

社 団 法 人
日本造船研究協会報告

第 10 号

昭 和 31 年 8 月

大力量軸流循環水ポンプ腐蝕防止に関する研究……………第 15 研究部会

Research on the Cathodic Protection of Large
Marine Use Axial Flow Circulating Pumps

…… The 15 th Research Committee

The Report
of the
Shipbuilding Research Association
of Japan,
Tokyo, JAPAN
No. 10
August 1956

第15研究部会委員名簿

委員長	弓削正人		
幹事	花田政明		
委員	井田鉄太郎 蒲田利喜蔵 重野隼太 二河洋一	太田文二 斎藤貢 瀬尾正雄	尾崎通二 斎藤醇二 渡島寛治

Membership of the 15th Research Committee

Chairman	Masato YUGE		
Secretary	Masaaki HANADA		
Members	Tetsutaro IDA Rikizo KAMATA Hayata SHIGENO Yoichi NIKOO	Bunji OTA Mitsugu SAITO Masao SEO	Michiji OZAKI Junji SAITO Kanji TOSHIMA

大力量軸流循環水ポンプ腐蝕防止に関する研究

目 次

第 1 章 研究着手及び研究経過の概要	1
第 2 章 従来の研究調査の概要	2
第 3 章 基 础 実 験	5
第 4 章 中 間 実 験	6
第 5 章 実 用 実 験	16
第 6 章 結 論	19

Research on the Cathodic Protection of Large Marine Use Axial Flow Circulating Pumps.

Abstracts

Chapter 1. Introduction

We encountered recently many corrosion troubles in large marine use axial flow circulating pumps (material-ordinary naval bronze-both impellers and casings too) as enlisted in table 1 (page 4).

After many efforts to overcome them, we reached the conclusion that the phenomenon will be an electro-chemical one, and the cathodic protection may be the only possible way allowed for us to overcome them.

Thus we began this investigation—in laboratory, on bench test pumps, and on actual pumps in service—and we get successful result by the cathodic protection applied to actual pumps witnessed through some 12 monthes in service.

Chapter 2. Case history of the corrosion troubles.

The case history of each corrosion trouble (in one case an impeller tip of 180 mm length was corroded till it became some 120 mm length during only 4 monthes, and in another case the tip clearance of 1 mm was increased to 3~4 mm with in 4 monthes) was explained in detail, and the preventive efforts tried other than the cathodic protection—such as change of material composition, change of impeller blade numbers from 3 to 4, application of stream guide in inlet side to make the flow smoother, checking of leakage air and flow unbalance which may cause cavitation erosion—were described in detail.

Unfortunately all these efforts failed in vain.

Chapter 3. Laboratory research.

The laboratory research was performed in the Governmental Industrial Testing Institute mainly by H. Shigeno, with the installation described as skeleton diagram in page 5.

In which we observed the effect of sea water velocity on the electrical potential, rate of corrosion, and protective current density for metal alloys as shown in table. (page 6)

These data are very valuable, but are not sufficient enough to explain the severe corrosion of our case, and we are still investigating it further.

Chapter 4. Research of pumps on bench test.

We measured the potential difference between moving parts and stationary parts of actual pumps on test bench, as shown in table (page 16), and found the possible tendency of electro-chemical corrosion of moving parts.

We applied temporarily cathodic protection using magnetite anode (10 mm dia. & 50 mm length) on a test pump, having 300 mm bore (nearly half the size of actual pumps in question), and measured the potential variation on several points, to find the range

and evenness of current distribution, changing the conductivity of working fluid as shown in tables and figures. (page 7~15)

Chapter 5. Preventive device applied to the actual pumps.

We began the application of cathodic protection on an actual main circulating pump in service in parallel with other researches as follows, and got a satisfactory result.

Name of the ship: Terukuni-Maru

Owner of the ship: Terukuni-Kaiun Co.

Gross tonnage: 11,825 tons

Main engine: 8,500 S. H. P. Steam turbine

Main circulating pump: Turbine driven axial flow pump of 600 mm bore, 900 r.p.m., 3500 m³/hr. discharge capacity, 8 m discharge head as shown in fig. 1 (page 17)

Anode for protection: Magnetite anode of 30 mm ϕ and 200 mm length, fitted to the brind flange of the pump as shown in fig. 2 (it looks as in fig. 3 after 1 year use) (page 17)

Protective current: D. C. Current generated by a motor-generator of some 5 volts and 2~5 amperes (that means current density 0.3~0.8 amp/m²).

