

社 団 法 人

日本造船研究協会報告

第 7 号

昭 和 31 年 3 月

船舶の陰極的防蝕法の研究.....第20研究部会

The Research on the Cathodic Protection of Ship Hulls.

.....The 20th Research Committee

The Report

of the

Shipbuilding Research Association

of Japan,

Tokyo, JAPAN

No. 7

March 1956

第 20 研究部会 委員名簿

委員長	花田 政明		
幹事	大西 正次		
委員	石橋 靖弘	伊藤 伍郎	蒲田 利喜蔵
	川北 維一	黒川 正典	小林 文雄
	小松 弘	重野 隼太	瀬尾 正雄
	土井 由之	渡島 寛治	久松 敬弘
	松崎 升	南 義夫	三好 泉
	山県 欽爾	山内 俊平	

Membership of the 20th Research Committee

Chairman	Masaaki HANADA		
Secretary	Seiji ONISHI		
Members	Yasuhiro ISHIHASHI	Goro ITO	Rikizo KAMATA
	Yuichi KAWAKITA	Masanori KUROKAWA	Fumio KOBAYASHI
	Hiroshi KOMATSU	Hayata SHIGENO	Masao SEO
	Yoshiyuki DOI	Kanji TOSHIMA	Takahiro HISAMATSU
	Noboru MATSUZAKI	Yoshio MINAMI	Izumi MIYOSHI
	Kinji YAMAGATA	Shunpei YAMANOUCHI	

The Research on the Cathodic Protection of Ship Hulls

Abstracts

Though there are many valuable reports on the cathodic protection of ship hulls in North America and Europe, our experiences are very poor. Therefore we tried to investigate it as follows.

1. Preliminary research

- (1) Investigation of the prevailing practice of protective Zinc Anodes. (Chapter 2)
Data of more than 50 ships were collected, and standards for Anodes were proposed.
(fig1[Page70. 71])
- (2) Electro-chemical properties of Anodes. (Chapter 3)
 - a) Zinc Anodes (§1)
Relations between purities and polarizing character, effective current, rate of self-corrosion were investigated (tables in page 12, 13) and we got the conclusion that 99.995% purity Zinc is preferable.
 - b) Magnesium Anodes (§2)
The laboratory test results that the properties of Mg Anodes formed in Japan are not much inferior to those of Dow Chemicals Co., and may be available for the cathodic protection of ship hulls.
 - c) Amalgamated Aluminium Anodes. (§3)
Aluminium Anodes are believed to be impractical, but amalgamated pure Aluminium Anode shows rather promising character in the laboratory test, and we intend to promote the research further.
- (3) Distribution of protective currents and potentials. (Chapter 4)
We tried to get some simple empirical rules by model tests, but failed to get a clear result.
- (4) Effects of other metals on ship hulls.
We did not promote the research.
- (5) Effect of protective current on paints. (chapter 5)
We selected several promising paints by applying over currents on small test pieces in laboratory. (result shown on table 1 and 2 [page 37. 33]).
- (6) Effect of caustic embrittlement.
We did not promote the research.
- (7) Approximate formula for wetted surface estimation. (chapter 6)
Data of 139 ships give the coefficient of well known Taylor's formula ($S = C\sqrt{\Delta \cdot L}$) to

be 2.419 in metric unit.

(8) Silver electrodes for potential measurement. (chapter 7)

We succeeded to make a practical silver-silver-chloride electrodes.

2. Test on test pieces in sea water (chapter 8)

Effect of protective current on various paints in sea water were tested at several places, and vinyl paints and cold plastics were found to be the best under them.

3. Test on actual ships (chapter 9)

Magnesium Anodes were applied on 2 ships, and Zinc Anodes were applied on 5 ships. (table in page 58). Though these tests are under way, some of them were promising and others failed in some detail. (ref. tables in page 62~65)

4. Conclusion (chapter 10)

Nevertheless it needs further investigations to apply a reasonable cathodic protection on ship-hulls with confidence, we can say that "The prevailing practice of Zinc Anodes protection in Japan is too short for the purpose, and at least we must apply the following number of standard Zinc Anodes (6"×12" approx.) near the propeller"

$$n=0.01A$$

where n =number of Zinc Anodes

A =wetted hull area in m^2

"The purity of Zinc Anodes must be 99.995% class"

"Application of Magnesium anodes needs precise precautions"

船舶の陰極的防蝕法の研究

一 目 次 一

第 1 章	研究経過の概要	(1)
第 2 章	現行保護亜鉛の実情調査 (附 防蝕亜鉛の標準案)	(6)
第 3 章	陽極材料の電気化学的特性の研究	(8)
§ 1. 亜鉛の純度がその陽極性状に及ぼす影響		
§ 2. 国産マグネシウム合金陽極の特性		
§ 3. アマルガメーテッド アルミニウム流電陽極に関する研究		
第 4 章	防蝕電流及び電位の分布状況の研究	(27)
第 5 章	船底塗料に及ぼす陰極防蝕法の影響	(29)
第 6 章	船の浸水面積の近似式	(39)
第 7 章	電位測定用塩化銀電極の試作研究	(43)
第 8 章	臨海基礎実験	(55)
第 9 章	実船実験記録	(58)
第 10 章	結 論	(67)

添 付 資 料

- (1) 防蝕亜鉛の標準案
- (2) 船舶の電気防蝕に関する参考文献一覧表

第1章 研究経過の概要

本研究を提案した当時は、海外でも船舶に関しては断片的な文献を散見するだけで精しい事情は窺い知ることが出来なかつた。しかし本研究の着手決定をみた頃には、カナダ海軍が5年餘に亘り空母、巡洋艦、駆逐艦等を含む十数隻に実施した経過、英海軍が研究して来た経過（米海軍にも相当の研究はあるようであるが纏めた発表は未だ知らない）等貴重な総合的発表もあり我々がこの研究を進める上に極めて有益な指針となることを知つた。

それで我々は関連ある文献を調査検討して研究の参考とすると共にその重要なものは翻訳して別冊 "船舶の電気防蝕に関する参考文献" として取纏めた。

これらの文献から学び得た一般的な要点を記すと、

- (1) カナダ海軍は数十隻の就役艦艇に実施し幾多の失敗もあつたが、今日では充分な確信を以て実施し成果を挙げている。
- (2) 英海軍は就役中の艦艇には船体抵抗の増大を考慮し手控えているが、予備艦艇には実施して成果を得ている。
- (3) 従来行われている保護亜鉛の程度では船体の完全防蝕を期するには不充分である。
- (4) カナダ海軍は適当な塗料と電気防蝕法を併用して1年半の入渠間隔とすることに成功しているが、入渠間隔を2年にすることを目標として塗料（主として防汚効果の延長）の研究を進めている。即ち電気防蝕法と関連して、これに適する防蝕塗料（A、C）と防汚塗料（A、F）の研究が必要であり、この適当な組合せによつて真の効果が期待される。
- (5) カナダ海軍は陽極材料としてMg、Fe、Cを試みPtも研究中であつて、共に実施方法さえ適当であれば充分使用価値があると述べているが最も多く採用しているのがMgであり、その形状寸法も規格化されている。
- (6) 電気防蝕法を実施すると否とに拘らず、船内の電気溶接工事、陸岸からの送電による点灯、陸岸繫留中隣接艦船で実施される電気溶接工事等に対し適当な考慮が払われていないと、迷走電流によつて予想外の激烈な腐蝕を受けることがある。（註・航海中の落雷による塗膜の破壊、無線通信や方向探知器の使用等と関連する迷走電流の有無も検討する必要があると考えられる。——この問題は当協会第27研究部会で更に研究する予定である。）

(7) カナダ海軍の例ではビニール系塗料が最も優秀な成績を示しているが、一般の油性塗料でも間に合う範囲は広い。又同一塗装と考えられるものでも船により電気的性質には大差があり、このため所要防蝕電流量に同型艦で数倍の差のある例もある。

以上のような文献の調査検討によつて電気防蝕法を船舶に応用することは充分可能なことが判つたが、又その実施方法には多くの問題があることも明らかになつた。よつて基礎的研究によつてこれらを究明する必要を痛感し研究内容にも若干の考慮を加えた。

研究経過の概要は次の通りである。

1. 基礎研究

(1) 現行保護亜鉛の実情調査(附防蝕亜鉛の標準案)

会員各位の協力によつて十数社数十隻の実例を集めることができた。殆んど総て船尾部をプロペラに対し保護し或はシーチェスト附近を保護するものである。(但し漁船はビルヂキールの塗装がよく剥れるのでこれに保護亜鉛をついている。又晴海丸だけはビニール塗装した上全船底に保護亜鉛を取付けた特殊な例である。)その寸法も多種多様で取付方法も一定せず効果の餘り期待出来ないものもある。

尙最近になつて判明した米海軍の現行規準は $12'' \times 6''$ の防蝕亜鉛を使用し、その個数は1個の発生電力を 0.5 A m p 、防蝕対象を船尾部(全船底の15%)とし 1 ft^2 当たり 0.003 A m p として算出(2軸の場合は50%増、4軸の場合は100%増)することになっている。

この 0.5 A m p は電位差の大きな銅系合金に対して始めて流れ得る数値であるから船尾部は船底面積を基準としているが防蝕電流は殆んどプロペラに吸収されるものであり従つて2軸4軸の場合大きな係数を使用しているものと考えられる。

又上記実船例にこの規準を当て嵌めると大型船は大体本標準の70~40%内外を使用している実情で、プロペラに対する船尾の保護だけを考えても今少し防蝕亜鉛を増してよいことになる。一応最も使用例の多い寸法に最適と思われる取付方法を組合せて推奨案の原案として提案することとした。

2) 陽極材料の電気化学的特性の研究

(1) 亜鉛の純度がその陽極性状に及ぼす影響

重野委員の研究によつて高純度の重要性が明確にされたから99.995級を標準としたい。

〔価格も従来の亜鉛と大差のない見込。幸い三井金属(ZAP 99.996%)三菱金属(C.

P.Z 99.997%）両社の製品は充分この目的を充すことが出来る。尙造船所等で再熔解の上使用する場合にこの純度を崩さぬ考慮も肝要である。

(2) 国産マグネシウム合金陽極の特性

重野委員の研究によつて実用性のあることが明確にされた。最初の実船実験（国鉄高松港曳船第1鉄栄丸）にカナダ海軍の標準型を約々に縮尺模放した国産試作品を使用した。

(3) アマルガメーテッド、アルミニウム流電陽極に関する研究

A&Iは非常に陽極材料として優れた性質があるに拘らず、分極作用が烈しくて実用出来ないとされている。これを久松委員の研究によつて解決の可能性を見出し得たのは予期以上の収穫であつた。今后の研究に待たねばならぬ問題も多いと思うが、特殊の用途には有望と考えるので実用実験に移す予定である。

(4) 防蝕電流及び電位の分布状況の研究

鉄板模型によつて1, 2基礎的実験を行つたが普遍性のある形に取纏めることは出来ないで終つた。寧ろ今后の実船実験結果から統計的に求めることが無難と考える。

(5) 異金属の船体に及ぼす影響

プロペラ附近、シーチエスト附近等に関連のある大きな問題であつて、理論的には防蝕電流によつてこれ等の異金属の電位を-850mV（硫酸銅電極）程度迄下げるか、或は電気的に船体と絶縁する方法をとればよいことである。現行の保護亜鉛の装備はこれだけを目的として実施されその効果が不充分なものと解することも出来るが、本研究では一般的に扱つただけで、特に詳しくこの関係の調査は進めていない。

(6) 塗膜竝に塗装法の研究

陰極的防蝕法の対象となる船底は通常塗装されている。これが海水中で陰極になるとアルカリ性物質を生じると同時に水素ガスを発生し、陽極では塩素ガスを発生する。アルカリ及び塩素は塗膜の劣化を助長し乾性油等の鹼化性物質を含む油性系塗料では特に甚しいと推定され、又水素発生も塗膜の密着性を害する。又防汚塗料（2号船底塗料A/F）の効果にも影響を与えると考えられる。

これ等を確かめるために基礎実験を行つてビーカー中の人工海水に浸した各種塗装試験板で検討した。科学研究所では現用の油性系1号塗料（A/C）に2号塗料（A/F）を塗重ねたものA/Fに水銀を含むものと含まぬもの、更にプライマー又はウォツシュ プライマーを併用したもの、ビニル系塗料で種々のA/C塗装回数の場合、コールド プラスチック系塗料等について

実験し大略次の結果が得られた。

- (1) 電流密度 8 mA/m^2 で何れの塗装系も防蝕電位に達するが、電流密度或は電位の増加と共に塗膜は劣化し油性系は殊に著しい。
- (2) 油性系では A/C 及び A/F にプライマーを併用すると劣化少く、塗装回数の多いもの程良く、又アルミニウムを顔料とするプライマーが良い。
- (3) ビニル系でも A/C 塗装回数の多いもの程良く、コールド プラスチック系と共に油性より格段に優れている。

日立造船所の実験では油性系船底塗料は 2.0 mA/m^2 の電流密度で良好であるが 5.0 mA/m^2 以上では塗膜劣化し、 1.0 mA/m^2 以下では発錆することが分った。又ビニル系塗料では極めて僅かの電流密度で防蝕電位に達し発錆は殆ど認められないことが判明した。

(6) 水素脆性に関する研究

未着手。南委員によつて予備的調査を一部実施したが報告出来るような結果は得られなかつた。英國海軍の Crennell 氏も研究の要は認めるが恐らく問題にならぬであらうと述べている位で恐らく水素脆性が問題となる前に塗膜の劣化が生ずるから当部会の研究段階では後に譲つても差支ない問題と考える。

(7) 船の浸水面積の近似計算式

限られた資料で浸水面積を概算する必要は屢々起ると考えられるので、南委員がこれを調査した結果 Taylor の近似式を基礎として排水量又は排水量 × 長さを函数とした充分実用し得る精度のグラフを作製した。

(8) 電位測定用塩化銀電極の試作研究

防蝕効果の判定に適當な計器を必要とすることは予想されるので、実船の測定に便利なものを得るためにその基礎的研究を伊藤委員の手で実施し充分可能性のある事を認める迄に至つた。但し実用計器を完成する迄には尙 1, 2 回の試作を経る必要があるであらう。

2. 臨海基礎実験

基礎実験の結果比較的優秀と認められた各種塗装系について関東及び関西の四ヶ所の海域で併行して臨海実験を行つた。

横浜港 三菱日本重工業(株)横浜造船所構内

三崎油壺湾
神戸港

日本ペイント(株)及び日本油脂(株)浸漬試験場
新三菱重工業(株)神戸造船所構内

因島

日立造船(株)因島造船所構内

実験結果は方法において多少不備な点もあつて最終的結論は得られなかつたが概略次の結果が得られ実船に応用する際に有益な資料と思はれる。

- (イ) 塗装試験板の電位が-1V以上になると塗膜劣化を生じ現用の油性系船底塗料は殊に著しい。下塗プライマーを併用して塗膜を厚くするか、ウォツシュ プライマーを用いて密着性を改善すると結果は多少良くなる。
- (ロ) ビニル系船底塗料やコールド プラスチック系の様に絶縁性の良い塗料は油性系に比較して格段に良いが、塗装回数が少なかつたり過大な電流密度では劣化を免れない。
- (ハ) 塗膜を劣化させない限界電流値は決定することが出来なかつたが、大体 $1.0 \sim 5 \text{ mA/m}^2$ 以下と考えられる。塗膜が水に浸つた後1~2週間は抵抗が急に低下し過大電流となり易く塗膜劣化を生ずるから注意を要する。
- (＝) 亜鉛は塗膜劣化に対する影響が最も少いが、それでも過大電流では劣化を生じる場合があり実施の際注意を要する。

3. 実船実験

国鉄その他関係者の好意によつて下記のように多数の船に試みることが出来た。始めての事で計画施工法其の他にも不充分な処があり総てが満足な結果を得る迄には至つていなかつて極めて有益な資料を集めることが出来た。尙、今少し長期の結果を待たないと総合的成績を確認する迄には至らない。

第一 鉄栄丸

第二 鉄栄丸

日の出丸

広菱丸

檜山丸

空知丸

第2章 現行保護亜鉛の実情調査 (附・防蝕亜鉛の標準案)

十数社数十隻の詳しい資料を会員各位の協力により集めることができた。これを一覧表に纏めて
第1表 "現行保護亜鉛の実情"とした。

晴海丸はビニール塗装と船全体にZn陽極を併用した唯一の例、他は漁船がビルジキールにも亜鉛をついている(網で擦れて塗装が剥れるため)以外は、総て船尾部とシーチエスト附近をプロペラやキングストン弁等の銅系金属から保護する目的のものである。

尙最近になつて米海軍も船尾部の亜鉛に6"×12"を使用し、その個数は防蝕すべき面積を全浸水面積の15%, 電流密度を0.003Amp/ft², 1個の発生電流を0.5Ampとして算出し2軸の場合はその50%増、4軸の場合は100%増と決めていることを知つた。

$$\text{メートル単位で示せば } n \doteq 0.01 A \text{ (1軸)}$$

$$n \doteq 0.015 A \text{ (2軸)}$$

$$n \doteq 0.02 A \text{ (4軸)}$$

但し n は個数、 A は全浸水面積m²

0.5Ampの発生電流はプロペラ等銅系統に対し始めて流れ得る数値であるからこの電流は殆んどプロペラに流入するものと考えてよいであらう。第1表の実船例にこの算式を当て嵌めると大型船は所要量の40~70%のものが大部分である。

本研究の目的の1つである防蝕亜鉛の規格統一の見地からこれ等の資料を通覧すると、

(1) 材質 今迄は特に留意されていないが、基礎実験(重野担当)で高純度の必要性が明確にされたので99.995%以上を標準としたい。

尙アマルガメート法や特殊の合金等で性能の優れたものが生まれたらこれらも追加して行けばよいであらう。(上記高純度のものは三井金属、三菱金属両社で生産しているから入手可能)

(2) 寸法形状 多種多様であるが300×150(12"×6")が最も多く、米海軍もこの寸法を採用している。小型船には200×100も相当あるからこの2種を標準とし内厚は適宜としたい。(厚さ30ミリなら0.5Ampの出力で約1.5年の寿命)

尙シーチエスト用は餘りにも色々で統一は困難である。高純度の圧延材は軽度の折り曲げが可能であるからたゞ特殊のものを除けば圧延材から切り出してよいと思う。その厚さを数種規定され

ば、実用上は差支えないと考える。

(3) 取付方法 寸法以上に区々であるが防蝕効果から考えて、船体と電流回路を造らぬもの(バンド締め等)取付が亜鉛の消耗によつて弛緩脱落の恐れあるもの(ビス締め等締付部に海水が浸透し易いもの)は不可であるから、スタッドを船体に熔接しナットで亜鉛を締付けその附近をペテ又はピッチの類で埋める方式、然もナットが亜鉛の外方に突出しないものを奨めたい。且つ亜鉛の裏側に海水が浸みて局部電池を造り不要の浪費を起さぬようゴム又はビニールシートを挿みたい。これを寸法形状と併せて規格化した案が第1図である。スタッド熔接は従来他の方法で取付けてあるものにも簡単に実施出来るから従来の船にも適用し易いと考える。

シーチエスト関係は餘りにも区々で統一案を建て難い。船尾部と同じような考方で実施して頂き成績のよいものをその内から探して次第に様式を統一するのが無難と考える。

(4) 取付個数 防蝕効果の点から云えば、プロペラ、キングストン弁等異種金属の電位を-850mV(硫酸銅電極)迄下げるものでなければならない。未だ充分な資料がないので実際の個数を決めることは出来ないが差当り正しい材質と取付方法を実施し、個数は米海軍の規準程度とし或る程度統計的な実績を得てから定める他ないであらう。

(5) 以上は船尾部シーチエスト附近等異種金属(プロペラ等)に対する防蝕亜鉛の標準化に対する提案である船体全般に対するものは実船実験の結果に待つ他ないが、材質と寸法及び取付方法は其の儘適用出来ると考える。

尙Mg陽極と外部電源法に対する標準案は余りにも資料が不足するので当分差控えたい。又現行亜鉛の効果も材質的に又取付方法に理想的なものがないので調査することも余り意味を持たない(第一鉄栄丸の例などでもほゞ想像がつく)ので深く進めなかつた。

* 第1表及第1図は添付資料にあります。

第3章 陽極材料の電気化学的特性の研究

§ 1. 亜鉛の純度がその陽極性状に及ぼす影響

1. 前　　言

古くから陰極防蝕の目的で船体、蒸発缶などに取付けられた亜鉛陽極については実地の防蝕効果の点で久しうにわたり多くの疑念を持たれて來た。最近著しく進歩した陰極防蝕における諸基準に照らして亜鉛の効果を根本的に再検討する必要を感じたので、ここにその基礎的調査の一部としてまず亜鉛の純度とその陽極特性との関連性について実験研究を行つた。

2. 実験方法

供試亜鉛は次の4種でいずれも三井金属鉱業KKの厚意により提供を受けた。同社の発表による分析値は第1表の通りである。

各供試材は鋳造品を $60 \times 30 \times 5\text{mm}$ の寸法に切断し、研磨布#1000で仕上げ、表面の $20 \times 20\text{mm}$ の部分を残し他はペークライトワニスを塗装焼付し更にパラフィンを塗布して実験に使用した。実験装置は第1図に示す如く 30°C の合成海水を入れたビーカーに前記各試験片を浸漬して陽極とし、炭素棒を陰極として組合せた電池4個を外部電源、電流計、可変抵抗、銅クローメータを介し直列に接続した。所定の試験時間中一定電流で通電を続け、その間各試片の陽極電位を真空管電位差計で測定すると共に試験終了後に試片の消耗量を実測した。

3. 実験結果

(1) 陽極電位と陽分極値

不通電時の電位即ち亜鉛の自然電位は各種とも大差なく $-1.03 \sim -1.05\text{V}$ (飽和甘汞基準)を示したが、通電の場合の陽極電位は上昇を示し、電流密度の増大につれて陽分極値が増大した。陽極電流密度 0.3 および 1.0mA/cm^2 で通電を持续する際の陽極電位は当初は各種とも大差を認めないのが、数百時間の後には第2図に示すように蒸溜亜鉛及び99.7%亜鉛では陽極電位が著しく上昇し、陽分極値の著増を示した。これに対し99.99%以上の高純度亜鉛は長時間の使用後にも陽極電位 -1.0V 程度で殆んど変化なく、従つて陽分極値の増大傾向を示さなかつ

た。

このように普通純度の亜鉛の陽極電位が上昇する理由については今後詳細に探究する必要があるが、目下のところこの原因が主として亜鉛表面に附着する腐蝕生成物に基くことは明らかである。これは前記の試験において988 hr経過した亜鉛試片を取出しブラン用いてその表面の附着物を除去し再び試験液に浸漬して電位を実測すると第2表に示す如く各種亜鉛ともそれぞれ当初の陽極電位に復帰したことからも推定できる。なお高純度亜鉛に比し普通純度亜鉛の陽極電位が上昇する理由としては、前者の場合附着物は白色軟質であるのに対し、後者では白色附着物の外に灰黒色の硬質附着物が亜鉛表面に固着する傾向があるためと考えられる。後者の灰黒色附着物はPb, Cd, Feの如き不純物の混合した腐蝕生成物より成るものと思われる。

(2) 発生電気量と電流効率

48 hr通電後の試片減量と通過電気量に基づき算定した単位重量当たりの発生電気量(A h/g)は、実用範囲に該当する陽極電流密度 $0.3 \sim 1.0 \text{ mA/cm}^2$ の間では大体一定で0.77～0.78 A h/gとなつた。これをZnにおける理論値0.82 A h/gと対比した場合の電流効率は第3表に示す如く95%内外の高率を示している。陽極電流が 0.1 mA/cm^2 以下の特別に低い電流密度の場合には電流効率が幾分低下するが、その傾向は純度の低い亜鉛において著しい。