Test piece: 2 test pieces (one protected, one with no current for control) are attached to the peep hole brind cover as shown in fig 2, 3.

Duration of test: From 1954 April to 1955 March.

Test result:

- 1) No corrosion was observed on moving parts nor stationary parts, and calcareous coating was distinctly observed on the surface near the anode.
- 2) Weight loss of test pieces measured to 0.8 gm and 35.0 gm each, and the protective power of the cathodic protection was 97.7%.

We applied the similar method on a cooling water pump of a diesel engined ship, which suffered from corrosion severely, as follows with satisfactory result.

Name of the ship: Showa-Maru

Owner of the ship: Nitto-Shosen Co.

Gross tonnage: 6,628 tons

Main engine: 4500 B. H. P. Diesel engine

Cooling water pump: motor driven vertical single stage centri-fugal type of 220 m³/hr. discharge capacity, 25 m discharge head, 1750 r.p.m.

Anode for protection: Magnetite anode (size 20 mm dia 150 mm length) inserted in the inlet water pocket through the pump wall.

Protective current: A. C. current of the ship main line dropped to a moderate voltage by a transformer, and rectified to D. C. by a selenium rectifier, current density 1 ampere (which means some 0.3 amp/m²).

Test result: After 1 year service the pump was carefully inspected and no corrosion was detected. Surface near the anode was covered with calcareous coating slightly.

Chapter 6. Conclusion

The laboratory research and the test pump investigation on bench were not performed until the ideal results were catched, but the cathodic protection applied on actual ship pumps in service succeeded to perform the complete prevention of corrosion practically.

We reglet that the real cause of the severe corrosion we encountered was still in obscure, but we can say that the preventive device will be achieved by the cathodic protection using magnetite anode and direct current of some 0.3 amp/m^2 density, without disturbing the performance of pumps.

This method is not much complicated, and can be maintained easily by crews, and costs not so much (some 300~500 \$ per ship as initial cost, and negligible small cost for maintenance).

大力量軸流循環水ポンプ腐蝕防止に関する研究

第1章 研究着手及び研究経過の概要

1. 研究着手の事情

照国丸、日栄丸、東栄丸等の大力量軸流循環ポンプの翼車及びケーシングに次々と異常に烈しい腐蝕が発生して問題となり、翼車の形状、枚数、材質、水流状況の改善等色々の見地から対策が検討されていたが、腐蝕状況は従来のキャビテーションエロージョンといわれるものとは多少趣を異にし前記諸対策も予期した成果を挙げるに到らなかつたので更に空洞現象並びに電気化学的現象として更に掘り下げた究明をする必要を認め本研究に着手することとなつたのである。

その後、似たような腐蝕事故がアラビア丸、和光丸等他にもあること、色々と対策を講じたが関係者の熱心な努力にも拘らずこれといつて確実な成果を挙げていないことが判つた。

また、この種腐蝕は必ずしも限られたポンプ製造所、造船所、船種或は航路のものにのみ発生しているものでないことが判つた。

2. 研究経過の概要

本研究は問題の焦点を空洞現象と電気化学的現象に絞つて研究を進める予定であつたが、実際に腐蝕した現物を検討して腐蝕個所が従来空洞現象によつて起るとされた場所に限定されておらないことを知り、空洞現象よりも電気化学的現象に解決の緒が得られそうに感ぜられたこと及び実施上も余り範囲を拡げては重点的な研究の推進が困難となる惧れがあることを考慮して電気化学的対策を中心にして研究を進めることとした。

研究経過の大要は次の通りである。

(イ) 本研究着手前(昭和27年夏)照国丸、日栄丸、東栄丸と殆んど同型である霧島丸の軸流循環水ポンプの陸上試運転(石川島重工第三工場)の際、回転部分とケーシング間の電気差その他を測定し開放電位差が0.1V以上になつたり突然これが消えたりすることもあることを確かめた。

(ロ) 従来各所で行われた翼数や翼型の変更材質の変更水流状況の調査及び腐蝕した現物の調査等を數次に亘つた会合によつてそれぞれ関係者から説明を受けまたは共同で調査するなど相互の認識を深めることを計つた。

(ハ) 東京工業試験所第4部に試験水槽を設け人工海水中で金属の有する固有電位、腐蝕率、所要防蝕電流量等が流速によつて如何に変化するかを実測した。非常に困難な長期を要する実験で予定しただけの広範囲の資料は得られなかつたが有益な資料を得ることができた。

(ニ) 崎原製作所羽田工場において内径300ミリの軸流ポンプ(問題となつた照国丸、日栄丸等のポンプの約半分の寸法を有し殆んど相似形、但しケーシングの材質は鋳鉄)に必要な加工を施して(ハ)に準ずる2.3の測定を実施した。

(ホ) 電気化学的腐蝕の対策として陸上施設には実施された例のある電気防蝕法(Cathodic pro-

tection) を照国丸及び昌和丸に実施し、それぞれ約一ヶ年の経過によつて実効のあることを確認することができた。

以上の経過によつて何がこのような烈しい腐蝕を呼ぶ原因となつてゐるかは確認することはできなかつたが適當な電気防蝕法を実施すれば僅かな費用で防止できることだけは確認できた次第である。

第 2 章 従来の研究調査の概要

本研究の導火線となつた照国丸、日栄丸、東栄丸の軸流ポンプ腐蝕については荏原製作所井田鉄太郎氏が取纏めて発表された。

“大型軸流循環水ポンプの腐蝕問題”に全貌が詳しく記されている。

また他の船に起つた似たような腐蝕現象については、日立製作所斎藤醇二氏、浦賀造船所尾崎通二氏、石川島芝浦タービン好川紀博氏の発表された：――

“あらびあ丸循環水ポンプ腐蝕状況調査報告”

“アンドリウスジョン号ポンプ腐蝕調査報告”

“和光丸主循環水ポンプ翼車腐蝕に関する計測並びに調査報告”

に詳しく記されているが、その概要だけを以下に略述して従来の色々な調査では原因や対策を掴み得なかつた実情だけを明らかにしておくことにする。

(1) 日栄丸 昭和 25 年 12 月竣工、直ちに就航、26 年 6 月の入渠まで 8 航海（約 6 ヶ月）は殆んど腐蝕は認められず、その後急速に進展して 7 年 1 月の中間検査では、羽根車（3 枚翼）前後両面とも全域に激しく先端 following 部は紙の如く薄い、翼光端面、ボス吐出側端面にも激しい腐蝕あり、胴体は吸込側曲胴（鑄鉄）殆んど腐蝕なし、羽根外周直胴部（青銅）全域に亘りギラギラ光沢あるも深くはない、ガイドペーンは概ね入口側に偏し両面とも侵されているが羽根車に比較すると緩慢である。水中軸受を抱えている二つ割りのポンネット合せ面は原形を止めぬ程度にやられている。ポンプ軸は水中軸受（リグナムバイター）に乗つている部分が全面に腐蝕している。ポンプ出口フランジに接続する銅管は接続部から奥に約 80 mm 全周面にエロジョンあり。羽根車を新品と換装する。27 年 3 月この新品羽根車は僅か 1 航海（36 日）で、海水吐出側面は全面に亘り砂を撒いたようにギラギラ光つて粗面化している。腐蝕は外周部からボス部まで進んでいる。海水吸入側面はこれ程ひどくはないが腐蝕はある。leading 部ボス部には腐蝕はない。ガイドペーンは前回に比べると余り変化はないが多少進行している。ポンプ出口フランジに接続する銅管は 80 ミリの巾が 150 ミリに進行している。その後も腐蝕はどしどし進行し 28 年 2 月 2 回目の羽根車換装を行つた。

(2) 照国丸 26 年 3 月竣工、直ちに就航、日栄丸同様 8 航海（約 6 ヶ月）は異状なく、その後急速に腐蝕進行し 27 年 4 月羽根車を換装した。当時の腐蝕状況は：――