(3) 自己腐蝕速度

前項の電流効率が低電流密度では純度と共に上昇する事実はPb, Cd, Feなど不純物の含量に応じ亜鉛の自己腐蝕度が増大することを示すものに外ならない。この自己腐蝕度は(試片の腐蝕速度)と(通過電流に相当する理論溶解速度)との差として算定した。その結果は第4表に示す如く、不通電のまま浸漬した場合の亜鉛の自己腐蝕度は $0.05 \sim 0.08 \text{ g/m}^2/\text{h}$ 即ち $0.06 \sim 1.0 \text{ mm/y}$ の程度であつたが、通電の場合陽極電流密度が $0.1 \rightarrow 1.0 \text{ mA/cm}^2$ と増加するにつれ自己腐蝕度は $0.1 \rightarrow 0.8 \text{ g/m}^2/\text{h}$ 即ち $0.12 \rightarrow 1.0 \text{ mm/y}$ とほぼ直線的に増大することを示した。

4. 結 言

- (1) 純亜鉛は各種とも自己腐蝕度が小で、海水中における発生電流効率は理論値即ち電気化学当量の95%内外に達するので、殊に長期使用の目的に好適している。
- (2) 純亜鉛の海水中における電極電位は飽和甘汞基準で-1.04 V程度、また陽極として使用する際に生ずる陽分極値も短時間の使用では数十 mV程度に過ぎないが、海水中で長期使用する際の

陽極電位は亜鉛の品位によつては著しく貴の方向に変化する。即ち蒸溜亜鉛と 99.9% 級亜鉛では当初 -1.0 V 内外を示した電位が -0.8 ~ -0.9 V 程度にまで上昇して鉄鋼の防蝕電位 -0.78 V に近づくので、鉄鋼に対する防蝕能力を殆んど失うことが明らかにされた。これに対し 99.99% 以上の電気亜鉛では長期使用の場合もこのような傾向が少なく、海中における鉄鋼の防蝕に必要な電位を長く保持することが判明した。

なお普通純度の亜鉛における電位上昇の原因は表面に附着する硬質な腐蝕生成物のためと推定される。従つて蒸溜亜鉛並びに 99.9% 級の電気亜鉛は使用中に表面の附着物を適当に除去しない限り長期使用に全く適しないことが確かめられた。

(3) 99.99% 級以上の電気亜鉛は海水中で長期使用の場合も -1.0 V 内外の陽極電位を示すので防蝕電位にある鉄鋼に対し 0.2 V 以上の有効電圧を保持し、また有効発生電気量は 0.78 A h/g 程度である。これに対し DOW 社 Mg 合金陽極の有効電圧は 0.7 V、発生電気量は 1.3 A h/g 程度と優っているが、海中の如き高電導度の電解質溶液の中で使用する限り亜鉛の有する 0.2 V の有効電圧で実用上充分と認められる。

第 I 表 供試亜鉛の分析値(三井金属・東京研究所) (%)

	F e	C u	P b	C d
蒸溜亜鉛 98.7 級	0.018	0.015	1.01	0.14
電気亜鉛 99.7 "	0.0182	0.0010	0.22	0.030
" 99.99 "	0.0006	0.0007	0.018	0.0021
" 99.9995 "	0.0008	0.0005	0.0019	0.0008

第2表 亜鉛附着物除去による電位変化(1.0 mA/cm^2)

	通電後 3 hr の電位	通電後 983 hr の電位	983 hr 後直ちにスケールを除去した場合の電位
蒸溜亜鉛 98.7 級	-1.032 V	-0.391 V	-1.057 V
電気亜鉛 99.7 "	-1.033	-0.820	-1.052
" 99.99 "	-1.044	-0.915	-1.027
" 99.995 "	-1.049	-0.981	-1.036

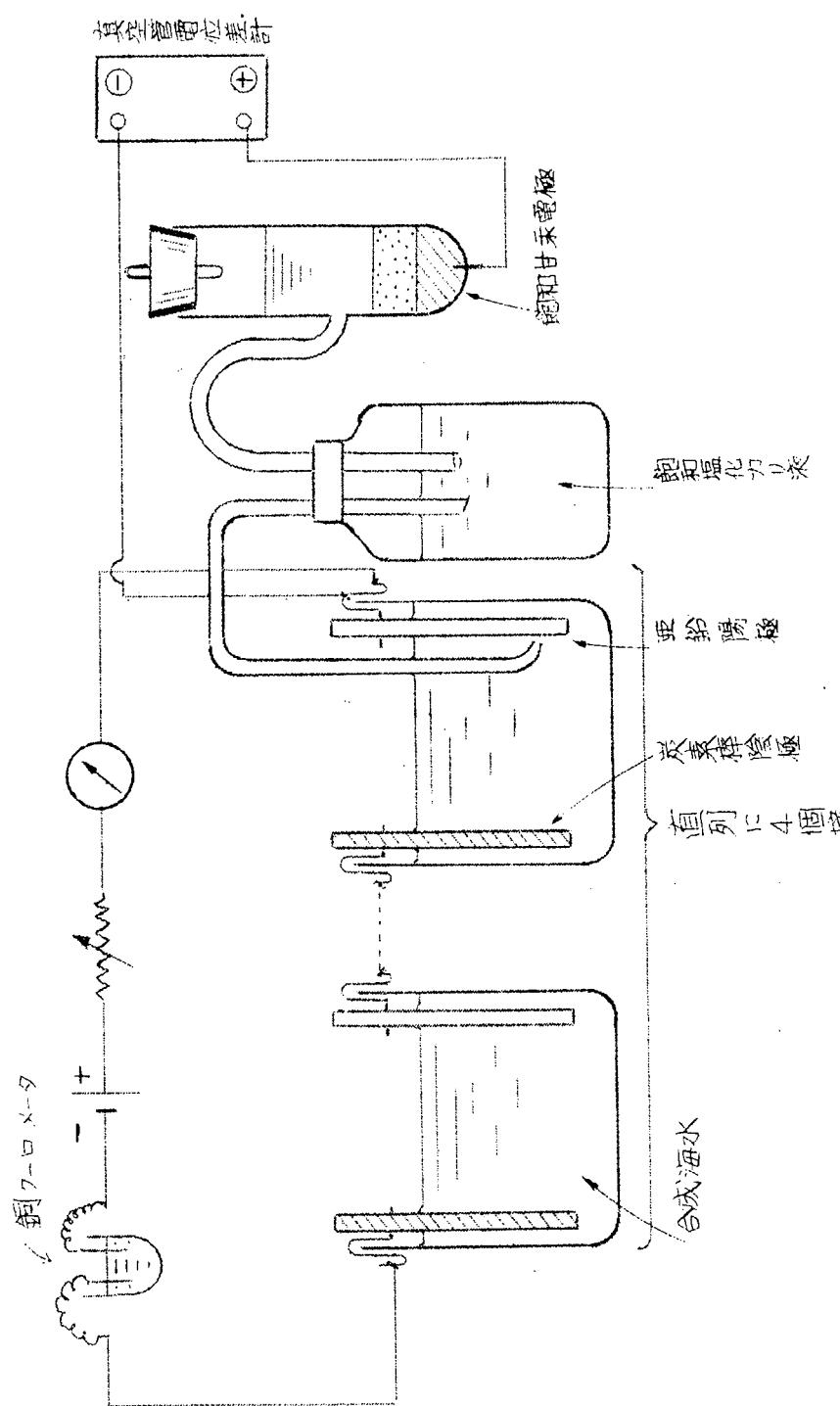
第3表 各種亜鉛の発生電流効率(%)

電流密度(mA/cm^2)	0.1	0.3	0.6	1.0
蒸溜亜鉛 98.7 級	87.9	94.1	96.6	93.7
電気亜鉛 99.7 "	91.6	94.1	96.0	95.2
" 99.99 "	97.8	97.0	98.5	95.2
" 99.995 "	96.8	96.5	97.3	94.1

第4表 各種亜鉛の自己腐蝕度($\text{g/m}^2/\text{h}$)

電流密度(mA/cm^2)	0	0.1	0.3	0.6	1.0
蒸溜亜鉛 98.7 級	0.046	0.156	0.229	0.275	0.816
電気亜鉛 99.7 "	0.081	0.104	0.229	0.323	0.609
" 99.99 "	0.049	0.088	0.120	0.114	0.593
" 99.995 "	0.027	0.037	0.140	0.213	0.743

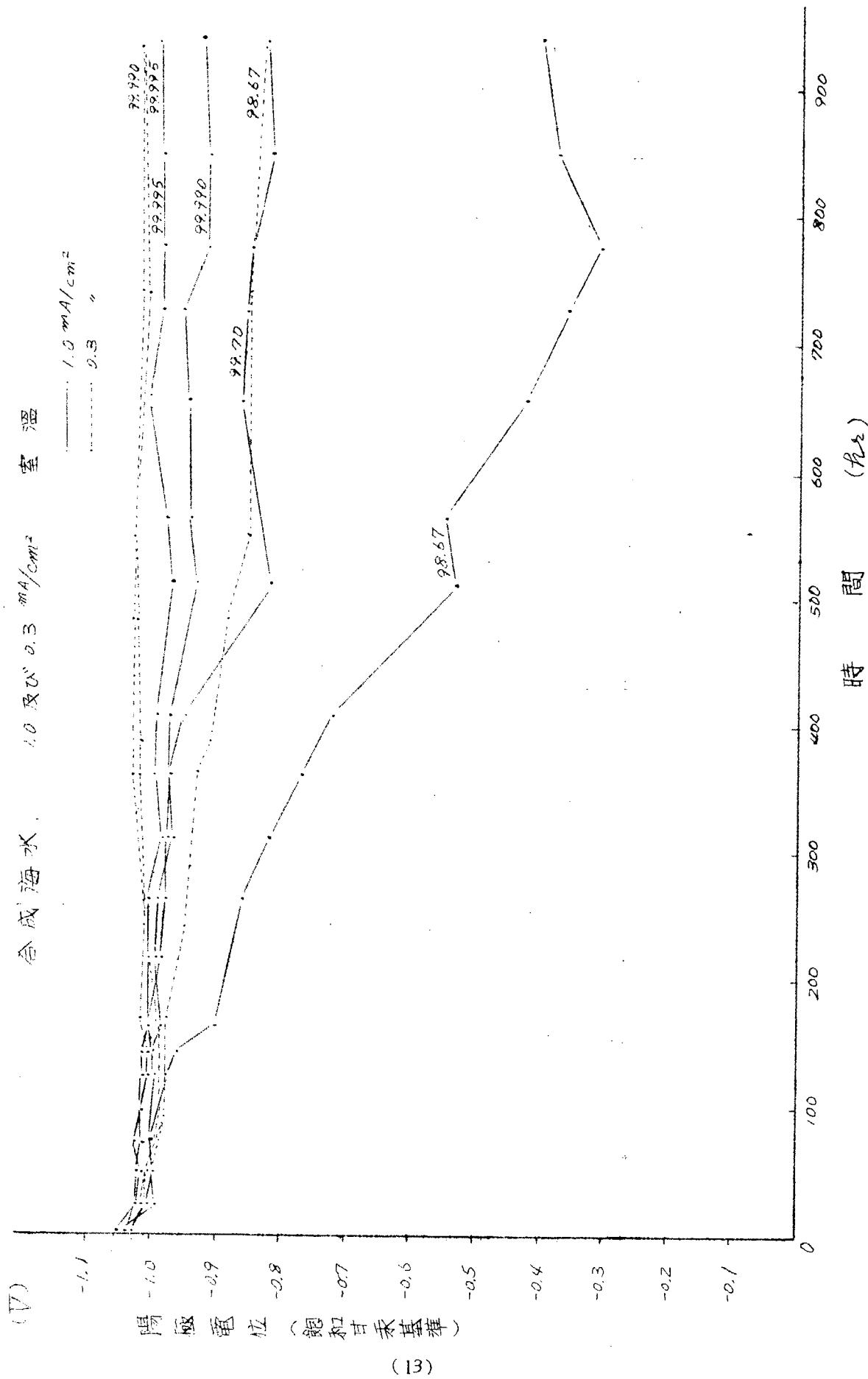
第1図 実験装置



(12)

(11)

第2圖 亜鉛陽極電位と時間の關係



§ 2. 国産マグネシウム合金陽極の特性

1. 前　　言

従来わが国で陰極防蝕用の Mg 合金陽極は専ら米国 Dow Chemical 社の製品を輸入して使用していたが、最近に至り神鋼金属がこれを試作したので、これについて米国製品と比較するため次の基礎試験を行つた。

2. 供　　試　品

神鋼金属長府工場より 4 種の Mg 合金の鋳造材を入手し、日本防蝕工業より提供を受けた Dow Chemical 社の代表的製品 3 種と併せて 7 種の試料について実験した。これら各試料について神鋼金属が行つた分析結果を第 I 表に示す。（米国製品の Galvo Slab については分析を実施しなかつたが Cast Anode 17D と同様の見込みである。）

3. 試　　験　方　法

各試片は研磨布仕上げの上 4 cm^2 の表面を残し他は塗装し、これを陽極としてそれぞれ炭素棒陰極と組合せたものを 30°C の合成海水を入れたビーカーに浸漬懸垂して電池を形成させ、この 7 個の電池を直列に外部電源・電流計、可変抵抗及び銅電量計を介して接続し、所定期間中一定電流を通過せしめ、この間の各試片の陽極電位を真空管電位差計で測り、試験終了後にその間の消耗量を実測した。（別記「亜鉛の純度がその陽極性状に及ぼす影響」の報告の第 I 図参照）

試験は 0.3 ， 0.6 及び 1.0 mA/cm^2 の 3 種の陽極電流密度につき各 48 hr づつ実施した。また試験終了後試片表面の附着物を完全に除去する方法としては $90^\circ \sim 100^\circ\text{C}$ の CrO_3 20% 及び AgNO_3 1% を溶解する水溶液中に 1 分間浸漬した上、更に蒸溜水中で 5 分間煮沸する方法を用いている。

4. 試　　験　結　果

(1) 陽極電位と陽分極値

不通電時の電位は Mg 合金陽極を各種とも -1.5 V （飽和甘汞基準）程度で、純 Mg の Galvo Line のみはこれよりも高く約 -1.6 V を示した。

通電時の陽極電位も第 I 図に示す如く 1.0 mA/cm^2 までの電流密度では不通電時と大差なく、

4 8 h r の試験において陽分極値は殆んど生じないことが判明した。

(2) 発生電気量と電流効率

通電試験の後に取り出した試片の表面には水酸化マグネシウムを主成分とする白色の固い生成物が附着しており機械的方法のみでは完全除去ができない。そこで前記の化学的処理によりこれを完全に除去し得たが神鋼製品は処理液との作用により別種の附着物を生ずる傾向があり殊に No. 3. と No. 4. の 2 種はこの影響が大きいので正確な減量を求めることができなかつた。

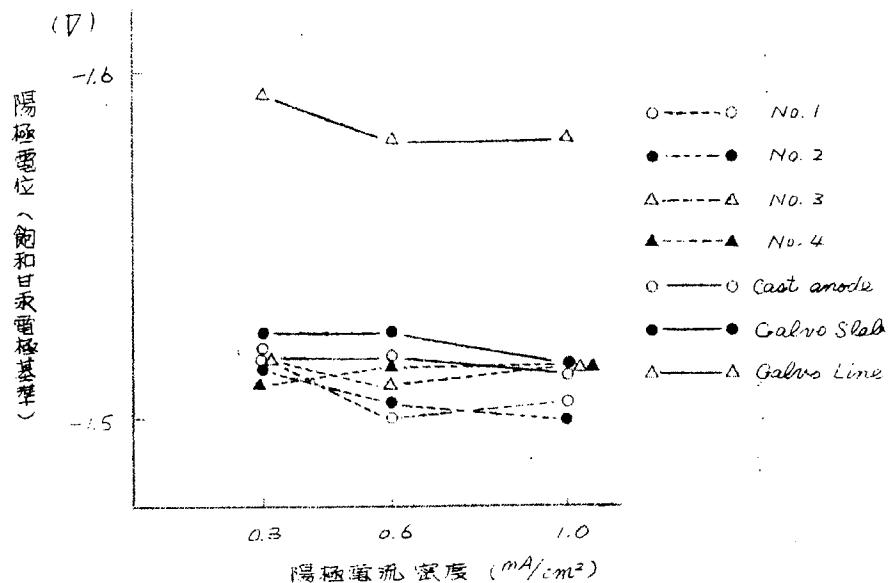
4 8 h r の通電量と試片の減量とから算出した単位重量当たり発生電気量 ($A\text{ h/g}$) 並びにこれを Mg 合金に対する理論値 $2.21 A\text{ h/g}$ と対比した電流効率とを第 2 表に示した。一般に電流密度の上昇と共に発生電気量は増加の傾向を示しているが、これは Mg 陽極の自己腐蝕率が高いためである。神鋼製品は附着物除去に困難があるため減量が過小に出る傾向があるが、これを考慮に入れても Dow 社製品の発生電流 $1.2 \sim 1.4 A\text{ h/g}$ 、電流効率 60% 内外の数値に対し同等またはそれ以上の成績を示している。なお純 Mg は Mg 合金よりも自己腐蝕率が高いため発生電気量は約 $1.0 A\text{ h/g}$ 、電流効率は約 50% に低下している。

4. 結 言

- (1) Mg 合金陽極は各種とも海水中における電極電位は $-1.5 V$ (飽和甘汞基準)、純 Mg 陽極は $-1.6 V$ を示し、いずれも通電により殆ど分極による電位上昇を示さなかつた。従つて防蝕状態にある鉄錫に対する有効電圧は前者で $0.7 V$ 、後者で $0.8 V$ を有することが判明した。
- (2) 海水中における発生電気量は Dow 社の Mg 合金陽極の $1.3 A\text{ h/g}$ (電流効率 60% 内外) に比較し、神鋼製品はほど同等以上の数値を示した。
- (3) 以上は試験時間 4 8 h r についての成績であるが、更に長期間の成績についても調査の要があるものと思われる。

第 1 図

合成海水, 30°C 4.8 hr 后



第 1 表 供試 Mg 陽極の分析表

材 料 名	Al	Mn	Zn	Cu	Fe	Si	Mg
神鋼金属 {	No. 1	6.29	0.34	2.97	0.001	0.0025	0.0056
	No. 2	5.78	0.34	3.15	0.001	0.0015	0.0088
	No. 3	5.84	0.31	3.15	0.002	0.0060	0.0568
	No. 4	6.04	0.31	2.53	0.0015	0.0090	0.0448
Dow Chemical 社	Cast anode	6.51	0.28	3.18	0.002	0.004	0.009
	Galvo Line	0.012	0.004	0.018	0.007	0.022	0.018
							99.919

第 2 表

材 料 名	発生電気量 (A h/g)			発生電流効率 (%)		
	0.3 mA/cm ²	0.6 mA/cm ²	1.0 mA/cm ²	0.3 mA/cm ²	0.6 mA/cm ²	1.0 mA/cm ²
神鋼金属	No. 1	—	1.633	1.915	—	74.0
	No. 2	1.270	1.728	1.424	57.5	78.3
	No. 3	—	(4.549)	(3.966)	—	—
	No. 4	—	(3.837)	(3.532)	—	—
Dow Chemical 社	Cast anode	1.239	1.332	1.399	56.1	60.3
	Galvo Slab	1.220	1.335	1.403	55.3	60.5
	Galvo Line	0.809	1.037	1.091	36.7	47.1
						49.4

§ 3. アマルガメーテッド・アルミニウム流電陽極に関する研究

1. 緒論

近年非常な勢をもつてひろまりつゝある陰極防蝕法にはよく知られたように大別して外部電源方式と流電陽極方式とがある。外部電源方式では低電圧、大電流の直流電源を用いるから船舶の防蝕用としてはもっぱら流電陽極方式が用いられる。—— もつとも入渠中のスケール落し(ミルスケールではない)に電解法を用いるときは外部電源を用いるべきである。—— 流電陽極としては現在Mg合金と高純度Znとが専ら実用されている。低電位金属としてMgとZnをあげれば当然連想されるところのAlは、実はその表面に存在する強固な酸化物薄膜の存在のためにこのような用途に用いられない。Mg(またはそれを主体とする合金)やZnは原子価が2価であるのに対しAlは3価であるから発生電気量の上で有利なことが予想される。理論的な発生電気量をあげてみると、 $Mg \quad 2.2 \text{ A h/g}$; $Zn \quad 0.83 \text{ A h/g}$; $Al \quad 3.0 \text{ A h/g}$; となる。勿論実際は失われた重量の全部が有効に電流を発生するのに使われないから、上の数値に効率を乗じたものが実際の、重量当り発生電気量となる。本邦ではMgは現在主として輸入にまつており、価格が高い。それで効率さえ適當なAl(または合金)陽極ができれば非常な有利である。この問題をAl合金で解決しようとした研究は多少あり、Al~Zn合金の例が報告されているけれども、これは電位の上からいってZnとは競争できてもMgとは競争にならず、種々の困難があつて実用化されていない。さてMgとZnとをくらべてみるとZnは効率は高いがMgのように鉄との間の電位差が大きくなない。もつともこの電位差が餘り大きくなないということがZnがMgより不利であるとは、殊に船舶のように海水を対象とした場合は、一概に言えない。Znは本邦のめぐまれた資源であるし流電陽極用の高純度Znが市販されてその性能もかなりよく知られるにいたつている現在、Alをこの用途に役立てようとする以上は必然的にMgと競争できる形のものでなければならないと思われる。

上述したように普通に空気中に存在するAlおよびその合金は酸化膜の存在のために鉄に対して充分な電流を流し得る程には低電位とならない。ところがAlおよび或種のその合金の表面を水銀によつてアマルガム化すると、これは水溶液中でMgとくらべられる電位を示すようになる。このアマルガメーテッド・アルミニウムが果して流電陽極として実用化し得るかどうかについて研究を行つたものである。

2. 研究結果

本研究の結果の一部についてはさきに2回にわたり東京大学生産技術研究所報である「生産研究」に速報として報告してある。

アマルガメーテツド，アルミニウムの

流電陽極特性(Ⅰ)：生産研究，7，No.2，42～43(1955)Feb.

アマルガメーテツド，アルミニウムの

流電陽極特性(Ⅱ)：生産研究，7，No.10，256(1955)Oct.

この報告にもれたもの，その後の実験結果もあるが以下に一括して結論的にまとめることとする。

(1) 素材について

純度の高いAlは飽和昇汞水に浸漬することによってごく短時間に簡単に表面をアマルガメートすることができる。しかしFe分の多い不純AlおよびCuを含有する合金などではこのような処理によるアマルガム化に非常に時間を要し，また表面に水銀がついても海水中などに入れておくと間もなく水銀だけたれ落ちてしまつて目的とする動作をしてくれない。またこの水銀は時間と共に結晶の粒界に沿つて材質の内部に侵入して行き，粒界浸蝕による損傷をおこす(応力の存在するときはひどい割れを生じ，割れでなくとも結晶粒毎にバラバラに崩かいする)純Alの押出，引抜のHard材についての中間規模実験($10\text{mm}\phi \times 4\text{m}$ 長)では割れの発生をみた。このような材料実験室的にはなかなか割れてくれないので困るが，焼鈍材の方がより安定で他の特性からもこの方がいいから，細い棒などにして用いるときは一応焼鈍材を選んだ方がよい。Al合金のアマルガメーションについてはまだ餘り多くのものについて手をついているわけではないが，Al-Zn(1%，5%，10%Zn)系では，アマルガメーションは非常に容易である(Al，Znとともに高純度金使用)が，海水中の自然腐蝕の状態では数時間後から結晶粒の脱落がおこるが， $20\text{mm}\phi$ の棒が切れるまでには数日を要する。これを陽極として用いると12時間内に切断する。たゞし10%Zn-Al系合金で切断しないでまとめて動作するものもあつたが，このものもアマルガメーションの効果が数日にして失われてしまつた。

また(水銀による)結晶粒界浸蝕を防止する目的で(ある別のヒントから)99.996%Alに0.1%Siを添加したAl-0.1%Siについても実験したが純Alの場合よりも流電陽極効率が低下し，その他に利点が生じないのでこの系も餘り望みがないと思われるが，Siが0.1%あつてもアマルガメーションは非常に容易である。

Alの純度が下つても普通の一番地金程度(99.7%以上)ならばアマルガメーションは容易で

ある。主として Fe 含量が増加するとアマルガメーションもやりにくくなり同時に液中においても水銀が表面から流れ落ちる傾向を生じてくる。99.75% Al, 海水中の実験によると陽極として一定電流をとつても次に示す時間を経過すると電位が急に貴になつてしまふ。

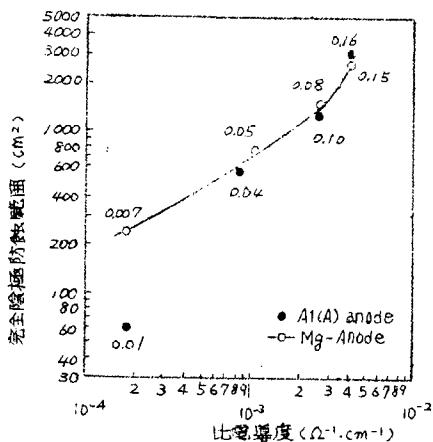
陽極電流密度	0.3 A/dm ² (= 3 mA/cm ²)	10 日
"	0.1 "	5 日

これは結局表面から液状の水銀がたれ落ちてしまうことによるものらしい。液状の水銀(少量の Al を含む)のおちてしまつた個所では表面からある深さまでは Al に水銀が固溶された状態となつてゐるが、これは非常に分極し易く充分に電流がとれない。

以上のべたところから現在までのところ実験室的に普通の長寿命用流電陽極として考へているものでは 99.99% Al を素材として用いている。これでは 70 日までの測定では、人工海水中で陽極初電流密度 0.1 A/dm² とし以後一定の電流に保持して陽極の閉路電位 -1.55 V (飽和甘汞電極基準) を維持できる。この場合は心金として亜鉛メッキ鉄線を入れてある。尙 99.93% Al 地金を用い、9mm Ø 亜鉛メッキ鉄棒を心金とした実用実験のため 10 Kg 陽極を 2 台東京輕合金の御厚意により鋳造したが、まだこれを実際の構造物に取付ける迄に至っていない。長寿命陽極については上のように高純 Al を素材として考へているが、Electro-coating 用 Boosting anode としての用途ならば 99.8% 以上の規格の電線用 Al 第 I 種で使えると思つてゐる。これも焼鈍材の方が特性がよく、この場合は前述の陽極電流密度よりもっと大きい電流密度に出来るから、さらに有効な日数が増加するので Electro coating 用としては心配がない。焼鈍材の方がアマルガメーションも容易である。

(2) 使用環境について

3 × 1.5 × 1.5 m の水槽に 3' × 6' 鉄板を水面下 20 cm に水平に吊して、この中央に表面積 44 cm² のアマルガメーテッド・アルミニウム (99.99% Al) 陽極または Dow Chemical Co. の純 Mg 陽極 (Galvo - line) をおいて、淡水、およびそれに食塩を加えて種々の電導度にした水について、鉄板上の電位分布を測定し、飽和甘汞電極に対して -770 mV より less noble な範囲を完全陰極防蝕範囲として求めて、これと電導度との関係を見ると第 1 図のようになる。図の黒丸はアマルガメーテッド・アルミニウム陽極、白丸は純 Mg 陽極の場合で、各点にそえて記入した数値は陽極電流密度 (A/dm²) である。図から分るように淡水(井戸水上水)のように電導度の低い場合ではアマルガメーテッド・アルミニウム陽極は純 Mg 陽極とちがつてまとまな挙動をしてくれない。他にも淡水中では妙な事実があつて、その理由はよ



第1図 完全陰極防錆範囲

く分らないが、とにかく淡水中では大きな陽極電流密度がとれないとまともに併いてくれない。前述の実験では陰極が陽極の390倍の大きさであるから電導度の低い淡水中では鉄の陰極では大きな電流をとることは不可能であるし、よつてこの陽極はMgとちがつてます淡水中では使えないらしい。

しかし電導度のやゝ大きい環境中ではMg陽極とくらべて決して不利だとは言えない。

従つてアマルガメーテッド・アルミニウムは海水中での使用を対象として考える。以下のべるところの成績は特記しない限りはすべて人工海水中におけるものである。

(3) 自然腐蝕時の挙動

Aℓの純度と環境として蒸溜水・淡水・人工海水の3つについて腐蝕速度をしらべた(第1表)。表面が水銀光沢のときは水素ガスの他に黒灰色のAℓ粉を生じ水酸化アルミの白色沈殿をほとんど生じない。激しい腐蝕の状態では粒界侵蝕による脱落などがあつて、表面の水銀量がへると、その後は水酸化アルミを生じて黒灰色粉を生じない腐蝕速度の小さい状態になる。なお初期の状態では水素発生量は分析して求めたAℓ量の1/2~1/3当量にしかならない。

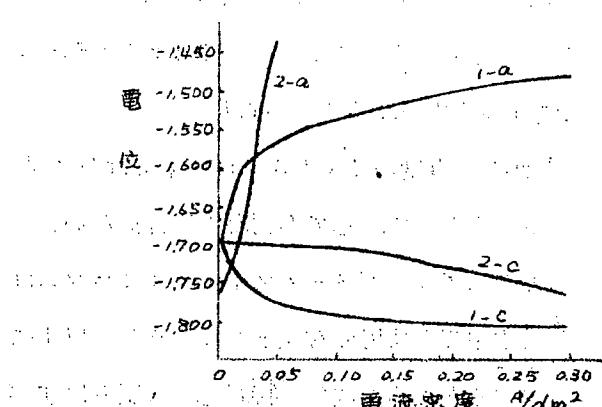
腐蝕速度が時間によりかなり変化するときでも電位には餘り変りがない。99.99% Aℓ海水中の電位(自然電極電位)は1カ月間-1.75V(飽和甘汞基準)に維持される。

第1表 アマルガメーテッド・アルミニウムの自然腐蝕速度 mg/cm²/day

Aℓの純度	媒質	温 度	最初の1週間	その後15日まで
99.75	人工海水 淡 水	常 温	5,000	—
		"	7,000	—
99.99	人工海水 淡 水 蒸 潤 水	20.0 °C	800	1,000
		常 温	200	2,600
		"	1,000	1,900

(4) 分極特性

人工海水、25.0°Cの条件でアマルガメート99.99%Alの陽分極曲線を求めるとき第2図の1-aのように折点がある。この折点より小さい電流密度に保てば自然腐蝕のときと同様な黒灰色粉を生ずるが、より大きな電流密度では黒色粉を生ぜず水酸化アルミの白沈を生ずる。

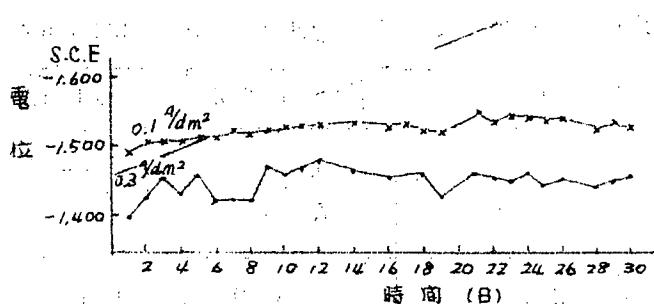


第2図 分極曲線

0. hr 自然腐蝕させ、その液中での挙動をみると 2-c のように小さな電流密度ではほとんど分極しない。

99.75%Al、人工海水 25.0°C では $0.04 \text{ A}/\text{dm}^2$ のところに、99.99%Al、淡水 25.0°C では $0.02 \text{ A}/\text{dm}^2$ のところに、それぞれ陽分極曲線は折点をもつ。前述の完全陰極防蝕の範囲を求める実験で淡水中では Mg とちがつてこの電極では防蝕範囲が小さかつたが、そのときの陽極電流密度は $0.01 \text{ A}/\text{dm}^2$ で、この折点より小さい値である。

(5) 流電陽極効率



第3図 陽極電位の時間的変化(電流一定)

アマルガメートしたものを空気中で乾燥させると激しく酸化しながら水銀をはき出す。このような酸化と浸漬を繰返して幾日もたつたものは 2-a のようにその自然電極電位はかえつて less noble になる(自然腐蝕で水酸化アルミを生ずる状態になる)が、非常に分極し易くなってしまう。

アマルガメート直後のものの陰分極曲線は 1-c のようで、小さな電流密度ですぐに水素電極として挙動する。このものを 2

99.99%Al に 0.3 , $0.1 \text{ A}/\text{dm}^2$ の初電流密度を与えて以後この電流に保つたときの電位の時間による変化の一例を示すと第3図のようになる。電位と測定時の温度との間には相関関係が小さいので、見掛けの電流密度は増加しているにもかかわらず分極は減じていることにな

る。流電陽極としての効率は1カ月で初電流密度 $0.3 \text{ A}/\text{dm}^2$ で91%， $0.1 \text{ A}/\text{dm}^2$ で84%である。それぞれ $20\text{mm}\phi$ のものが $14.1\text{mm}\phi$ ， $18.6\text{mm}\phi$ に減る程度である。たゞしこれは導線接合部（鉄ボルト）を完全に被覆した場合で、鉄ボルト部を露出させてガルバニック効果を強調させると効率は下る。

効率の測定値は他にも多数あるが99.99%铸造材でも脱ガス・铸造状条によりかなりバラツキがあるが $0.1 \sim 0.3 \text{ A}/\text{dm}^2$ の陽極電流密度で80%以上の値になる。純度が下ると効率の低下する外にアマルガメーションの効果が短時日の内に失われる。電流密度の大きいとき程効果が長くなることは前に述べた。

(6) Electro-coating 用 Boosting Anode としての利用

よく知られているように陰極防蝕法の一つの利点として陰極となる鉄面に海水中のMg，Ca分が $\text{Mg(OH)}_2 + \text{CaCO}_3$ の被膜として沈着してくるため、必要とする防蝕電流を時間の経過とともに切り下げる事ができる。これを意識的に利用したのがElectro-coating法であつて、これでは初期の短時間に普通の防蝕電流よりずっと大きい電流を流して短時間で厚い石灰質Coating をつくり、その後は裸の場合よりずっと小さい電流によつて防蝕しようというものである。

われわれはこの方法を油槽船の油槽内面の防蝕対策としてとりあげてみた。ねらいはバラスト期間中にアマルガメーテッド・アルミニウム陽極によつて初期の大電流を数日間流し、その後は亜鉛陽極によつて生じた被覆の補修とさらにより完全にすることを行つて（勿論完全防蝕以上のless noble の電位に保つ），タンクを空にしたときまたは油を積んだ場合の激しい腐蝕をこの被覆によつてもたせようとするものである。

現在油槽内面の陰極防蝕はMg合金陽極のみによつて行われているが、これによるCoating は極の近くだけには比較的容易につくれるが、全面的に信頼のおけるCoating を生成させるかどうか疑わしく、そのためには今の取付状況よりは陽極をずっと増加させねばなるまい。

油槽内面の腐蝕はバラスト期間よりもむしろ空荷や油を積んでいるときの方がひどいからZn陽極のみを取付けてバラスト期間中のみを防蝕しても餘り意味がない。それで前述のようにZnをElectro-coating による石灰質被覆の補修の目的に取付けることが考えられる。この場合のElectro-coating 用には現在のところ外部電源法によるか、99.9%純MgのGalvo-line によることが考えられる。時間が短くて済むから外部電源法も充分使える。米国における最近の報告では油槽内面のスケール落し（ミルスケールではない）に海水による電

解洗浄法の実施のいろいろのデータが報告されている。このときにはスケールの落ちた面には当然厚い石灰質被覆が生成される。まだ油槽内面の防蝕対策としてどのようなCoatingをつければよいかは餘りよく分つていない。

Mg-陽極(Galvo-line)によるElectro-coatingについては海水構造物(さびのついているもの)についての実施例の報告がある。Galvo-lineはカタログならびに実施例報告によると次のような性質をもつ。

これは $3/4" \times 3/8"$ の寸法の断面をもち鉄心を入れている。従つて 1 ft 長当りの表面積は 180 cm^2 であつて、普通 1 ft 長当りで非分極鉄面に対し最大 0.5 A の電流がとれる。長さが 20 ft 以下のときは非分極鉄面に対し最大 1.0 A がとれる。1 ft 当りの重量 0.22 lb 即ち 100 g であつて、1 ft 長で発生電気量は 100 AH であるから 1 AH/g の重量当たり発生電気量となり、効率は 50% 以下となる。

長さの短い場合としても陽極電流密度は非分極の鉄に対するときで $5.5 \text{ mA/cm}^2 (= 0.55 \text{ A/dm}^2)$ である。1 ft の長さに対して鉄面 1 m^2 を対応させるのを普通の使い方とするから陰極面積/陽極面積 $\doteq 55$ で、消耗するまでに陰極を 100 AH/m² 分極させ得る。たゞし鉄面が分極してから流れる電流は電極の配置の仕方によつて主に決つてくるから性能表には表わしていない。

Electro-coating の条件は今迄の報告を総合してみると

海中構造物の例で

La Que	電気量	60~100 AH/m ²	—	陰極面
	陰極電流密度	0.5~3.5 A/m ²	—	"
Cox	電気量	100 AH/m ²	—	"
	最適陰極電流密度	1.0~2.0 A/m ²	—	"

タンカーについての実施例では(波のないのに)[Ship builder & Marine Engine Builder 61, No. 4, 288~291 (1954) Apr.]

錆スケール落しに 50 AH/m^2

coating に 100 AH/m^2

スケール落しの電流密度は大きい程よい($5 \sim 7.5 \text{ A/m}^2$)が除去率を 80% 位にすれば coating 用の電流密度でよい。

さてこのような Galvo-line に代つてアマルガメーテッド・アルミニウム陽極が使用に耐え

るかどうかの実験的研究を行つたが次にその一例をのべる。

陽極は 99.99% Al (铸造棒) 9.6mmØ, 液中の浸漬面積 30cm², 陰極は浸漬面 1200cm² の鉄板, 溶液量 5.5 l の条件で両極間距離 5 cm で対応させる。短終電流と陽極電位の時間的変化を第4図に示した。280時間後, 2.5 × 4.5mmの細さで切断した陰極電位は -1.2 V。

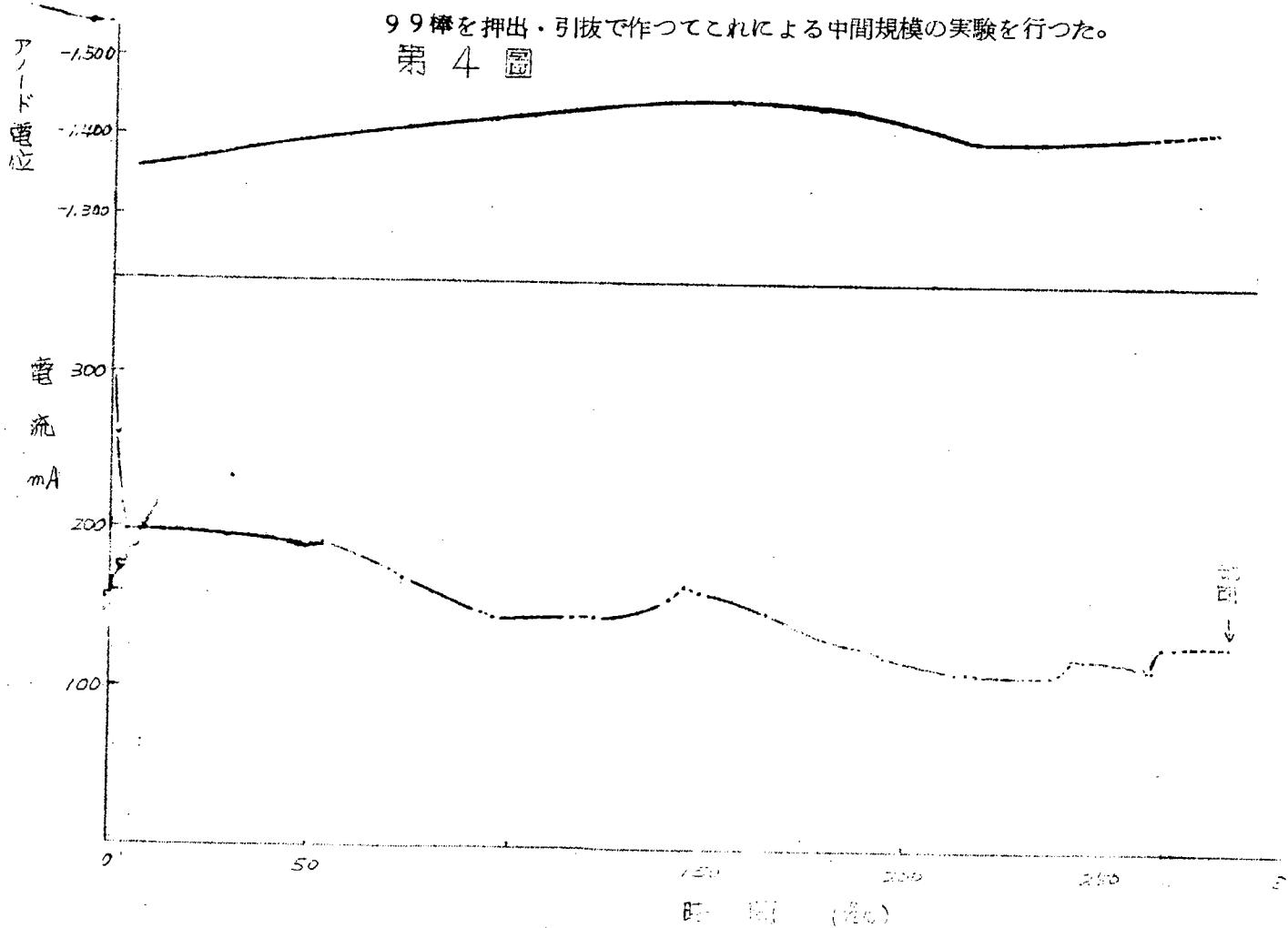
この実験だけの結論は 9.6mmØ の陽極で 40 倍の面積の陰極と組合せて, 非分極鉄面に對しては陽極電流密度 1.0 mA/cm² (1.0 A/dm²), 切断による損失分も含めても発生電気量 2 A H/g となる。

同様な実験をいろいろ行つてあるが省略する。高純 Al による成績は上のものと同様である。

それで Al が途中で折れたり切れたりすることがなければ Mg にくらべてかなり有利である。

現在のところ工作上心金を入れた長いリボン状陽極が本邦では作れない。それで 10mmØ 99.

9 棒を押出・引抜で作つてこれによる中間規模の実験を行つた。
第4圖



中間規模実験

三井造船、三井金属の御援助により 100t のタンク模型につき、アマルガメーテッド・アルミニウム陽極により Electro-coating を用い、あと ZAP (99.995% Zn) で維持する実験を行つた。目下測定を継続中であるので Electro-coating に関する大体のことのみをのべる。

1) タンク : 水に浸る部分の全表面積 130 m^2 (但しプラス仕上面である)

2) Al 陽極 : 10 mm の棒 水中部分平均 4 m の垂直電極 20 本

" 4.8 m 水平電極 4 本

合計の陽極初表面積 大体 3.1 m^2

3) コーティング : 110 hr 通電し $5200\text{ A}\cdot\text{h}$ 即ち陰極単位面積当り $40\text{ A}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ の電流を通した。

鉄面が -1.100 V 以上に分極した状態で陰極電流密度 $0.3 \sim 0.5\text{ A}/\text{m}^2$

4) 結果 : プラスチック仕上面にはこの位の条件で比較的薄く coating したもののが良いらしいと思われる程に石灰質被覆の丈夫さ、その後の電位の維持は良好である。ただし Al 棒が hard 材であつたので割れの発生を見るものが多くあつた。その後の実験室実験では前述したように焼鈍した方が安全である。

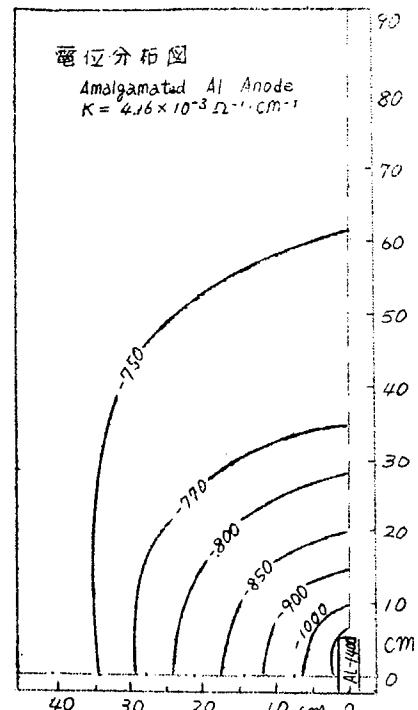
3. 総括

純 Al をアマルガメートしたものは流電陽極として海水中で使用できる。ことにエレクトロ・コーティング用のブースティング・アノードとして好適である。 Mg 合金または純 Mg より高効率で高い陽極電流密度で使える。しかし多くの欠点もある(乾湿をくりかえす条件では使えない、割れを生ずる危険がある。) ブースティング・アノードのように短期間の使用のものであれば、純度 99.8 % のものの使用も可能なので価格的に非常に有利である。

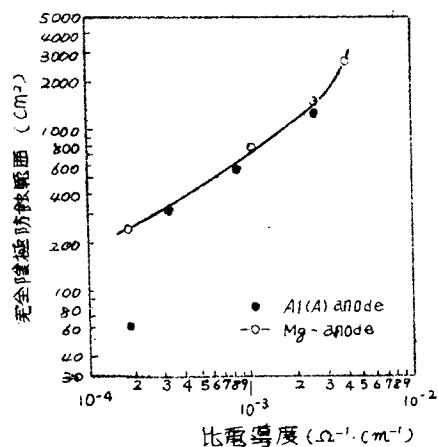
第4章 防蝕電流及び電位の分布状況の研究

鉄鋼構造物へ流電陽極をとりつけた場合の完全に陰極防蝕できる範囲は環境の電導度と幾何学的形状および陽極の電位とによっておもに決つてくるが、海水のように電導度が大きくなると小さな規模で実験的に行えない程広い範囲に及ぶ。それで $3 \times 1.5 \times 1.5\text{ m}$ の水槽に、 $3' \times 6'$ の鉄板を水面下 200 mm に水平に吊して、この中央に Al(A) 陽極または Dow Chemical の Mg 陽極 (Gardvo-line) をおいて、淡水より、食塩添加により種々の電導度の水について電位分布測定により完全防蝕範囲を求めた。陽極はいずれも下側をポリエスチルに埋込んであり、表面積は Al(A) で $110 \times 28 \times 5$, Mg で $140 \times 20 \times 5\text{ mm}^3$ である。一例として比電導度 $4.16 \times 10^{-3}\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ の場合の Al(A) 陽極をとりつけたときの電位分布を示すと第1図のようになる。この場合板の全面が -0.700 V よりも less noble である。各電導度における完全防蝕の範囲を示すと第2図のようになる(参考までに海水の比電導度は大体 $4 \times 10^{-2}\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)。淡水のような電導度の低い場合を除けば Al(A) 陽極は Mg 陽極より不利だとはいえない。Mg 陽極は淡水 (1.82×10^{-4}) 中でも磨き鉄板の美しい面を陽極の周囲に保つているが、 Al(A) 陽極ではこのような部分がほとんどみられない。以上の測定はそれぞれ 3~7 日後までの測定である。

以上のような結果で広く、この実験結果を普遍性



第1図 電位分布の例(曲線の数値は電位、飽和甘汞基準)



第2図 完全陰極防蝕範囲

のある算式として直ちに実船に適用することは無理があるようと思われ、寧ろ実船の実積を解析して実験式を求める方が実際的であると考えたので実験を打ち切つた。

第5章 船底塗料に及ぼす陰極防蝕法の影響

1. 研究の目的

船体に陰極防蝕法を施す場合、そこに生成するアルカリやガスなどによつて塗膜が損傷されると、防蝕に必要な電流もますし、また防汚性に対しても危虞が感ぜられる。そこで陰極電流に対してはなるべく強い塗膜を選択使用することが必要になつてくる。しかし塗膜の種類によつて耐電流性にどの様な差があるかについての文献は殆どなく、僅かに文献(1)にビニール系塗料が推奨されている程度であるので、予備的試験として小型の試片に塗装せるものについて実験室的規模の試験を行ひ、塗料の耐電流性の差を明らかにせんとするのが本研究の目的である。