羽根車（3 枚翼）日栄丸第 1 回換装と似た程度であるがギラギラした光沢はなく、稍々進行性は緩慢なように感ぜられる。

胴体は日栄丸と同程度に侵されているがギラギラした光沢はない。

ポンプ軸 日栄丸のように水中軸受部は侵されていない。

ポンプ出口フランジに接する銅管、日栄丸と同程度に侵されている。

換装後1航海(36日)で検査した27年5月には:—

羽根車には日栄丸の場合より稍々程度は軽いが1航海にも拘らず顯著な腐蝕があり、羽根先端の胴体に面する面はササクレ状となりギラギラ光っている。海水吸込側面、吐出側面ともに羽根先端からボス部に向つて巾30ミリ侵されている(吸込側面稍々軽度)侵蝕はリーディング部から進んでいる。侵れた部分は前回アルミ粉末塗料を防蝕の目的で塗布してあつたが剥げ落ちて金属地肌はザラザラである。なお塗料の剥げた直後と思われる面は丁度エッティングした時のように結晶粒がきれいに現われ少し桃色を帯びている(黄銅の脱亜鉛現象の初期のような様相)。

27年7月の調査では、羽根車は前回と大差ないが稍々落ち着いた感じ。但し先端の胴体に面する面は腐蝕が相当進行している。ガイドペーンは腐蝕進行止まる。ポンプ出口フランジに接続する鋼管は相当巾腐蝕が奥に進行している。

27年10月の調査も大差なく未だ取換えねばならぬ程ではなかつたが、4枚翼の羽根車に取り換えた。

28年2月 前回より3航海後の調査では3枚翼の時に比べれば心持程度が軽いが全面的に侵され特に吐出側端面がひどく侵されていた。

(3) 東栄丸(日栄丸と同型) 27年10月竣工、後述のような対策を試みたが、やはり28年5月(6ヶ月後)の調査では憂慮すべき腐蝕状況になつていた。

この間に(1)(2)(3)に対し調査研究試行された事柄を列記すると

イ) ポンプがover dischargeの状況で使われているのではないか?と調べたが特にその様子はない。

ロ) 空気の混つた海水がポンプに吸込まれるのではないか?と調べたがポンプ吸入側圧力から一応その事実はないと判定できた。またhigh suctionの管から漏入することはないか注意してもらつたが腐蝕は依然として続いているからこの問題に関係はないようである。

ハ) 羽根車の材質に対する疑問も特に調べた範囲ではなく、羽根車以外にもポンプ洞体軸吐出側銅管等も侵されているから問題の中心とはなつていないと考える。

ニ) 漏洩電流のいたずらではないか?と考えて東栄丸ではポンプと据付台の間に絶縁板を設け、且つ吸込側曲洞とポンプ吐出側銅管は船底にアースをとつたが腐蝕は同じように起つている。また日栄丸や照国丸は竣工後8航海は余り変化なくその後に起つているから余り関係なさそうである(なおこのアースや絶縁対策はその後の検討で電気化学的立場から見ると余り意味のない対策であることが判つた)。

ホ) 吸込管系の構造が適当でなく乱流のため起るのではないかと整流板を設けたこともあつたが結果は殆んど影響が認められない。

ヘ) 羽根車の設計 3枚翼を4枚翼にすれば効率は多少悪くなるが流れは無理がなくなるのでこれも試みたが改善されたとは考えられない。

(4) あらびあ丸 このポンプは交流電源による電動軸流ポンプで回転数一定なことが他と変つている。26年3月竣工直ちに就航(北米1回あとはペルシャ湾航路)26年10月の調査では異状なく27年3月(前回より6ヶ月後)の検査では烈しい腐蝕が出て羽根車交換の話も出たが対策が立つまでそのまま使うことにし艤仕上げで手入れをするに止め、同時に日立中央研究所で研究を進めたが

- イ) 材質は Fe = 0.2% Pb = 2.4% で不純物やスラグが多く腐蝕に対し抵抗力の弱い材質である。
ロ) 翼車と胴体の電位差は停止中はゼロ、運転中は 0.01 V 程度である。
ハ) 停止開放時の海水と金属間の電位差は甘汞電極で最大 0.24 V (温度 25°C) を示した。
ニ) 船に Rader をつけてるのでその影響も調べたが影響はないと考えられる。

以上の調査によつて次の対策を試みた。

- イ) 材質の改良 BC-3B を採用した。
ロ) 計画以上に over discharge になつてるので約 13% 水量の減るように改めた。
ハ) 車室、共通台板船体間にアースバンドをかけて電気的に一体となるようにした。
ニ) 吸入側のノゾキ孔に保護亜鉛を取付けた。
ホ) High suction から空気の漏洩のないよう注意を強くした。