2. 試験片および試験装置

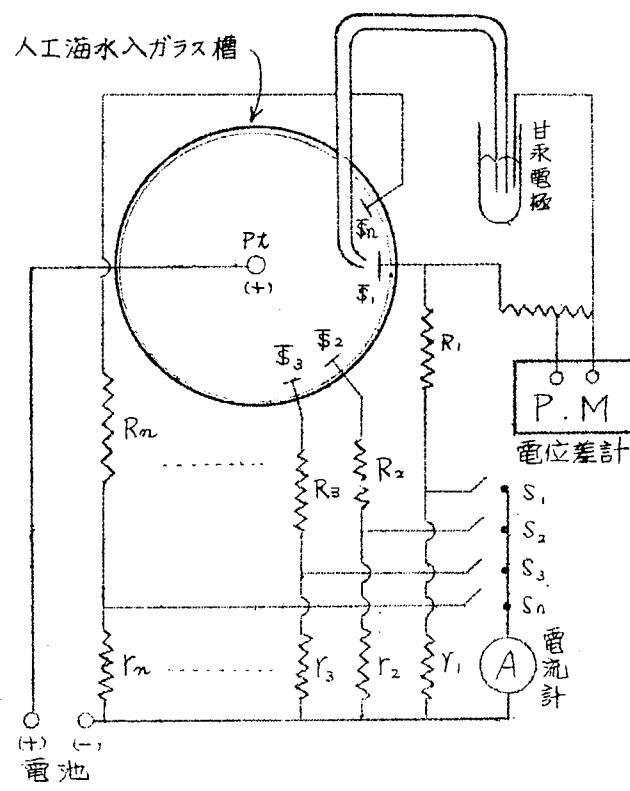
試験片は厚さ 3.2mm の軟鋼板を $120 \times 20\text{mm}$ の大きさに切断し、両面ショットブロスト処理を施したものに第1図に示す様な 15 種類の塗装方式を行つたもの各種 2 枚宛合計 30 枚を試片とした。尙この第一次試験終了後更に第二次試験を行つたが、この場合は同様の試片に第2図に示す様な 9 種の塗装方法を行つた。(第1、2 図はこの章の最後にある。)

上述の様な試片を人工海水(J I S 塗料試験法規定) 6 立を入れたガラス槽中に浸漬し、それを第3図の様に配線し、白金を陽極とし蓄電池により陰極電流をあたえ、I 規定甘汞電極を基準として測定した電位が一定値を示す様に調整した。電位は電子管式電位差計により測定し、その値を第4図に示す如くはじめ -1.07V に保ち順次低下せしめて 23 日後には -1.13V にした。尙各試片に流れた電流の大きさは夫々の試片の直列抵抗の 1 部をシャントとして電流計を入れて測定した。

試験後の塗膜の損傷状況を表示する適當な方法が見当らなかつたので、損傷程度の肉眼観察によつて減点をする評点方法を用ひそれによつて塗膜の種類による差を求め、順位をつけることとした。

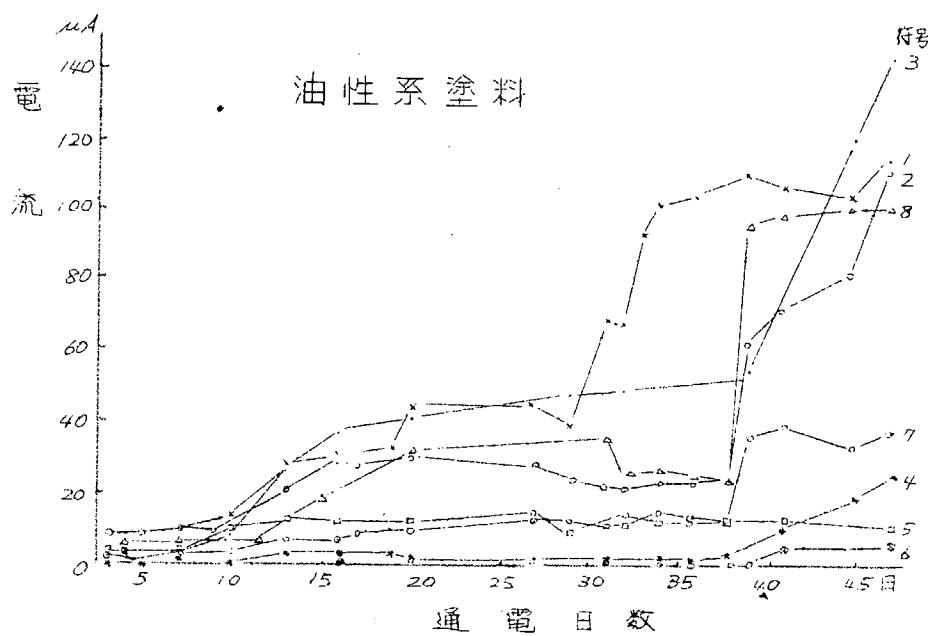
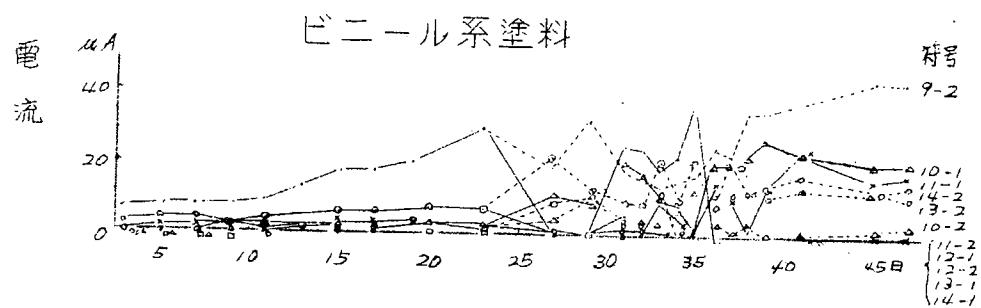
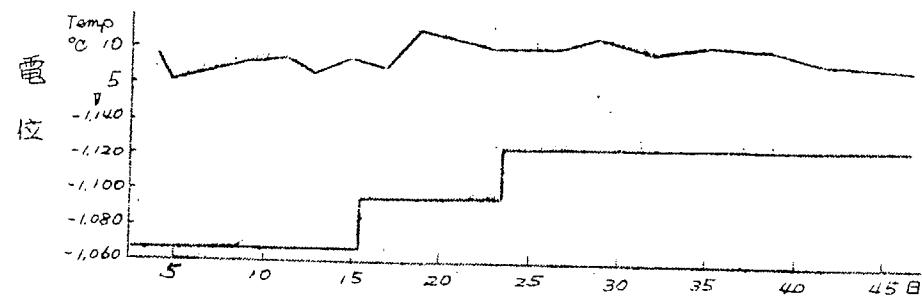
1) R. P. Devoluy, corrosion, 9, No. 1, 2 (1953)

第 3 図



T_1, T_2, \dots, T_n : 試験池

第 4 図



3. 試験結果

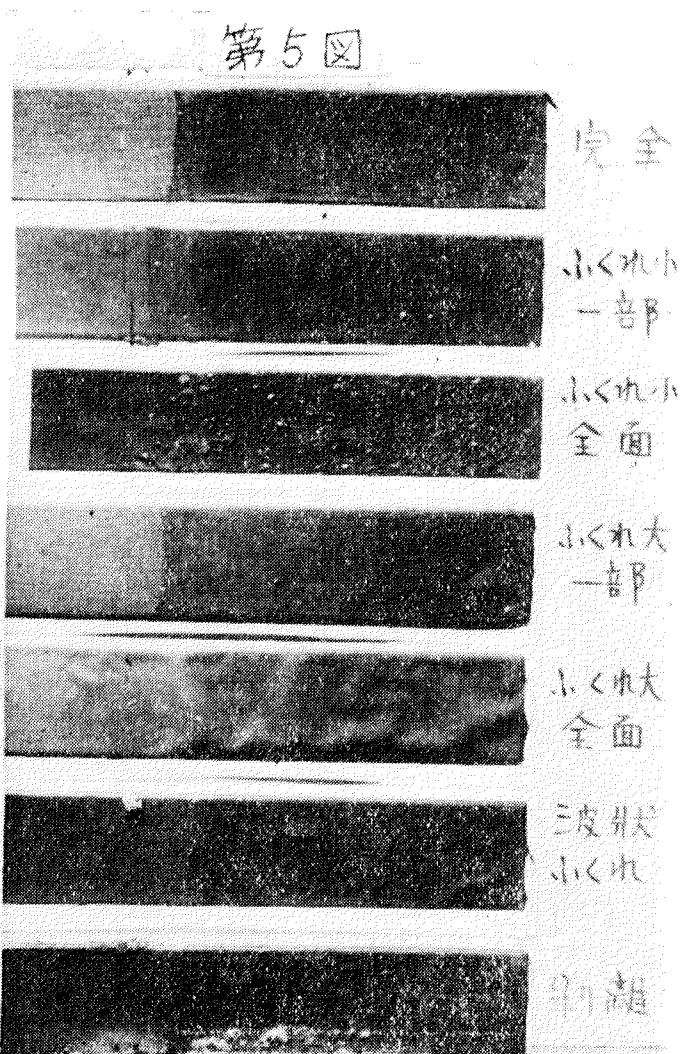
前述の如き試験法により 47 日間試験を行つた後試片を水中よりとり出し、塗膜の状況を観察した。損傷の程度には色々あつてそれを区別して示すことはむづかしいが、塗膜によつて差のあることが明らかとなればよいのであるから、それらは大まかに第5図の様に分類し、それらに対する標準減点を第1図の下方に示す様に定め、減点の合計を満点 10 点から差引いて、残りを評点とすることとした。

その結果は第1図の右方に示す如くで、その評点により、油性およびビニール系相互の間で順位を比較すると同じく第1図の最右の列の数字の様になつた。

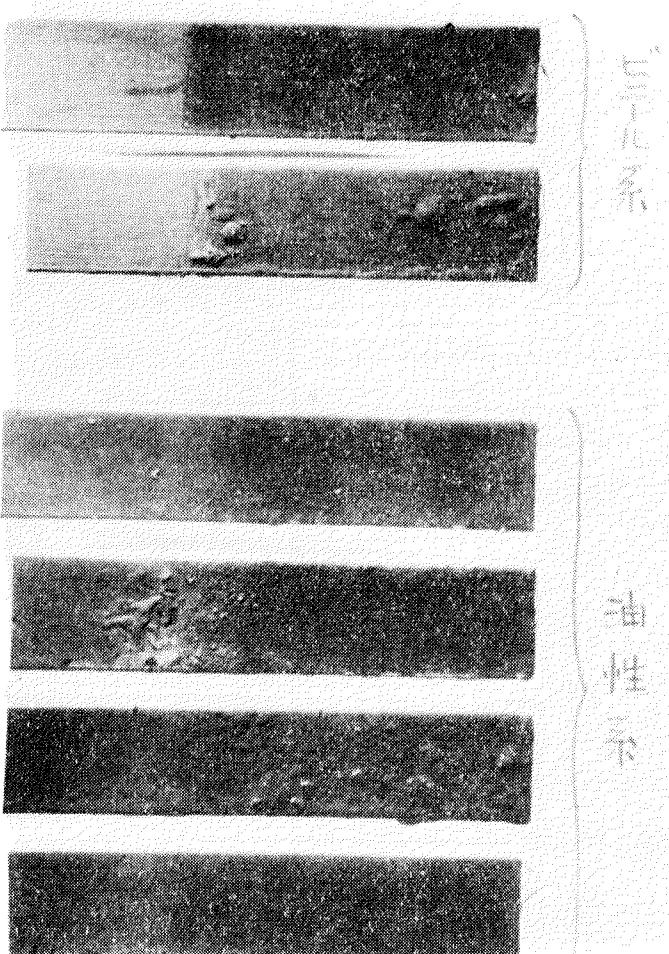
これによるとビニール系は油性系にくらべて一般に成績良好でありまたたとえふくれが生じたとしてもそれが生長して大きな剥離を生ずることが全くない。油性の方はこれと全く逆に一部のふくれが次第に生長して全面の剥離となる。ビニールと油性のふくれ状況を比較して示したのが第6図である。ビニール系のうちでは1号にシルバーを用ひたものよりはジンクロを用ひたものの方が、また1号の塗布回数は多いものほど良好であつた。

油性では下塗が極めて重要であるらしく、下塗をしないものは悪く、下塗としては同じ回数なれば、シルバー、鉛丹、ビニールウォツシュプライマー、ジンクロの順に良くなる。尚鉛丹が1回塗と2回塗で大差があるので疑問である。

なほ第1図には示していないが、コールドプラスチックと称するものも途中からえて試験した



第6図



によつて塗膜の損傷される可能性が察知されるかもしれない。この点については更に検討してみなくては確言はできないが、あるいはこの方法によつて早期に塗膜の耐電流性を知ることができるとも考える。

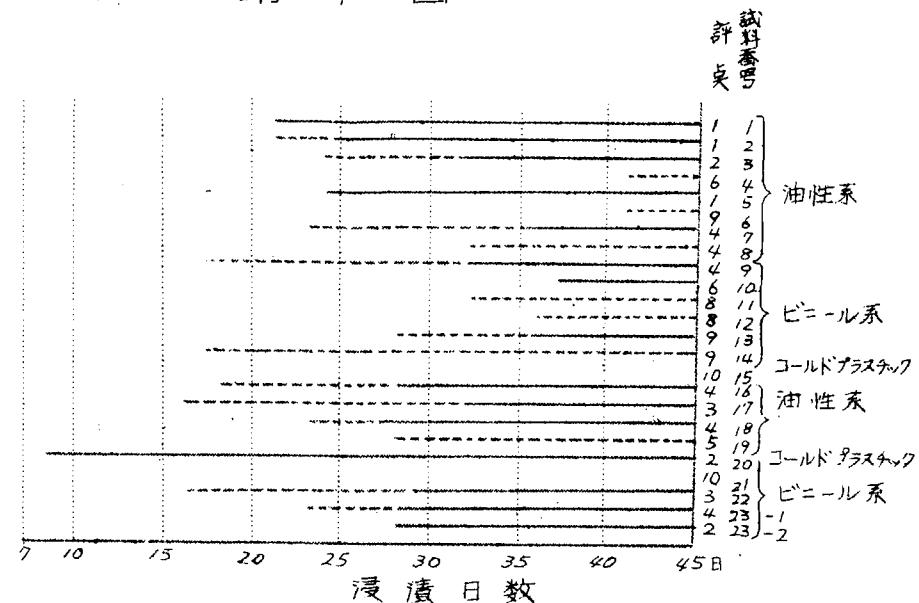
以上は47日間試験した後の結果からだけ検討したものであるが、ふくれなどが生じはじめた日数をみるとこれは第7図に示す如くであつて、最後で損傷のひどいものは、ふくれなどを生じはじめることも早いと云う極めてあたりまえの結果となつた。

のであるが、これは他のものにくらべて断然優秀で、73日後でも全く変化を生じなかつた。

尚電流の測定結果は第4図に示す如くで、油性系のものはビニール系にくらべて一般に大であるが油性のうちでも試験後の損傷程度の少いものは電流が比較的少であり、電位を一定に保つに必要な電流の値は塗膜の耐電流性と逆比例しているものの様に考えられる。

塗膜の損傷がおこる原因は極めて複雑であろうが、いづれにしても塗膜を水分が滲透しない限り損傷はおこらないものと考えられる。そこで一定電位に保つに必要な電流の大小を水分が塗膜を滲透する量の大小、あるいは塗膜の電気抵抗と考えれば、その大小

第 7 図



第 8 図

符号	下塗		1号		2号			A ₁	B ₁	評点
11-2	ウォツシュ プライマー	1	シルバー 1号	4	2号 (無水銀)	2	7		2	8
13-1	"	1	ジンクロ 1号	3	"	2	6		1	9.
14-1	"	1	"	4	"	2	7			10
6-2	シルバー系	3			2号 (有水銀)	1.	4	6		4

A₁ ふくれ大一部

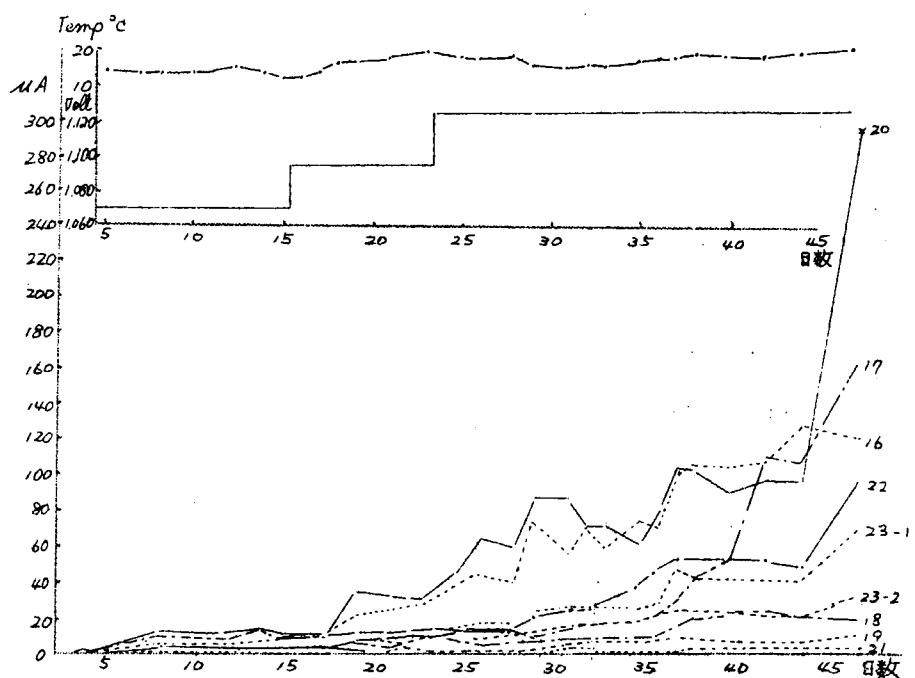
B₁ ふくれ小一部 通電 73日

47日間の試験で塗膜にすこしも変化を生じなかつたもの(油性系No.6, ビニール系No.11, 13, 14)の間の差をみるためにそれらをさらに26日間の試験をした。その結果は第8図に示す如くであつて、油性系の最もよいものでも、ビニール系にはかなはないし、またビニール系のなかでの比較は47日の場合と全く同様に1号にはジンクロを用ひて回数の多いものほど良いと云うことになつた。

以上の実験結果を更に確めるために油性系のみについて第二次の試験として第2図に示す様な9種の塗膜について前回と全く同様な方法で試験を行つた。その結果は同じく第2図に評点ならびに順位として示してある。今回は各塗膜間の差が前回ほどにはつきり出なかつたが、下塗としてはジンクロが良くビニールウォツシュプライマーが悪いことは前回と同様であつた。尙各試片を前回と全く同様に

第9図の様に
一定電位に保
つた時の電流
の大きさは第9
図の下方に示
す如くであつ
た。

第 9 図



4. 結 論

2回の実験の結果を総括すれば次の如くなる。

- (1) ビニール系の方が油性系よりはるかにすぐれている。
- (2) 油性のうちでの比較

1. 下塗は重要で、下塗をしないもの(No.1, 2)は不良。

1号はせずとも下塗の回数の多い方がよい。(No.5, 6)

2. 下塗が同じならば1号あるいは2号の種類(No.16, 3, 17)および塗布回数(No.20, 22)は関係しない。

3. 下塗としては同じ回数ならばジンクロが最もよく、ビニール・ウォッシュプライマー、鉛丹、シルバーは大差ない。

4. 鉛丹は1回ではよくないが(No.3, 16, 17)2回になると急によくなる(No.4)

(3) ビニール系での比較

1. 1号としてはシルバーよりジンクロの方がよい。

2. 1号の塗布回数が多いほどよい。

(4) コールドプラスチックはビニール系よりも更によい。

尚本試験中気附いた点をのべると次の如くである。

(1) ビニール系は油性系にくらべて耐電流性は極めて良好であるが、試験した同一塗法の2枚の試片でふくれの発生状況に差があるものが大部分であつた。このことは油性系には見られないところであつて、このことからビニール系は油性系よりも塗布の際の僅かの条件の差の影響することが大きいのではないかと察せられる。(2) 試片に塗膜がある場合にはそれを一定の防蝕電位に保つに必要な電流の大きさは塗膜の種類によつて大きな差があるので、電流によつて陰極防蝕の条件を一定に保つことは不可能で是非電位を測定してその値を基準にすることが必要である。しかしさば over protection による塗膜のふくれかあるいは電流過少による錆の発生をみるおそれがある(3) 最後に、本研究は各種塗装間の優劣の差を比較的短時日の間に出す目的をもつて行われたため各試片にあたえた電位の値は実際に防蝕が行われる場合よりも遙かに低いのであつて、条件としては極めて苛酷なのである。即ち電位の値は1.06~1.12Vとなつてゐるが実用の際は0.9~1.0V以下に下げることは必要でない。従つて本研究で僅か50~60日間に殆ど塗装が剥げ、ふくれを生じたとしてもそれは実用の際には起り得ないことであるから心配の要はない。

本研究の試片の塗装に関しては三菱日本重工業横浜造船所材料試験場大西正次委員を煩したものであつてここに厚く謝意を表する。

第一回

符号	下塗	1号	2号		A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C	評点	順位
1 - 1 1 - 2		Y社 1号	2 Y社2号 (有水銀)	1 3		-10		-6 剥離 -3	1	1	8
2 - 1 2 - 2		N社 1号	2 N社2号 (無水銀)	1 3 -3			-8 -7		2 0	1	6
3 - 1 3 - 2	N社 鉛丹系	Y社 1号	1 N社2号 (有水銀)	1 3 -2			-7 -7		3 1	2	5
4 - 1 4 - 2	N社 鉛丹系	Y社 1号	1 N社2号 (有水銀)	1 4 -3		-2		-4		6 5	6 2
5 - 1 5 - 2	Y社 シルバー系	Y社 1号	2 N社2号 (有水銀)	1 4 -3					波状 剥離 -10	1	1 6
6 - 1 6 - 2	Y社 シルバー系	3			N社2号 (有水銀)	1 4 -2				8 10	9 1
7 - 1 7 - 2	Y社 ジンクロ系	1 Y社 1号	2 N社2号 (有水銀)	1 4 -4	-6 -2					4 4	3
8 - 1 8 - 2	Y社 ビニールウオツ シユブライマー	1 Y社 1号	2 N社2号 (有水銀)	1 4 -7				-6 -7		4 3	4 4
9 - 1 9 - 2	ウオツシユ ブライマー	1 シルバー 1号	2 2号 (無水銀)	2 5 -4	-3 -2			-4		3 4	6
10 - 1 10 - 2	ウオツシユ ブライマー	1 シルバー 1号	3 2号 (無水銀)	2 6 -4	-5 -4					5 6	5
11 - 1 11 - 2	ウオツシユ ブライマー	1 シルバー 1号	4 2号 (無水銀)	2 7 -2	-4					6 10	8 3
12 - 1 12 - 2	ウオツシユ ブライマー	1 ジンクロ 1号	2 2号 (無水銀)	2 5 -4						10 6	8 3
13 - 1 13 - 2	ウオツシユ ブライマー	1 ジンクロ 1号	3 2号 (無水銀)	2 6 -3						10 7	9 2
14 - 1 14 - 2	ウオツシユ ブライマー	1 ジンクロ 1号	4 2号 (無水銀)	2 7 -2						10 8	9 1

減点基準 表面状況 減点 表面状況 減点

B ₁ .. ふくれ小一部	2 ~ 4		
B ₂ 全面	6 ~ 8	C ..	波状ふくれ一部 2 ~ 4
A ₁ ふくれ大一部	2 ~ 7		全面 6 ~ 10
A ₂ 全面	6 ~ 10		剥離 3 ~ 10

第 2 図

符号	下塗	回数	1号	回数	2号	回数	計	減 点		評点	順位
								ふくれ大部	ふくれ全面		
16 1 1	N社 鉛丹系	1 1	Y社 1号	1 1	Y社 2号 (有水銀)	1 3			-5 5		4 4
16 1 2											
17 1 1	N社 鉛丹系	1 1	N社 1号	1 1	N社 2号 (無水銀)	1 3			-6 4		3 7
17 1 2											
18 1 1	Y社 シルバー 系	3 3			N社 2号 (無水銀)	1 4		-8		2 4	4 4
18 1 2						1 4	-5				
19 1 1	Y社 ジンクロ メート系	1 1	N社 1号	2 2	N社 2号 (無水銀)	1 4		-5		5 5	3 3
19 1 2						1 4		-5			
20 1 1	Y社 ビニール ウォツシユ ブライマー 系	1 1	Y社 1号	2 2	Y社 2号 (有水銀)	1 4		-8		2 2	9 9
20 1 2						1 4		-8			
21 1 1					N社 コールドプラ スチック1号	3 3	N社 コールドプラ スチック2号 (無水銀)	2 5		10 10	1 1
21 1 2						2 5					
22 1 1	Y社 ビニール ウォツシユ ブライマー 系	1 1	Y社 1号	1 1	Y社 2号 (有水銀)	1 3		-9		1 6	3 7
22 1 2						1 3	-4				
23 1 1	Y社 シルバー系	1 1	Y社 1号	1 1	Y社 2号 (有水銀)	1 3	-6			4 7	4 7
23 1 2	Y社 ジンクロメート 系	1 1	Y社 1号	1 1	Y社 2号 (有水銀)	1 3	-3			4 7	2 2

第6章 船の浸水面積の近似式

船体に流電防蝕を施す場合、船の浸水面積を知ることが必要であるが船の長さ或は排水量を知つてその浸水面積の概略の値を知り得れば流電防蝕装置の設計上甚だ便利である。

従来発表されている船の浸水面積近似計算式は沢山あるが、最も広く使用されているのは次の二つである。即ち、

Mumford-Denny's formula :

$$S = 1.7 L d + \frac{V}{d} \\ = (1.7 d + C_b \cdot B) L \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

但し、 S = 浸水面積

L = 船の平均浸水長さ

d = 型吃水

V = 容積排水量

B = 型幅

C_b = 方形肥満係数

以上、単位は m でも $f t$ でも何れでもよい

Taylor's formula :

$$S = C \sqrt{\Delta L} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

但し、 S = 浸水面積 ($f t^2$)

Δ = 排水量 (tons)

L = 平均浸水長さ ($f t$)

C = 中央横截面積係数 C と $\frac{B}{d}$ (B は型幅、 d は吃水) との函数で曲線で与えられ、 $C_b = 0.45 \sim 0.75$ の範囲に適用されるが、 $\frac{B}{d} = 2.0 \sim 3.6$ の範囲では $1.563 \sim 1.595$ の間にある。

◎ Taylor の式をグラフに表わすことについて

139隻の船(商船83隻、軍艦56隻)について横軸に $\log \Delta \cdot L$ (tons - meters)

(39)

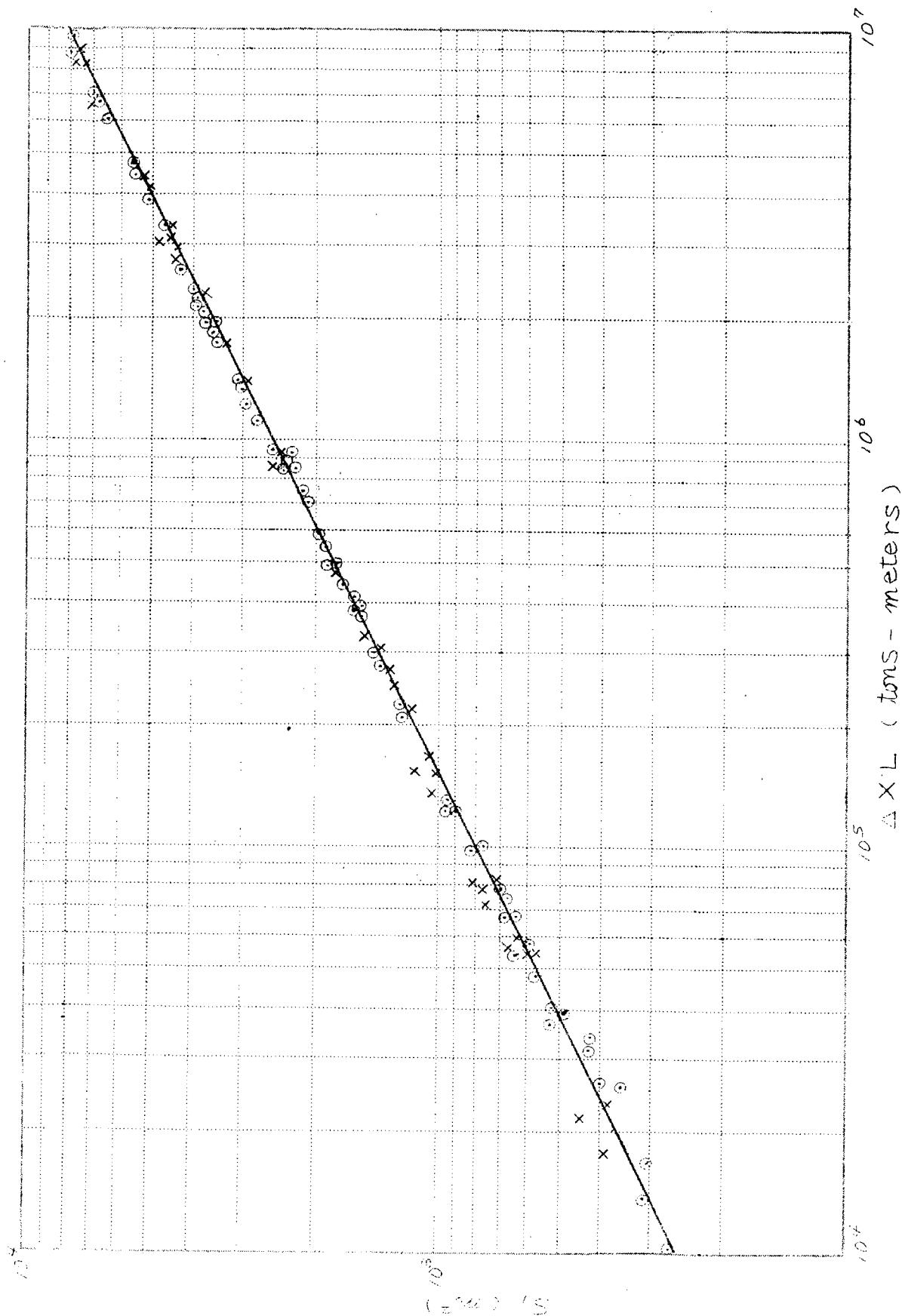
をとり船体船図から求めた正確な $\log S (m^2)$ を縦軸に置点, plot したところ第1図の如くなり Taylor の式は $S_1 = 2.419\sqrt{\Delta \cdot L}$ とするのが妥当であることが判つた。なお Δ は満載排水量, 単位はメートルである。

第1図を用いて $\Delta \cdot L$ から直ちに浸水面積の近似値を求めることが出来る。

又排水量のみから浸水面積が求められる様, 横軸に $\log \Delta$ をとり縦軸に $\log S (m^2)$ を置点, plot したところ第2図の如くなつた。即ち商船の場合 $S_2 = 4.621 \Delta^{0.697}$, 軍艦の場合 $S_3 = 8.165 \Delta^{0.654}$ なる別個の式を得た。

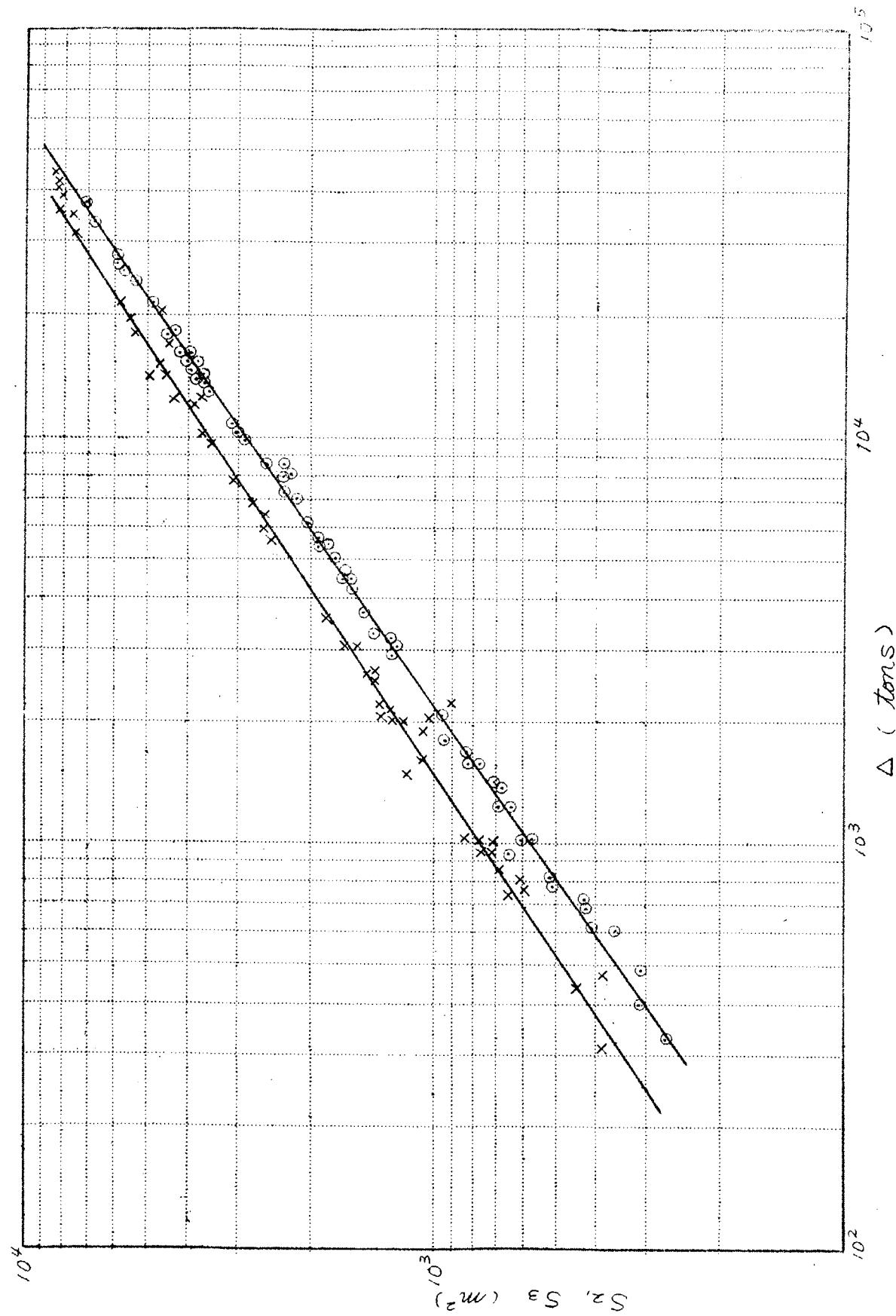
(第1, 2図中○印は商船, ×印は軍艦である。)

第 1 四



(41)

第 2 図



(42)

第7章 電位測定用塩化銀電極の試作研究

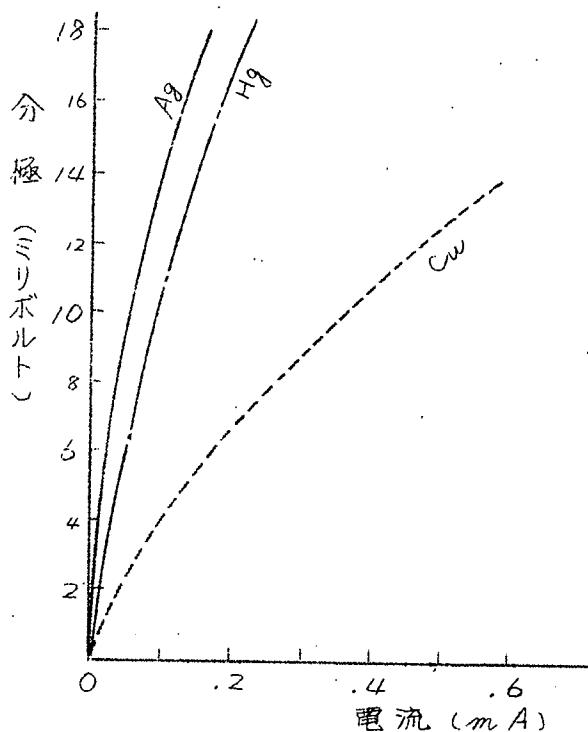
1. 研究の目的

陰極防蝕を船体に応用するにあたつて、その防蝕基準をいかにして求めるべきかが問題である。従来よく行われていた様に平均の電流密度を基準として用うることは、電流分布が均一でないときには過大電流の部分には塗料の剥離を、そして過小電流の部分には錆の発生をおこすために極めて不適当である。そのほか、電位 — 電流曲線の急曲点、電位変化量などを基準とすることも提案されているが、防蝕の理論から云つても一定の防蝕電位（硫酸銅電極に対し -0.85 V）迄分極させることを基準とするのが最も妥当である。しかし電位の測定は種々面倒な操作と高価な計器を必要とするので行われ難い。そこで本研究ではなるべく簡単で安価な計器を用ひて電位の測定が行ひうる様に、塩化銀電極とその使用法について研究したものである。

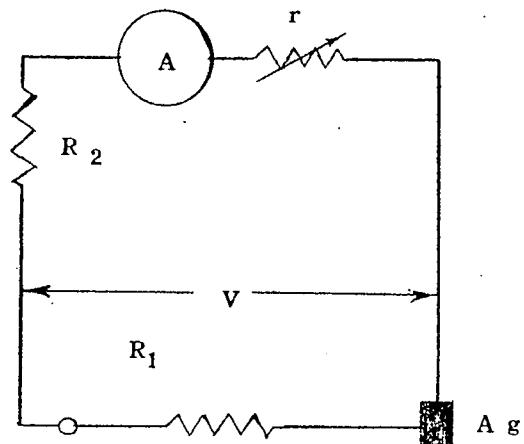
2. 研究の概要

電位の測定を行うためには基準電極を必ず必要とする。従来用ひられているものは硫酸銅電極であるが、これは電解液を要するため取扱上不便であることを免れない。目的が海水で、主として塩化物溶液であるところから、塩化物の電極ならば特別の電解液を必要とせず取扱が楽になるので塩化銀電極を用ふることが想定される。次には電位の測定を現場で行うためには普通の電位差計は電源を要するため不便であり、携帯型のものでも高価であるところから、兎に角電位差計を用ひず電流を流して測定が出来ることが望ましい。電流を流すと困ることは第一には基準電極の分極であり第二は測定回路のオーム損が測定値に入つて来て精度を悪くすることである。そこで研究の目的は分極の少い塩化銀電極をうること、それを用ひてオーム損を測定に入らない様にすることになる。

分極は電極によつて差があつて、普通の電気化学の教科書に出ている程度のものについて実測してみると第1図の様で、塩化銀はあまりよくない。そこでこれをなんとかして改良するための努力を払つた結果、後述の様に略々満足すべきものが得られたのである。



第 1 図



第 2 図

次にオーム損を閑却する方法としては文献⁽¹⁾を参考して次の様な方法を用ひた。第2図で A_g は基準電極、 R は測定回路の外部抵抗、 V を求める電位差とすると、そこに図の様に電流計 A と可変抵抗 r とを直列に入れる。この場合 A_g の分極が求める測定値の精度以下である様な電流を流しても電流計の内部抵抗 r_A にその読み I を乗じた値 $V_e = r_A I$ は R_2 の値が大きいと V とは $R_2 \cdot I$ だけの差があることになつて正しくない。そこで先づ可変抵抗 r を r_1 なる値にして電流 i_1 を流し、次に電流を $i/2$ になる様に r を r_2 とすれば

$$V = i (R_1 + R_2 + r_1)$$

$$V = i/2 (R_1 + R_2 + r_2)$$

この二式より

$$V = i (r_2 - r_1)$$

なつて R によるオーム損は測定値に入らない。

1) J. T. Crennell, Chem. & Ind., 204, Feb. 20, 1954

この場合 i を変化したことにより R_1 , R_2 の値が変わることを仮定したが、 i は μA の程度であり、 R を生ずる船体は極めて大きいので先づ R_1 , R_2 は i により変化しないものとみてよい。この測定法を文献¹⁾ では **Ground Voltmeter** と称している。この方法によれば使用するものは可変抵抗箱とマイクロ電流計のみで、電源も要らずまた電位差計に比して極めて安価である。

分極の少い塩化銀極と **Ground Voltmeter** の方法によつてドツクの水門の電位を測定してみたところ、電位差計による測定値と誤差内でよく一致したのでこれら一聯の方法と計器は実用になることが明らかとなつた。

3. 塩化銀電極の試作

銀極の製法にも色々ある様であるが、普通に教科書に出ている様な製法によると分極は決して小さくないことは既に述べた。例えば第3図に示す値は第4図の様な測定装置によるものであるが、銀極は銅極や水銀極に比べてむしろ分極は大である。銀に銀粉を焼付けたものも第3図に示す様にあまりよくないが、それに更に塩化銀づけをすると同図の下方に示す様に色々の大きさの試作極(写真1に示す)はすべて分極が小となる。測定時の電流は $10 \mu A/cm^2$ 位であるから分極による誤差は $1 mV$ 以下となる。

鉄の電位を測るのであれば銀極は陰分極値だけが小さければよいのであるが、ついでに陽分極も測つてみると、第5図に示す様に陰分極と同じ傾向を示した。

分極が小さいと云うことは電流によるかく乱に対して安定であることで、従つて電流をあたえた前後の再現性も良い。これは第6図に示した。

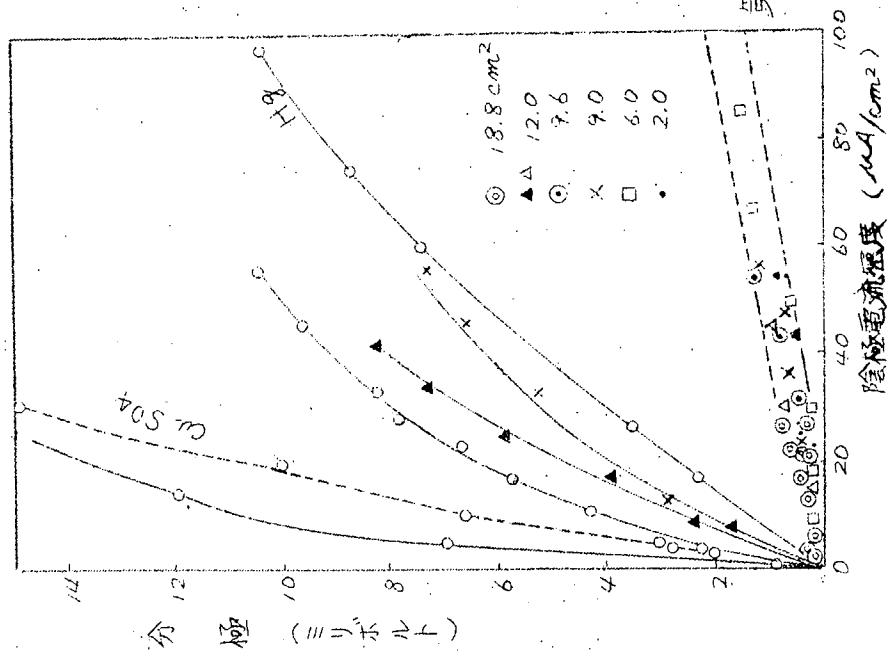
次に乾した極を水につけた時の電位の変化も第7図に示す様にこの電極は小さい。

電極の接水抵抗の値は小さい方が良いのであるがこれも第8図に示す様に従来のものより小であり、極の大きさに大体比例していることは第9図に示す如くである。

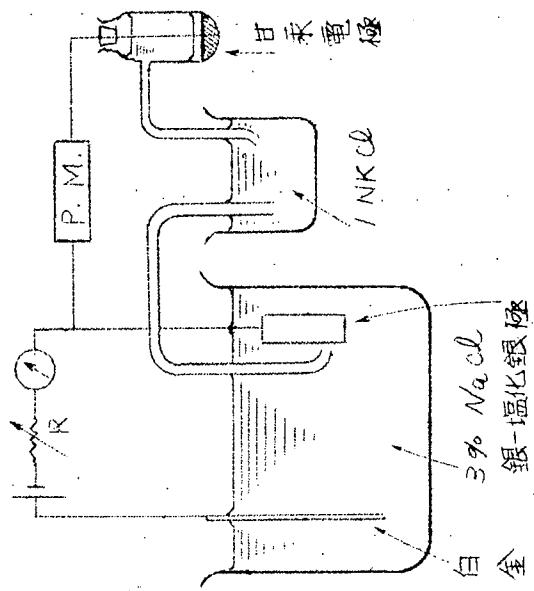
4. 塩化銀電極を用ひた電位測定

上述の如くにその性質が大体良好であると思われる銀極が試作し得たのでこれを用ひて電位測定を行うため先づ実験室で第10図の様にして測定を行つた。その結果は第10図の左図の如くで、電位差計を用ひた値と大体一致したので次には現場においてドツクの水門にMg極をつけて陰極防蝕を行つてゐるものとの電位を測定してみた。その装置は第11図に示す如くでGは目的のドツク水

基準電極の陰分極(2)



(A'')