なおその後の 6 ヶ月で羽根車は 0.55 kg 重量が減つている。

(5) 和光丸 27 年 11 月就航羽根車の tip clearance 1 mm が 28 年 3 月の検査では変化なく、28 年 9 月の検査では 2.8~3.0 mm に増していた。28 年 12 月の開放検査で 3.5~4.0 mm に増し翼弦長 150 mm が 130 mm に動翼 tip の最大翼厚 12 mm が 9 mm に耗つたほど激しい腐蝕状況にあつた。しかし翼車ボス部や導翼車室等には腐蝕は全然ない。

よつて cavitation によるものではないかと考えて吸入管の取付如何、吸入管に空気漏洩なきや、軸温騒音等を運転中に調べて cavitation の有無判定をする、等々の調査を行つたが結論として次の三つが出た。

- イ) 防蝕用として取付けた保護亜鉛は一年以上経過しているが殆んど消耗していないから材質に疑問がある。
ロ) 腐蝕された動翼は tip に erosion がある。平水では cavitation は認められなかつたが時化

第 1 表 循環水ポンプ腐蝕状況一覧表

船名	日栄丸	照国丸	東栄丸	霧島丸	アンドリウヂロン	アンドリウヂロン	あらびあ丸	和光丸	昌和丸
造船所	播磨	播磨	播磨	播磨	浦賀	浦賀	因島	石川島	浦賀
ポンプ製作所	荏原	荏原	荏原	荏原	新三菱神戸	新興金属	日立亀有	石川島芝浦	新興金属
船主	日東商船	照国海運	日東商船	照国海運	米国	米国	日本油槽船	三光汽船	日東商船
船種(航路)	油槽船 (ペルシャ)	同左	同左	同左			油槽船	貨物	貨物
型式	軸流	軸流	軸流	軸流	軸流	遠心二段	軸流	軸流	遠心一段
ボンプ	毎時流量	3500 m³	4000 m³	3500 m³	4000 m³	3600 m³	25 m³	3000 m³	2500 m³
ポンプ	水頭	8 m	8 m	8 m	8 m	8 m	42 m	6.5 m	6 m
要目	口径	600	600	600	600	80	600	500	180
	毎分回転	900	900	900	900	1000~800	1765	870	950
材質	翼車	P.B.C.1				P.B.C.1			P.B.C.1
ケーシング	"					B C3B			B C3B
竣工年月日	25-12-21	26-3-29	27-10-17	27-10-17	28-5	28-5	26-10	27-11	

などの場合 cavitation が激しく起るのではないか。

ハ) 重量の背面、腹面も激しく腐蝕しボス附近までも及んでいるので、電気化学的腐蝕も関係がある。

(6) アンドリウス ジロン号

28年5月竣工、29年3月の検査で翼端は 1.5 mm 位侵されて tip clearance が増していた。モネルメタルのメタリコンを試みたが結果は悪かつたようである。

これ等問題となつたポンプの要目は第1表に示す通りである。

第3章 基 础 実 験

目的

海中における銅合金に対する電気防蝕法は、かなり古くから実施されているが、金属と液との界面が、かなり高速度の相対運動を有する場合の銅合金に対する電気防蝕法に関してはほとんど基礎的資料を見受けない。本研究はこのような条件の下における電気防蝕法の可能性および防蝕達成上の各種所要値に関する資料を求める目的として次のように東京工業試験所第4部で実施した。

試験装置

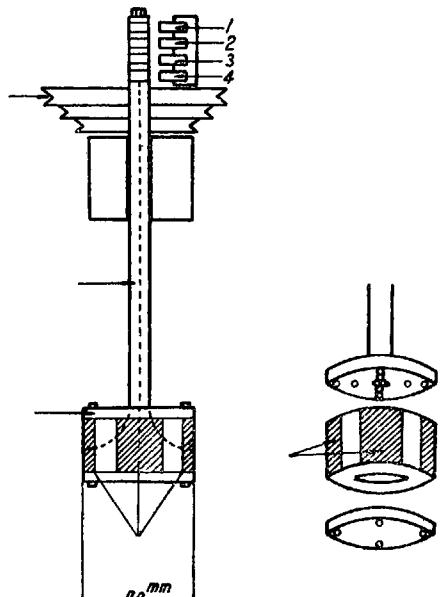
試片の全面が一様に液と一定の相対速度を有すること、及び試片に電流を供給しながら、その電極電位を測定しうることの2点を主眼とし、右図のような試片回転装置を製作してこれを20立入り硝子槽の中央に保持して、各試片に取付けた導線をブラシを通して外部の直流電源の負極に接続し、また同槽中に浸漬した炭素陽極をその正極に接続して各試片にそれぞれ一定の陰極電流を供給させた。なお、槽中には2枚の邪魔板を設け回転体に随伴する液の回転を出来る限り防止した。また試験液は自動恒温装置によつて一定温度に保持した。電極電位は飽和甘汞電極を基準電極としてこれと試片との電位差を 1A7GT 真空管電圧計で測定した。その後更に試片と外部回路を接続する真鍮製のスリップリングは磨耗が激しいため砲金製に作り換え、またブラシは接触力を強めるため二枚重ねのつの字型燐青銅片に取換えた。