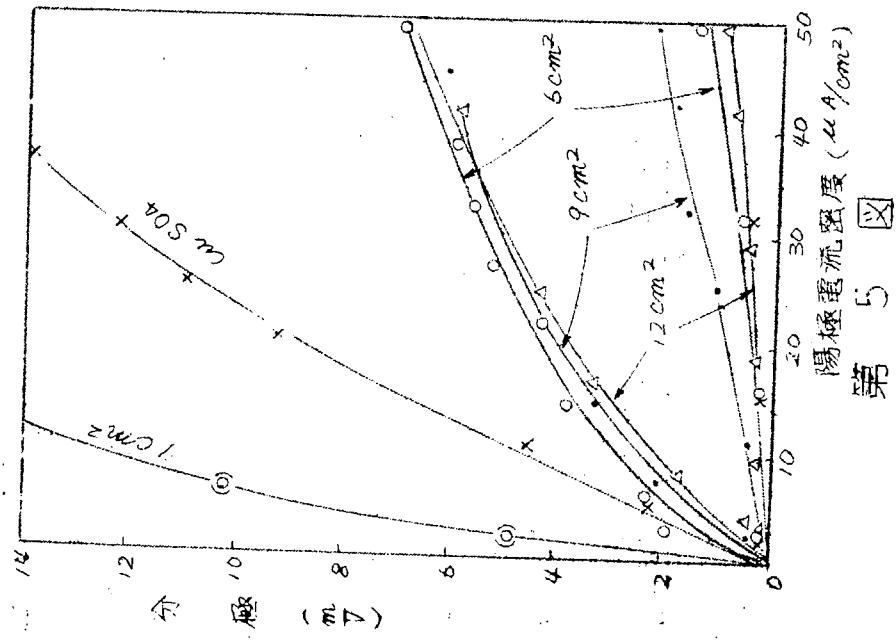


第 4 図

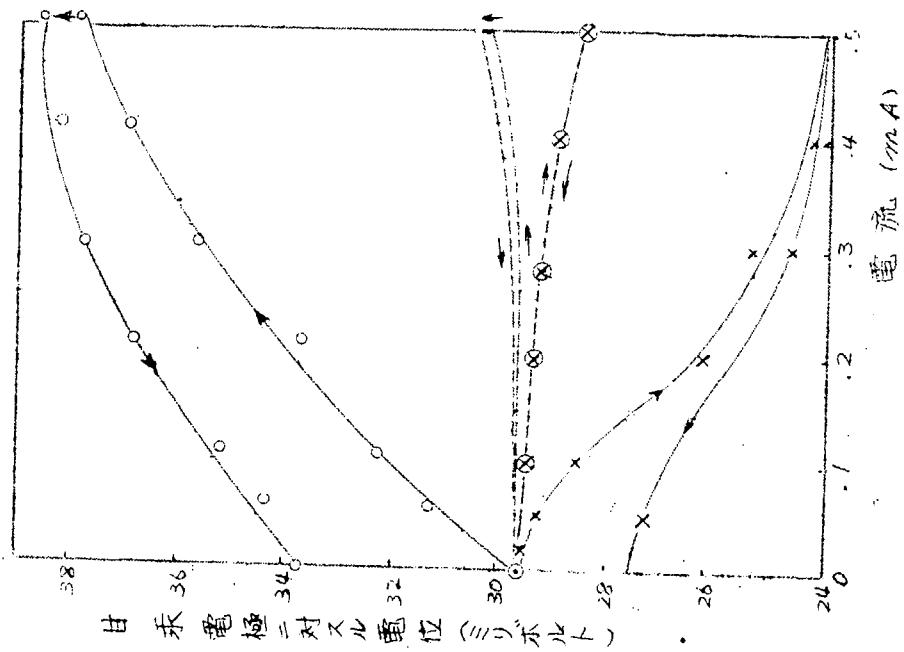
第 3 図

第 4 図

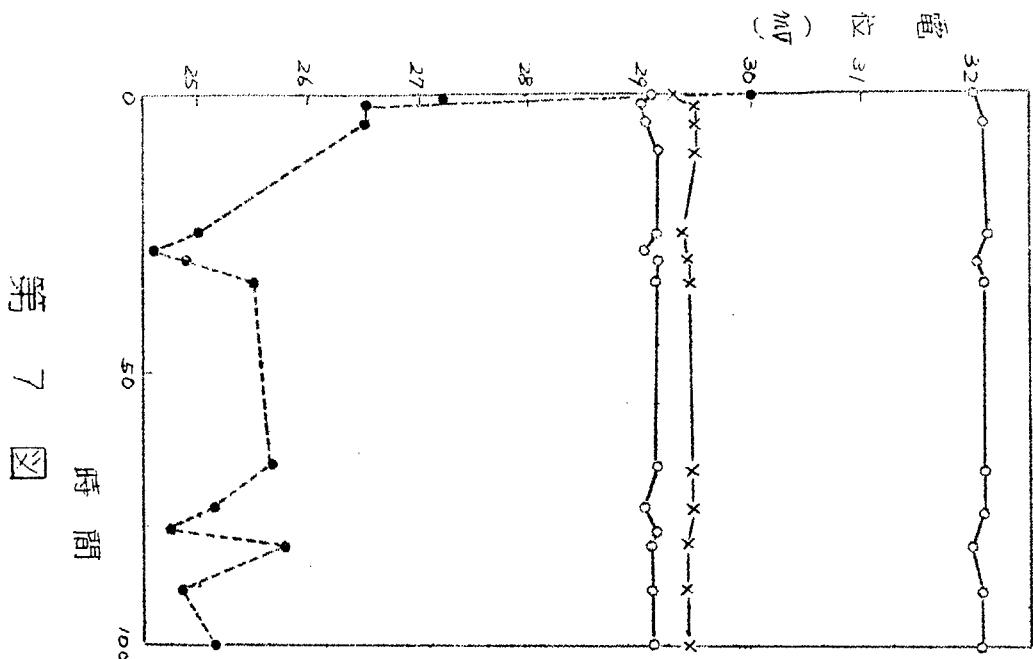
標準電極の陽分極



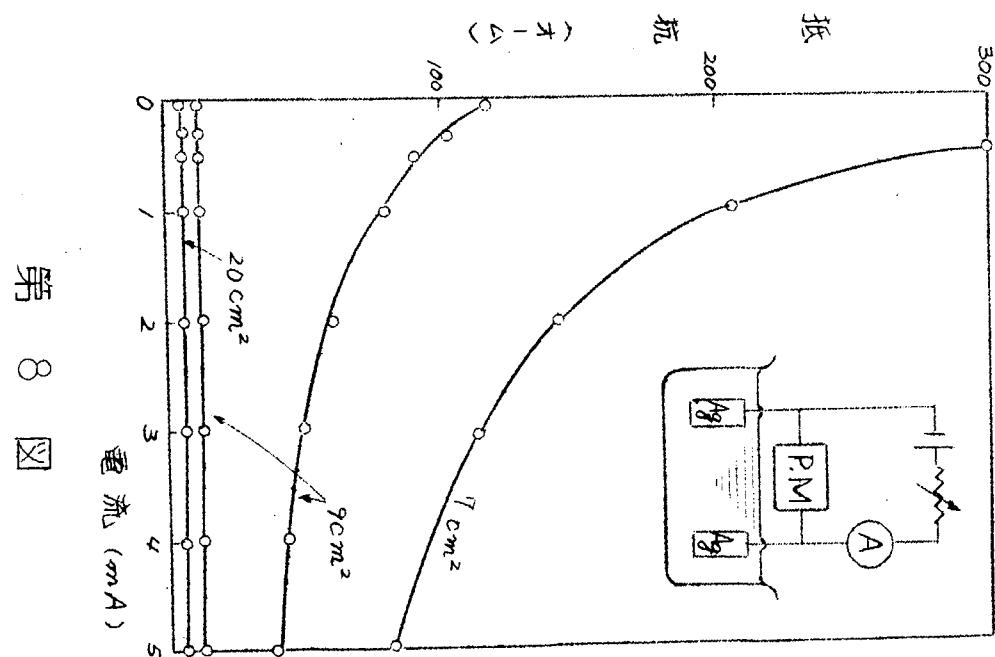
第 6 図



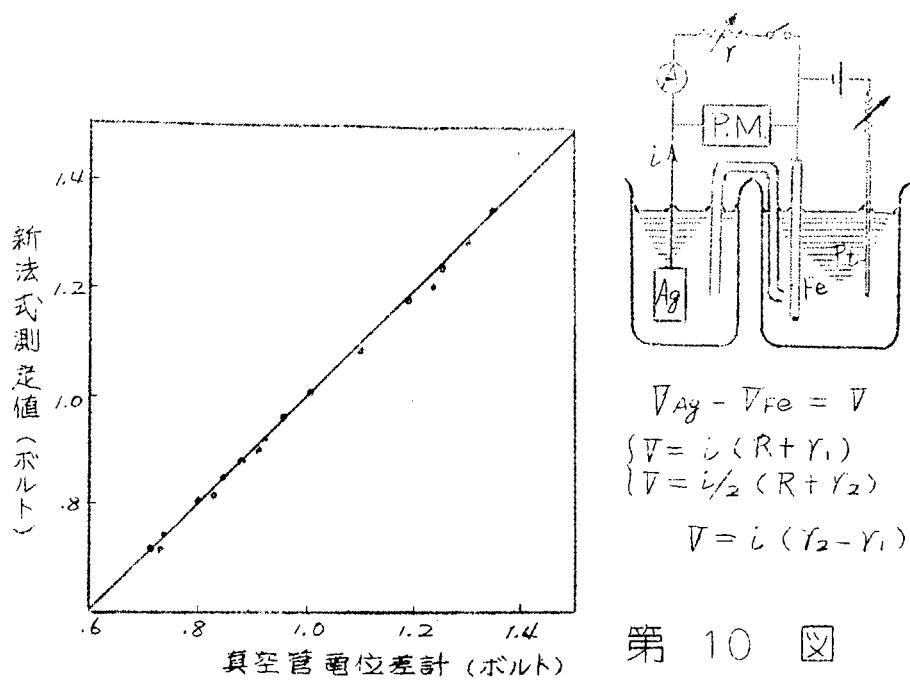
第 6 図



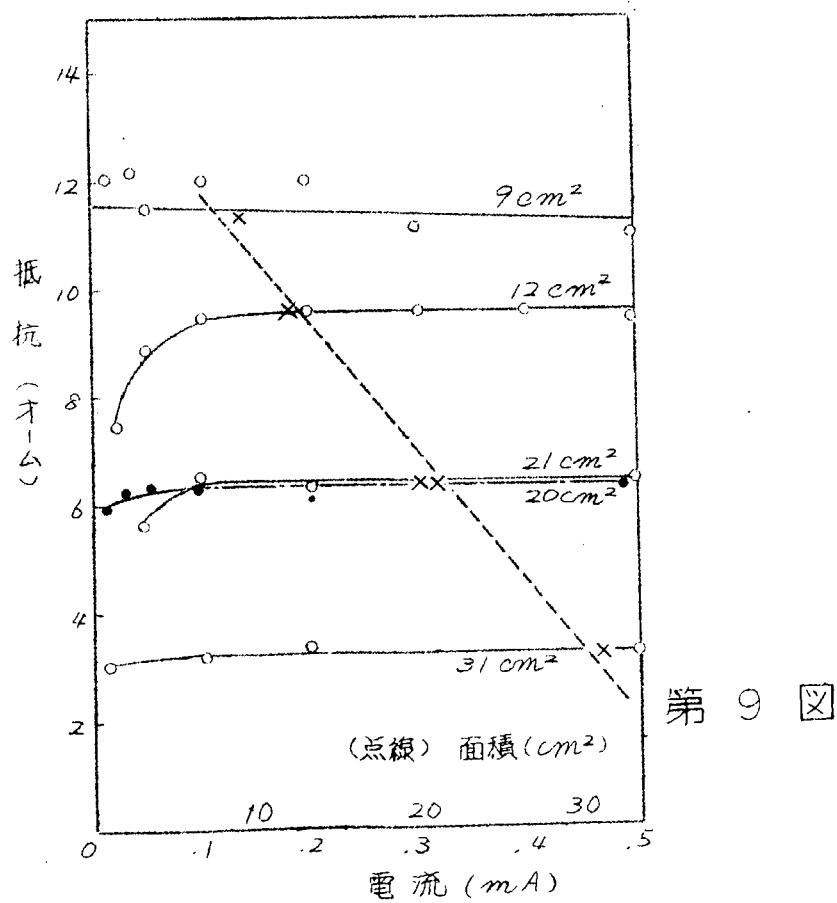
第 7 図



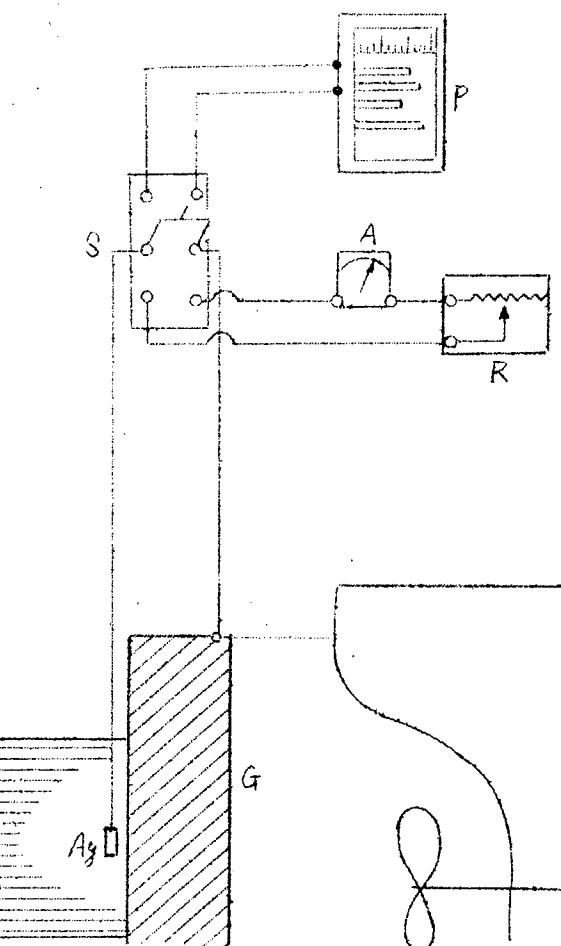
第 8 図



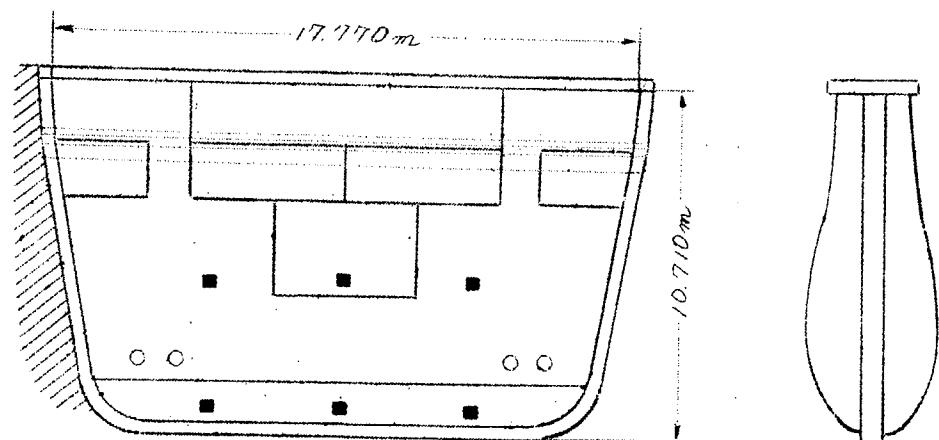
第 10 図



第 9 図



第 11 図



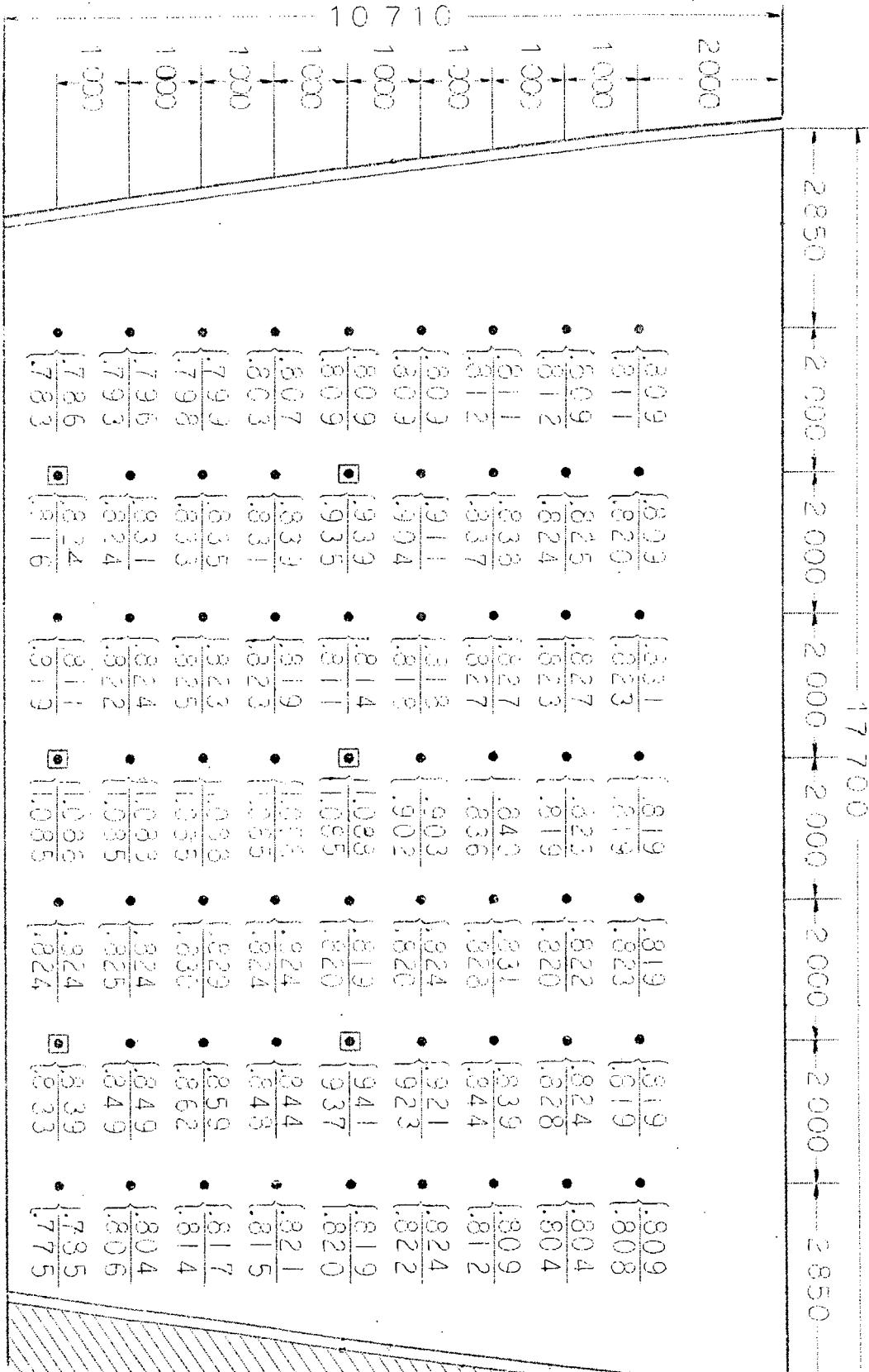
ドック扉船 断面図

側面図

第 12 図

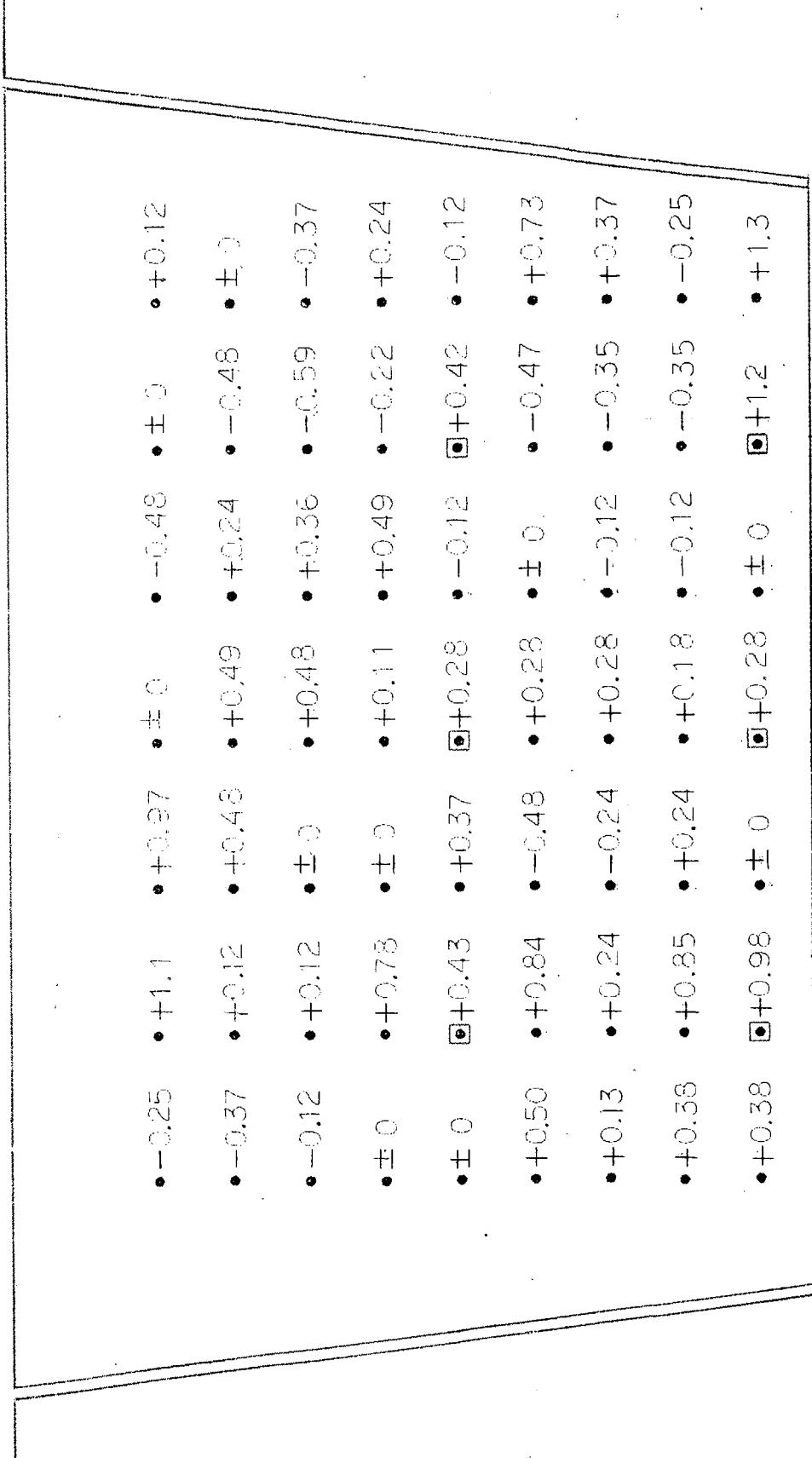
第 13 図

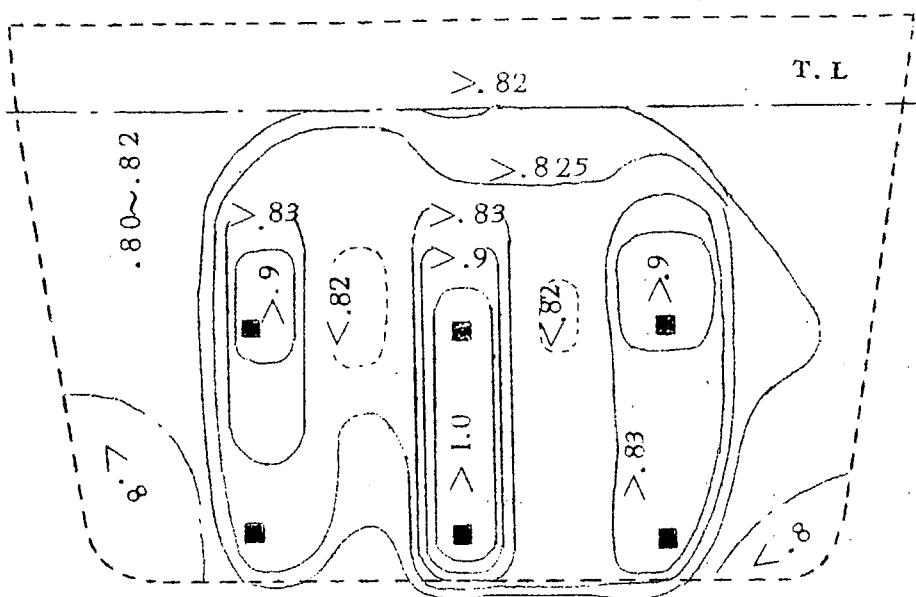
水門扉の電位 (Ag 極(No.2) 基準 全部(一)を略す)
■ Mg 電極の位置
 (A g 極(No.2) 基準 Ground Voltmeter
 $\frac{d}{b}$ 電子管式自動平衡電位差計)



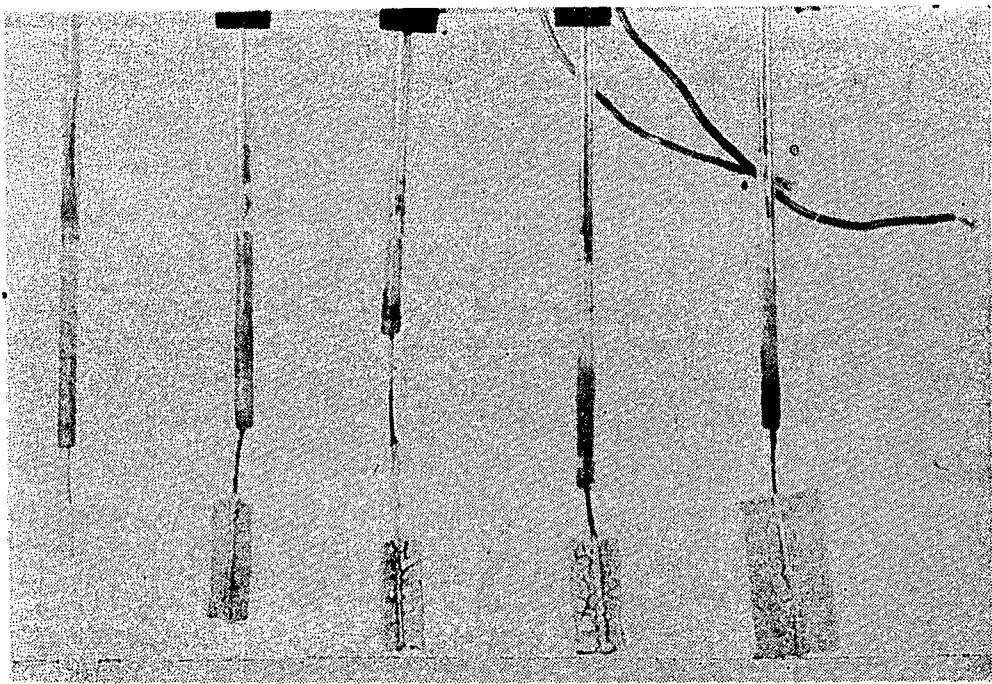
第 14 図

電位測定値の誤差 (%)





第 15 図



写 真 1.

門， A_g は銀基準極， R は抵抗箱， A は電流計でそれに切換スイッチ S をつけて， P なる電子管式自動平衡電位差計を標準として使用した。

水門の形及大きさは第 12 図に示す如くで，横約 18 m，高さ約 11 m のものに，黒四角で示した Mg 極が 6 個とりつけてあるものである。

測定結果は第 13 図に示す如くである。図の各点は測定位置で，その測定値の上段は Ground Voltmeter によるもの，下段は電位差計による標準値を示す。この両者を比較したものが第 14 図である。用ひた電位差計の精度が 0.5 % であることからして，本測定値は略々その誤差内で一致したとみるべきであろう。

尙参考のため等電位線を画くと第 15 図の様になつた。

5. 結論

以上の結果 Ground Voltmeter 式の測定法と試作銀極とを組合せれば，船体の電位測定も高価な計器や電源を要することなく極めて簡便に且つ正確に行ひうることが明となつた。

尙ドック水門の電位測定にあたつては三菱日本重工業株式会社横浜造船所材料試験場大西正次委員の御援助をうけたことを記して厚く感謝する次第である。また実験については千葉工大学生根本栄君，久保田健君が熱心に手伝つて下さつたことも併せて感謝する。

第8章 臨海基礎実験

第5章の基礎実験で塗膜劣化に及ぼす影響と電流並に電位との関係の大要が求められたが、実際の海中では実験室とは大いに環境が異なる。殊に生物の附着防止に用いられる2号船底塗料(A/F)からの銅、水銀等有毒重金属の溶出は塗装面が陰極となれば当然抑制され、一旦溶出した海水中のこれらのイオンが陰極面に沈殿析出されることも予想され、防汚力の減退並に電流が断たれた後の局部腐蝕が懸念される。

これらを確かめるために臨海実験を行い岸壁或は筏から試験板を海中に浸漬し、防蝕電流を通じて塗膜劣化と電流、電位との関係、陽極の電流効率、防蝕率、陰極防蝕に適する塗装系の探究を行つた。

実験条件をなるべく同一にする為に試験板の形状、浸漬方法、塗料、陽極材料等は総て同一とし海域の影響を比較するために関東及び関西で各二場所で併行して実験を行つた。

塗料は日本ペイント(株)及び日本油脂(株)より一定組成のものの提供を受け次の塗装系について実験した。

油性系	1号船底塗料(A/C)×2号船底塗料(A/F)(A/Fは有水銀及び無水銀系)
	下塗プライマ(鉛丹系)×A/C×A/F (同 上)
	同 上(シクロメート系)×A/C×A/F (同 上)
	同 上(アルミニウム系)×A/C×A/F (同 上)
	ウォツシュプライマー×A/C×A/F (同 上)
ビニル系	ウォツシュプライマー×ビニルA/C(鉛丹系)×ビニルA/F(ビニルA/Fは無水銀)
	同 上 × 同(シクロメート系)×ビニルA/F (同 上)
	同 上 × 同(アルミニウム系) × 同上 (同 上)
コールドプラスチック系	コールドA/C×コールドA/F

各塗装系については陰極防蝕の有無、塗膜に塗残しの有無により次の8枚宛を基準として行い、別に塗装のない裸鋼板についても比較した。

陰極防蝕したもの	{	完全塗装	2
		塗残し又は疵付	2
防蝕しないもの	{	完全塗装	2
		塗残し又は疵付	2

計 8枚
(55)

実験場所と防蝕方式は次の通りである。

実験場所	防 蝕 方 式	目標とした電流密度
横 浜	マグネシウム合金陽極	26.9 mA/m ²
油 壺	同 上	8~5
	亜鉛陽極	8~5
神 戸	マグネシウム合金陽極	疵なし 5
	亜鉛陽極	
	外部電源法	疵付 10
因 島	マグネシウム合金陽極	約 10
	亜鉛陽極	完全塗装1.6, 塗残し3.2

(註) マグネシウム合金陽極 Dow 社 Galvo Rod

亜鉛陽極 国産 99.9%級

塗装鋼板の防蝕に必要な電流密度は Devoluy の臨海実験では 26.9 mA/m², Barnard 等の実船試験では見掛けの平均値 10.7.8~5.3.9 mA/m², カナダ海軍の経験では 16.2~2.7 mA/m² とされている。これらの値と基礎実験を参考にして先づ横浜で 26.9 mA/m²で行つたが塗膜劣化が著しく、他の場所では電流密度を低下させたが、浸漬直後の塗膜の抵抗が急激に低下するので一定の電流密度に保つことが困難で塗膜劣化が相当助長された。

実験は昭和30年5月より開始し最大5ヶ月に亘って継続し、現在尚継続中の場所もある。得られた結果の概要是次の通りである。

(1) 限界電流密度及び限界電位

- (1) 塗膜劣化を生じない限界値は決定することが出来なかつたが電流密度 10~5 mA/m²以下、電位 -1.0 V 以上は劣化が少い。
- (2) 亜鉛陽極は比較的劣化は少いが、それでも過大電流で劣化を生じる場合もある。マグネシウム陽極並に外部電源方式では適当な抵抗により安全な電位に保つ必要があり、特に海水に浸漬した直後に過大電流を流さぬ様に注意を要する。
- (3) マグネシウム合金陽極の電流効率は 20~50% で亜鉛より低い。陽極取付方法に考慮を要する。

(2) 塗膜の劣化に及ぼす影響

- (1) 従来の油性系船底塗料 A/C 及び A/F を用いた場合は特に劣化し易いが、下塗プライマーを

併用するか、A／Cの代りにアルミニウム系プライマーを用いたものは比較的良好である。ウォツシユープライマーの併用も良いと思はれる。

(ロ) ビニル系塗料及びコールドプラスチック系塗料は油性系より格段に良好であるが、塗装回数が少ないと劣化が多い。塗膜劣化を防ぐには耐アルカリ性で絶縁の良い塗料を厚塗するのが適当と考えられる。

(ハ) 下塗プライマー及びビニルA／Cの防錆顔料としてはアルミニウムが良好である。鉛丹もビクルが適当であれば良好である。

(3) 防汚力に及ぼす影響

(イ) 2号船底塗料(A／F)の塗膜が存在する限り陰極防蝕による防汚力の低下は認められない。

(ロ) 溶出した銅、水銀等が海水中の石灰、マグネシウム等と共に陰極面上に析出することが認められたが、このための生物附着や局部腐蝕は認められなかつた。

(ハ) 陰極となつた裸鋼板並に塗膜の剝れた部分には生物が附着した。陰極防蝕は生物附着を多少妨害することは考えられるが、防汚塗料が不要であるとは思はれない。

(＝) 有水銀A／Fと無水銀A／Fとの相違は判明しない。

(4) 素材の腐蝕に及ぼす影響

(イ) 陰極防蝕を行つた試験板の塗膜が劣化すると塗膜の健全な試験板の腐蝕より大きい。

(ロ) 塗越し部分或は塗膜に疵を附けた部分は陰極防蝕により完全に局部腐蝕が防止された。

(ハ) 塗装を施さない裸鋼板の腐蝕は電流密度 $10.7.8 \text{ mA/m}^2$ (10 mA/ft^2)で防蝕率9.8%となり文献の値と大体一致した。

以上臨海実験の結果は最終的のものではなく、陰極防蝕に最適の塗装系や限界電流条件等の決定は今後の研究にまたねばならない。実船の場合には陽極附近が高電流密度になるものと予想され、これらの対策と併せて研究する必要がある。

第9章 実船実験記録

1. 概 要

Mg や Zn 陽極を使用すると船体の腐蝕が防止されることは理論的にも実験的にも明かであり、また完全防蝕を行ふためには船体の電位を飽和甘汞電極を基準として -770 mV (硫酸銅電極を基準にすると -850 mV) 以下に保持すれば良いことがわかつている。しかし実船に装備するについては未だわかつていないことが多い。例へば (1) 基準の装備量、(2) 塗装との関係、(3) 航走の影響、(4) 取付け要領、(5) 陽極材料の優劣、(6) 電流の変化状況、(7) 電位の分布、(8) 防汚に対する影響等々で、このうちには殆んどわかつているものと未だ今后種々の基礎試験を必要とするものとある。今度の実船実験はその様な状態のもとで種々の基礎試験、臨海試験と平行に行なわれたもので、陽極材料、使用量、取付け位置等はかなり種類を変へて実施した。その概要は次の表の通りである。

船名		第1鉄栄丸	第2鉄栄丸	空知丸	檜山丸	瀬戸丸	広菱丸	日之出丸
船の要目	船屯数 (t)	143.6	159.7	3428	3428	1462.47	155	214
	長さ (m)	26	27	113.2	113.2	72	27.2	30.5
	巾 (m)	6.8	7.1	17.4	17.4	13	7.2	7.6
	深さ (m)	3.37	3.37	6.8	6.8	5	3.3	3.81
	浸水面積(m ²)	約 240	約 230	2000	2000	1280	252.	340
防蝕法	陽極種類	Mg	Zn	Zn	Mg	Zn	Zn	Zn
	陽極使用量(kg)	300	300	152	48	200	336	430
	装着取付け方	ボルト締め	コア熔接	ボルト締め	同左	同左	同左	同左
	装着位置	船尾及ビルヂ キール	同左	船尾	同左	船尾及ビルヂ キール	同左	同左
	計画電流(A)	22.5(可変)	9	4.5	10	6.5	12.0	16.0
使用年限年		15~2	2.8	2.8	0.5	2.5	1.7	1.7
塗装の状態		旧塗装の上に A C, AF を各 1 回塗り		ウォシュブライ マ 1回	同左	同左	旧塗装の 上にタツ チアツブ 后	同左
				シリマンクス 3回	シリマンクス 2回	A C 3回 A F 2回	AC 1回 AF 1回	AC 1回 AF 1回
使用海面		高松港	宇野港	青函航路	宇高航路	横浜港	横浜港	横浜港

2. 実験方法

第1鉄栄丸はMg陽極300kgを37のグループに分けて両舷ビルヂキール及船尾附近に各100kg(1個10kgで10個づつ)装備し各グループ毎に船橋まで配線してその回路に可変抵抗器及電流計を入れ電流量の調節及記録を行つた。また船体電位の分布及変化状況、塗装の状況を調査した。

第2鉄栄丸はZn陽極300kgを使用した。装備要領は第1鉄栄丸に準じたが電流の計測は行なわなかつた。

空知丸、檜山丸は夫々Zn板、Mg板各20個を船尾附近に装備した。(大きさは300×150×30)

瀬戸丸はZn板を船尾に20個、両舷ビルヂキールに各5個計30個装備した。(大きさは300×150×25)

日之出丸、広菱丸は夫々Zn陽極板54枚(430kg)39枚(320kg)を約3等分して船尾部と両舷ビルヂキール部に装備した。(大きさは300×150×30)

3. 試験結果

第1.2鉄栄丸の第1期の試験は終了した。その他は実験中である。

(1) 第1鉄栄丸

(ア) 腐食

本船はZn板(両舷8個、船尾小23個)が付いていたにも拘らず試験前船体は稍腐食が多く塗装が剥離したり、ふくれたりした部分はもとより鉄板の継目や鋲の附近はかなり腐食していた。試験後腐食は全々認められなかつた。尙その他調査のため鉄面を露出しておいた部分でも発錆はなかつた。

(イ) 生物等の附着

試験前の生物や海藻の附着は著しかつたが試験後は更に多かつた。特にAF塗料が剥離した部分はその密度が大であつた。

(ウ) 塗装

船体の電位が-1100mVにもなつたため試験開始後約1週間で水際附近の塗装が剥離し始めた。電位を下げるため抵抗を一杯に入れたが尙-990mV附近となり、その後も剥離は続いた。入渠時塗装の状態を調査したところ水準附近とそれより1m下方までは著じる

しく剥離していた。その他の部分もかなり剥離していた。尙残っている塗装も劣化して容易に剥離しやすい状態になっていた。

(e) 船体の電位

M g 陽極に短絡があつたためか出渠直後より電位は低く試験期間中は殆んど抵抗(0.3Ω+電線)を最大にしたまゝであつた。電位の変化は少なかつた。

(f) 電 流

所要電流は予想以上少なかつた。しかしこれは短絡の影響もあるので明確でない。再出渠後は塗装が薄いためと短絡が無くなつたため10A以上の電流を必要としている。

(g) M g 陽極

船尾に装備したもの、消耗は著じるしかつたが表面は比較的良態であつた。両舷の消耗は極めて少なかつたが表面には多くの附着物がついていてその間が軽石の様に堀れ込んでいた。使用量を略算すると約77kgであつた。

(2) 第2鉄栄丸

(1) 腐 蝕

試験前は第1鉄栄丸より更に腐蝕が多かつたが試験後は全く腐蝕が無く予め露出しておいた鉄面も全々発錆の傾向は無かつた。そして第1鉄栄丸と同様水線附近(常に波の当る場所)にも腐蝕は見られなかつた。

(2) 生物等の附着

試験前は生物海藻等の附着は著じるしかつたが試験後はA Fの剥離した跡等に密集している所もあるが一般に少く良態であつた。

試験期間は試験前の期間に比べ短かかつたが生物や藻の多い時期であつた。第1鉄栄丸に比べ良好であつたのは塗料影響(第1鉄栄は中国印、第2鉄栄は高田印)か使用海面(試験前は大差ないが稍第2鉄栄の汚れがひどかつた)の影響等によるのかわからないがM g 表面が、Z n 表面に比べ著じるしく汚れていたので陽極による差異とも考へられる。

(3) 塗 装

前回チツピングした塗装の薄い部分(A C 2回, A F 1回)及び水際附近の剥離は多かつたが他は比較的良好であつた。しかし塗装は試験前に比べると稍劣化していて剥がれやすい。即ち最低-98.0mV附近の電位でも現在の様な油性塗料では塗膜に影響があるものと思はれるから電位はもう少し高目にした方が良い。

(=) 船体の電位

M g 陽極の場合と違つて電位は出渠後の数日間低下を続け約7～10日頃で最低値となつた。そして約1ヶ月目頃より急速に高くなり50日目頃からは徐々に上昇して試験終了時頃は所要の-850mVより高くなつた。(第1図)電位分布は出渠直後は中央附近と他とはかなり差があつたが2,3日で殆んど平均してきた。(第2図)

(#) Z n 陽極

陽極の表面には海藻が薄く附着していたがワイヤブラッシュで磨くと容易に除去出来、金属表面が出て來た。使用量は数個の計量から算出すると約40kgとなり平均電流は計画値の9A.Hに対し約8.5A.Hとなる。

Z n 板は掃除の后再出渠したが電位は試験開始時と大差なく良好であつた。

(3) 檜山丸, 空知丸

檜山丸はM g 板, 空知丸はZ n 板で両船の陽極の形状, 個数, 取付け位置及塗装, 出渠時期等は殆んど全じである。

試験は未だ途中であるが現在までの成績は次の通りである。

- (1) M g 及 Z n 陽極は船尾附近のみに取付けたのに拘らず出渠後数日で約110m離れた船首附近の電位もかなり低下しZ n 板の場合-850mV M g 板の場合-950mVとなつた。
- (2) 出渠後数ヶ月頃には船首附近の電位は次第に上昇し陽極の影響は船尾附近のみとなつた。
- (3) M g 陽極はかなり大きい固定抵抗を使用したに拘らず初期には電位が著じるしく低下した
(短絡の有無調査の予定)

(4) 濱戸丸

- (1) 実験開始後約3ヶ月を経過したが船体の数箇所で計測している。電位は-800～-850mVである。船尾の電位は船首附近より稍低い。
- (2) 電位は工事期間中に稍高くなつたが運航後略初期の電位と大差なくなつた。

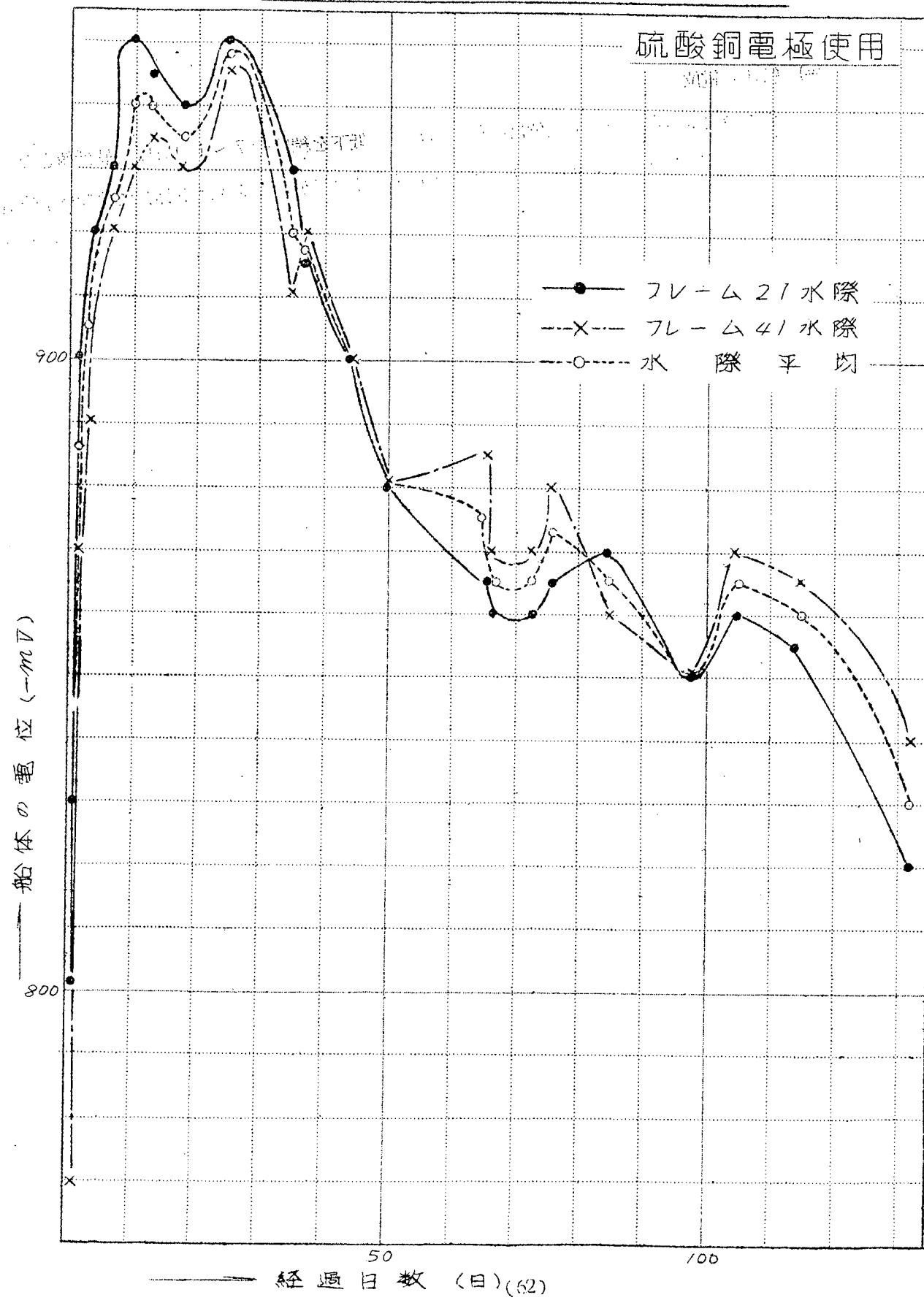
(5) 広菱丸

本船はプロペラが鋳鉄製である。防蝕亜鉛装備前-700mV前后の電位を示したものが、装備によつて-800mV前后となり約1ヶ月で-860mV前后と全船均一した電位となつたが更に2ヶ月経て-800mV前后迄下つて來た。(第3図-1 第3図-2 参照)

(6) 日之出丸

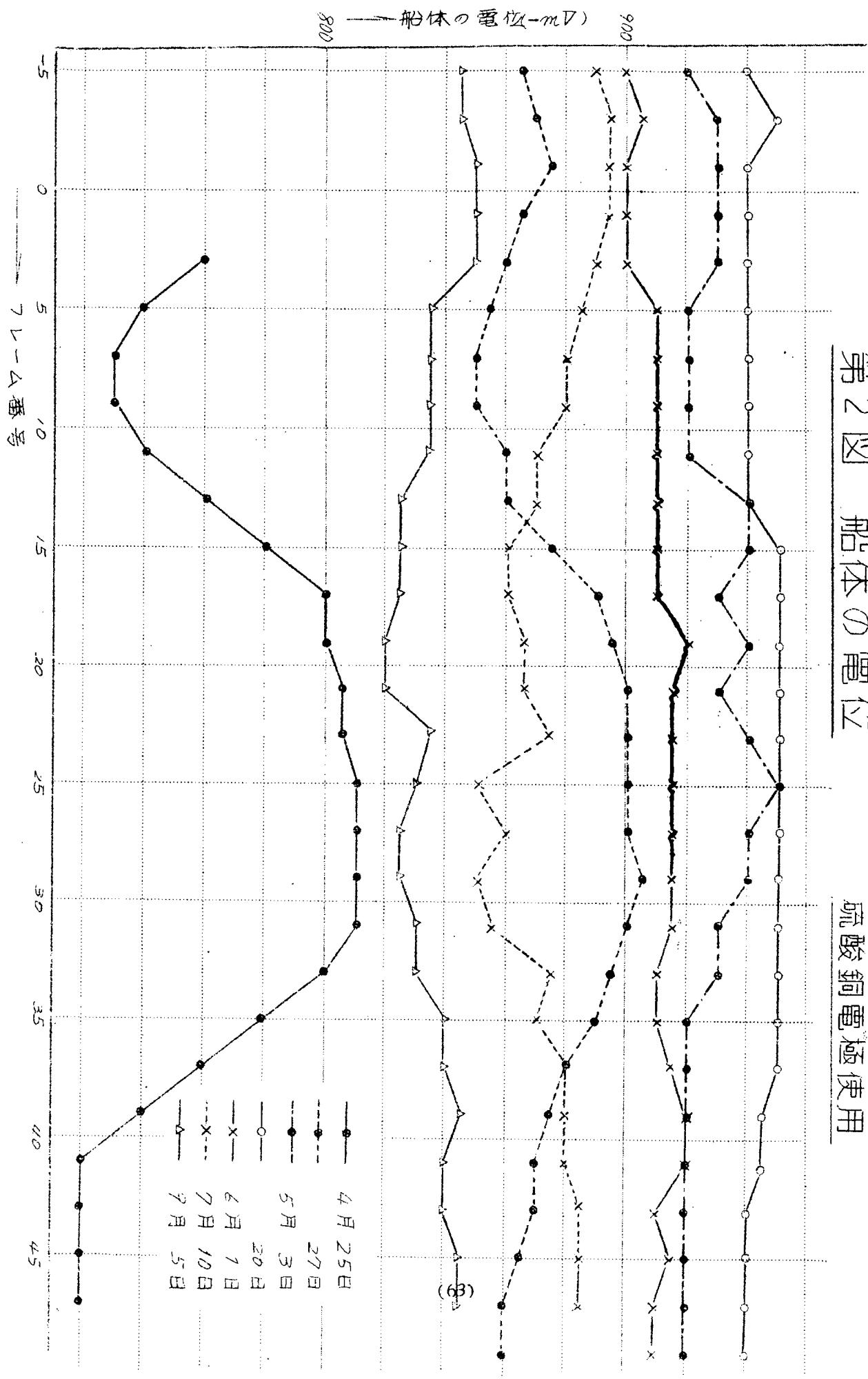
本船は装備后日浅く特に記すような特異の現象はない。今后の経過に待つ他ない。

第1図 船体の電位



第2図 船体の電位

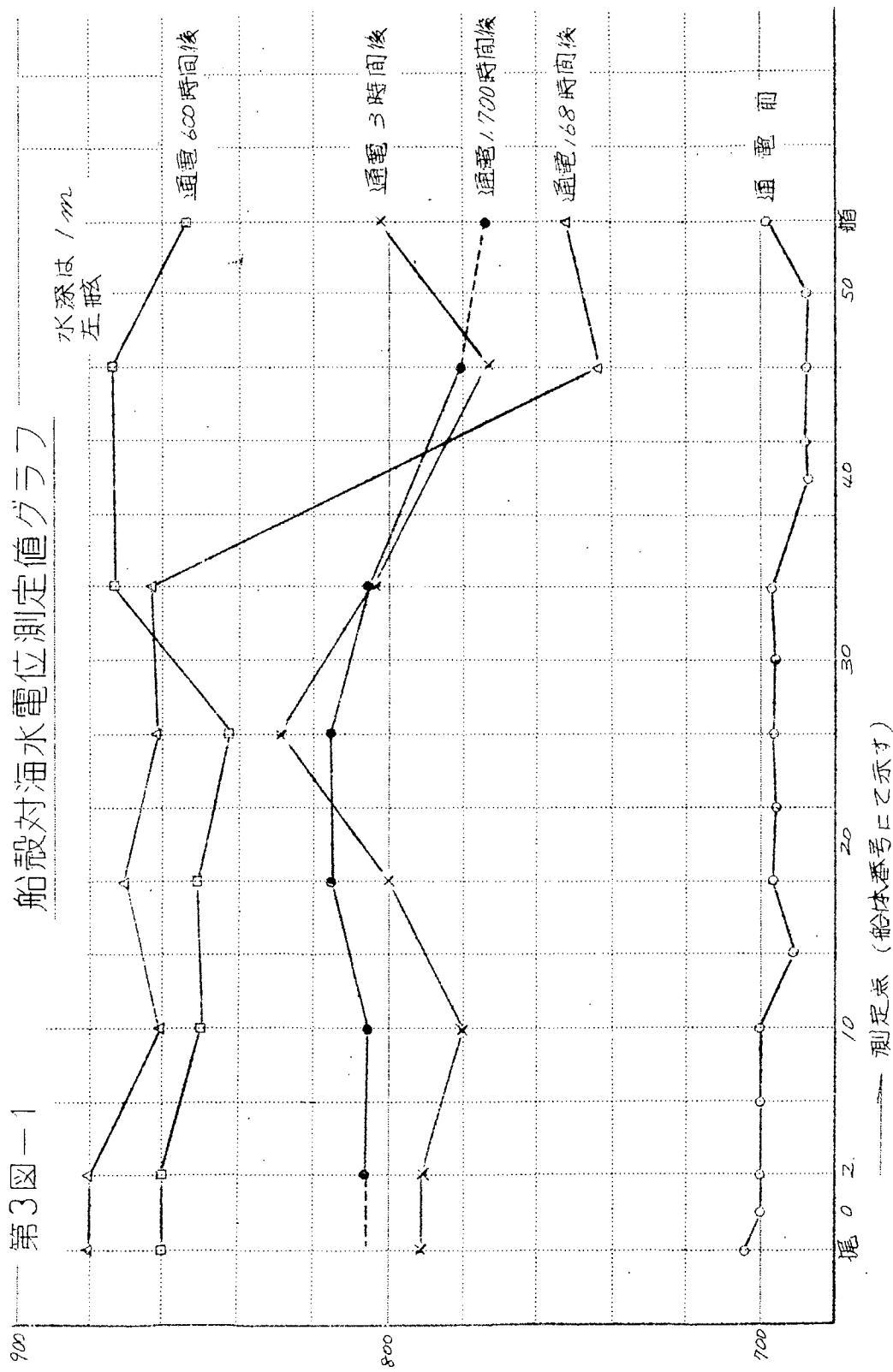
硫酸銅電極使用



廣義丸防蝕塗亜鉛による電位変化

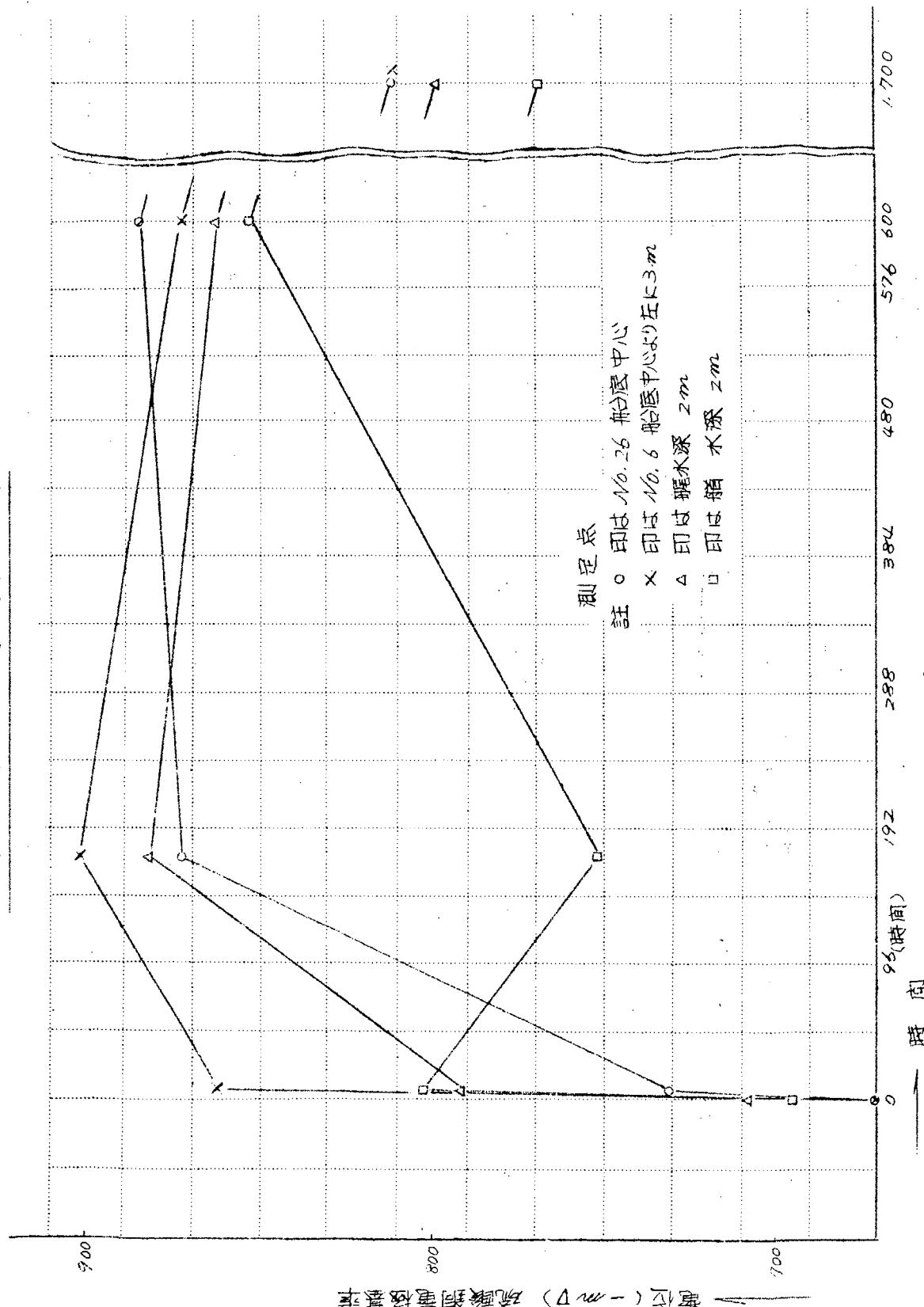
第3図一

船殻対海水電位測定値グラフ



第3図-2

船底電位—時間グラフ



電位 (-mV) 電離解測定装置

4. 所 見

実船実験は本研究の総合成果を示す意味で重要であるが実施後日浅さく、更に半年から1年位の経過を待たねば充分な結論は得られないが、今迄の経過で考えられることは、

(1) カナダ海軍は Mg 陽極を主として使用しているのでその標準型に真似たものを第1 鉄栄丸に試みたが船尾部は船体と短絡して過大電流が発生し塗膜の剥離を生じた。この方式は電位を管理して常時調節を行わぬ限り(カナダ海軍は実施している)無理なようである。

(2) この経験によつて従来手慣れた 300×150 のものを 2 本のスタッドで締付ける方式をその後採用したが今迄の処では成功のようである。

(3) Mg に比べて Zn は鉄との電位差が少ないので、電位を $-950 \sim -850 \text{ mV}$ に保つには特に調節を行わないでも、自働調節の性質を多分に持つてゐるから楽なようである。従つて実施に当つて Mg の場合程細心の注意を払わないでも危険が少ない。

但し 1 ヶ月前后で最良の電位になり、その後次第に効果が低下する傾向を示していることは注意を要する。(Mg はその点は優れているようである)

(4) 日之出丸では 1 部にアマルガメート法を試みたその結果に期待を持つてゐるが未だ何とも云えない。

(5) 然し全般的に従来の亜鉛の取付法は個数も著しく不足し材質の点でも面白くないので少くもこの点を改める必要のあることは明らかである。

第10章 結論

本研究は腐蝕と云う長期の実験結果に待たねば答の得られない問題に取組んだ上に陰極的防蝕法自体にもこれを船舶に適用するためには解決しなければならない基礎的な研究問題が幾多残されているので、今後更に引き続き徹底した研究を進めて行く必要を痛感する。（幸に30年度“船舶の防蝕法の研究”として重点的に問題の焦点をしづつて研究は続行されることとなつた）

しかし今迄海運界、造船界が比較的関心の薄すかつた未知の分野に研究を進めただけに既に得た成果でも直ちに不安なく実船に適用して差支えないものも少くない。又実験を待つ迄もなく改める可き慣習も一部にはある。

研究の内容は2～9の各章と添付資料にその要点を充分記述したつもりであるが、これらを総合して、今直ちに実船に適用しても差支えないと考えられる事項だけを結論としてここに記すこととする。

(1) 船体外板の防蝕に塗装と併用する場合 Mg 陽極を使用するには電位を測定しながら電流を調節するなど細心の注意が必要であるから（カナダ海軍は実施して成功しているが）目下のところ一般には Zn 陽極を使用する方が無難である。

(2) 亜鉛陽極の材質は 99.995 級を使用すべきであり、再熔解して希望の形状に改める場合にも純度を落さぬ配慮が必要である。

(3) 亜鉛の取付方法には性能を失なわせないだけの配慮が必要である。本研究の実施した 300 × 150 の方式を採用すればこの点では不安はない（今後更に優れた案が出れば当然改めて然る可きであるが）

この標準型は小型の船舶を除けば装備に困難はない。

(4) 亜鉛の取付個数は従来のものは著しく不足している。少くも米海軍の標準としている

$$n = 0.01A \quad (2\text{軸} \text{の場合は} 0.015A, 4\text{軸} \text{の場合は} 0.02A)$$

$$\left. \begin{array}{l} \{ \text{但し} n = \text{亜鉛の個数} (300 \times 150 \text{ 厚さには殆んど関係がない}) \\ A = \text{船体浸水面積} (\text{m}^2) \end{array} \right\}$$

程度のものを船尾部（プロペラ附近と舵）につけるべきである。この防蝕電流は殆んどプロペラに吸収されると考えてよいであらう。

添

付

資

料

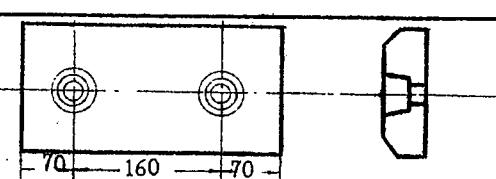
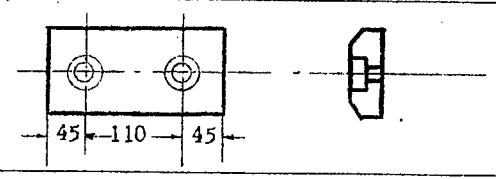
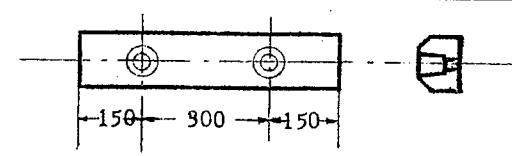
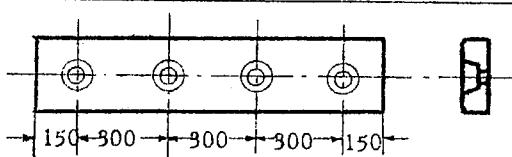
- (5) 船体の完全防蝕を考えると 尚遙に多量の 亜鉛をビルヂキール其の他適当の場所に分散装備する必要があり相であるが今後の研究に待つ必要がある。
- (6) シーチエスト附近に取付ける防蝕亜鉛の形状は区々で統一困難であつた。しかしシーチエストの表面積とプロペラの表面積の比率を考えて船尾部に準じ適當な個数の標準型のものをシーチエスの凹所に取付けても（必しも砲金製品に密接させないでも）効果はある筈である。
- (7) 電位変化に顯れた防蝕亜鉛の効果は時間の変化と共に変化しているが今の処塗料の変化によるものか亜鉛の変化によるものか判明していない。
- (8) 本防蝕法と併用する塗料の研究は結論を述べ得るだけの成果を挙げてはいないが、その経過を検討すれば実施上参考となる事項は少くないと信する。
- (9) 裸の低炭素鋼板を船尾部に取付ける防蝕法は（外国には往々例のある対策ではあるが）船体の腐蝕を緩和するだけで積極的防蝕効果のある方法ではない。正しい亜鉛陽極の装備はこれに反し積極的防蝕効果を有するものである。

第 2 章 第一表

船名	船主	D.W.	船名	船主	D.W.
御室山丸	三井船舶	19,708	若島丸	飯野海運	9,725.66
赤城山丸	三井船舶	10,239	昌島丸	飯野海運	10,514.28
榛名山丸	三井船舶	10,251	かし	海上自衛隊	
音羽山丸	三井船舶	19,481	東光丸	日本海汽船	
スラバヤ丸	東京船舶	10,300	香椎丸	日鉄汽船	10,578.9
東京丸	東京船舶	9,314.20	富島丸	飯野海運	9,762.78
京都丸	東京船舶	9,262	まにら丸	日本郵船	12,747
第十宝成丸	鈴木栄松	24,337	東光丸	農林省	789.87
房総丸	千葉県	408.01	千種丸	大洋漁業	15,634.151
第五住吉丸	住吉漁業	462.95	永仁丸	大洋漁業	8,653.79
神洋丸	神港商船	1,003,11	さんぢえご丸	三菱海運	11,411.72
World Justice	INTERMARINE NAY CORP	約32,000	春日丸	日の出汽船	11,400
べるしあ丸	日本油槽船	20,938	広南丸	広南汽船	900
阿蘇丸	日本郵船	9,952	長島丸	飯野海運	5,500
日出丸	栃木汽船	11,259.71	第四南興丸	神戸船舶	1,591
玄海丸	西日本石炭輸送	3,538.58	第三隆栄丸	共栄タンカー	
奥国丸	日本商船	9,884.81	長田丸	江口汽船	748.78
紐育丸	日本郵船	10,352.57	第二隱岐丸	隱岐汽船	
昭洋丸	五洋水産	280.72	みどり丸	琉球海運	69.46
興和丸	平和汽船	1,011.61	白河丸	東邦海運	2,056.88
晴海丸	日本海汽船	11,568.30	東龍丸	東邦海運	9,830.10
乾山丸	乾汽船	10,740.5	延慶丸	東邦海運	10,968.24

(紙面の都合により詳細を書けませんでした。悪しからず御諒承下さい。)

(1) 防蝕亜鉛の標準案

記号	寸法(ミリ) 長さ 厚さ	取付スチット 径×数 間隔(ミリ)	取付部要領 (詳細は別図)
A	300×150 25~50	5/8"×2 160	
B	200×100 20	1/2"×2 110	
C	適宜 20	適宜	追而定める。当分は任意とする
D	600×125 50~125	3/4"×2 300	
E	1200×250 50~150	3/4"×4 300	

注記

製法 A. D. Eは鋳物. B. Cは圧延機

材質 Znは99.99級又はこれに劣らぬ性能のもの

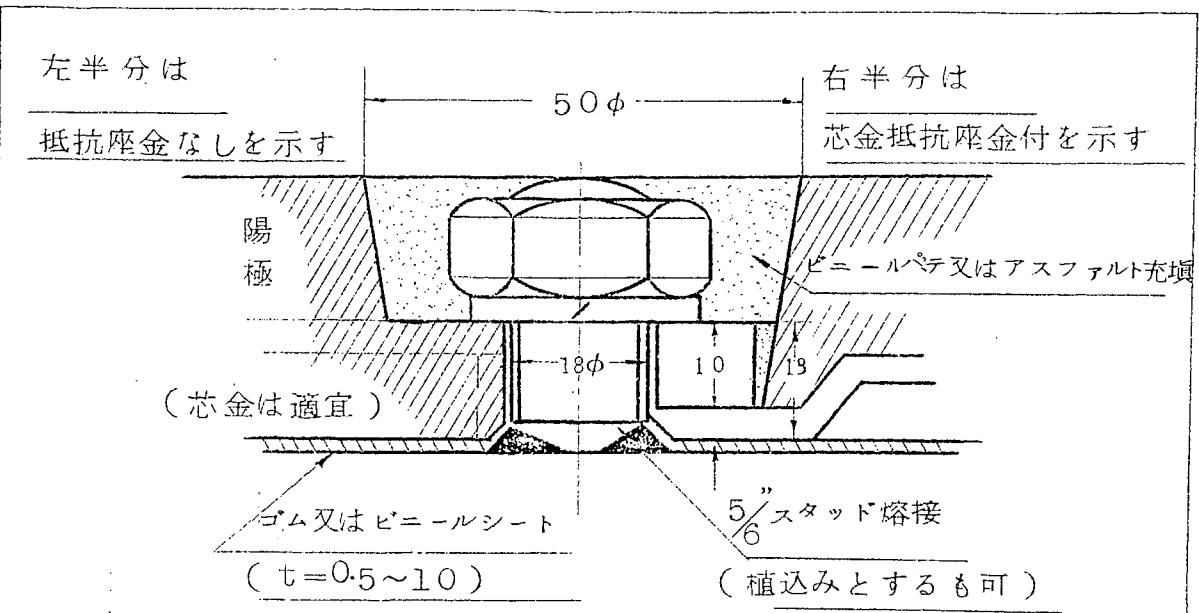
MgはDOW社標準に準する高純度の性能を確認された配合のもの。

用途 A. B船尾部等に使用(従来の型)

CはSea Chest等に使用

D. Cは船体全般の積極的防蝕に使用

厚さ B. Cは圧延機として統一す. A. D. Eは目的に応じて適宜変更を認める

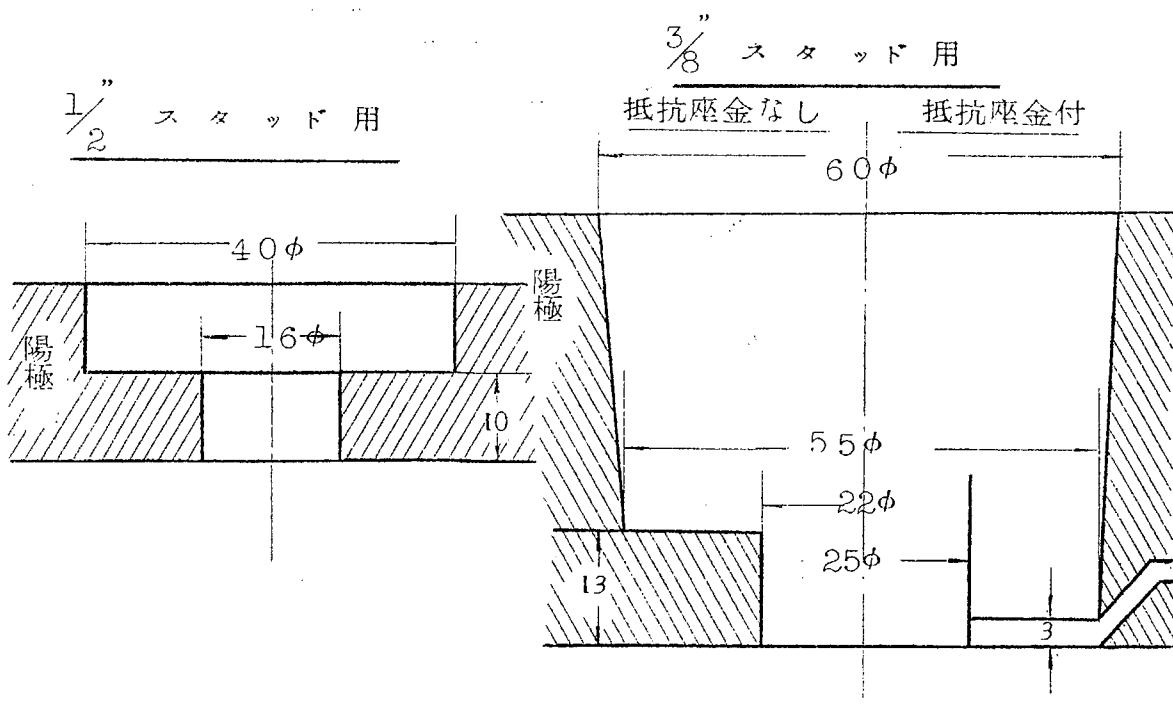


上図は $\frac{5}{8}$ " スタッド用を示す

$\frac{1}{2}$ " 用 $\frac{3}{4}$ " 用は下図の寸法を要す

他の要領は上図に準ず

陽極の底面にはアスファルトを塗るも可とする



(2) 船舶の電気防錆に関する参考文献一覧表

Some Aspects of Ship Bottom Corrosion by Paul Field Corrosion
Vol. 8, No.142 (1952, January & February) 29-48, 69-88
(引用文献 4 あり極めて有益な一般記事)

Cathodic Protection as applied to Royal Canadian Naval Vessels
in Active Service by K. N. Barnard
Chemistry & Industry 1954, Feb. 13, 172-182
(カナダ海軍の数十隻に実施した概要記事)

Cathodic Protection of an Active Ship in Seawater
by K. N. Barnard, G. L. Christie
Corrosion Vol. 6, No.7 (1950 July)

Cathodic Protection of an Active Ship in Seawater
by K. N. Barnard, G. L. Christie
Corrosion Vol. 7, No. 4 (1951 April) 114-117

Cathodic Protection of Active Ships in Sea Water with Graphite
Anode
by K. N. Barnard, G. L. Christie, T. H. Greenblatt
Corrosion Vol. 9, No. 8 (1953 Aug.) 246-249
(曳船に実施した経過の詳しい記事)

Cathodic Protection its Application to Ships and Establishments of the Royal Navy by J. T. Crennel
Chemistry and Industry 1954 Feb. 20
(英國海軍の現状説明)

Cathodic Protection (Corrosion Group Symposium Discussion
Chemistry & Industry 1954 June 681, 713-720

The Cathodic Protection of Ships Against Sea Water Corrosion
by L. T. Carter R.C.N.C., J. T. Crennell, M. A.
The Shipbuilder & Marine Engine Builder Vol.62 (1955 July)
(船の科学8巻12号に訳あり)

Protective Coatings for Ships and Marine Installations
by J. C. Hudson, D. Sc. F.I.M.
Chemistry and Industry 1954 June

Interaction of Highly Pigmented A/C Films
by A. L. Alexander, R. L. Benemelis
I. E. C. Vol.39, 1028 (1947)

昭和31年3月1日 印刷
昭和31年3月10日 発行
日本造船研究協会報告 第7号
発行人 出 淵 異
発行所 社団法人日本造船研究協会
東京都中央区京橋1丁目2
セントラルビル5階
電話(28) 1409
印刷所 信和工業株式会社
東京都中央区日本橋小網町2の2