実験条件および実験法

NaCl 27.26 g/l, KCl 0.69 g/l, MgCl₂ 3.51 g/l, KBr 0.09 g/l, MgSO₄ 1.84 g/l, BaSO₄ 1.29 g/l, NaHCO₃ 0.1 g/l の組成の合成海水中に、前記回転装置に取付けた試片を浸漬し、これに 1410 r.p.m. (約 5 m/sec) の回転速度の下で、それぞれ所定の防蝕電流を供給し、6時間経過後その重量減を秤量して腐蝕速度を求め、また同時に試片の電位の時間的変化を 30分～2時間の間隔で測定した。

実験結果

現在までの実験結果によると、電位測定はスリップリングとブラシの改良によつて再現性ある結果



が得られるようになつたが、試片の重量減はかなりのばらつきを示し、充分な再現性が得られなかつた。この原因は試片に形成される腐蝕生成物が常法では完全に除去されないためと思われ、二三の試片清浄法を比較検討の結果、真鍮および砲金に対しては 5% 硫酸液による Cathodic cleaning が適当であることが判つた。しかしマンガン青銅は、これによるも除去が不完全なので更に検討中である。現在までの結果の中、代表的なものを示すと下表の通りであつて真鍮および砲金の腐蝕は陰極電流により完全に防止されることが定性的に確認された。ただし防蝕のための所要電流密度などの数値は重量減の測定が未だ再現性に乏しいため明確に決定されていない。今後正確なデータを得る目的をもつて更に実験を継続する考えである。

材料名	防蝕電流密度 (A/m ²)	腐 蝕 密 度 (g/m ² /h)	電 位 (V)	
			初 期	終 期
真 鍮	6.0	0	- 0.540	- 0.512
	4.0	0 ~ 0.20	- 0.494	- 0.470
	2.0	0.13 ~ 0.38	- 0.240	- 0.248
	1.0	0.63		
	0	0.52 ~ 0.71	- 0.232	- 0.223
砲 金	4.0	0	- 0.478	- 0.780
	2.0	0		
	1.0	0 ~ 0.04	- 0.418	- 0.455
	0.5	0 ~ 0.11	- 0.312	- 0.450
	0.1	0.21		
	0	0 ~ 0.36	- 0.252	- 0.262
マ シ ガ ン 青 銅	0.9		- 0.369	- 0.369
	0.3	不 明 確	- 0.282	- 0.282
	0.1	(全部増量の) (ため)	- 0.332	- 0.307
	0		- 0.256	- 0.248

第 4 章 中 間 実 験

荏原製作所手持の口径 300 ミリ軸流ポンプ（ケーシングは鋳鉄、形状は殆んど口径 600 ミリ軸流ポンプと相似形に測定用の小孔を各所に設けて運転中の防蝕電流による各部の電位変化を計測し、工業試験所における基礎実験と実物実験の欠けた所を補う目的で実験を予定したものである。

実験開始までに、荏原製作所羽田工場のポンプ試験水槽、同計量用タンク等の整備に手間取り（この間に荏原製作所の主力が北加瀬から羽田に移転する等の問題もあつた）また日本防蝕工業側実験担当者の長期出張による不在等の支障が重なつて、当初の予定よりも非常に遅延し、昭和 30 年 5 月になつてやつと測定を開始することができた。

既に照国丸で実用試験の結果も判明していたので長期にわたる腐蝕試験は行わず防蝕電流による電位変化の分布状況と、これに及ぼす使用水の比抵抗の変化の影響だけを調査することに止めた。

測定結果は次の図表に示す通りである。照国丸の測定値と対比すれば判るが使用水の抵抗が高いと

電流分布にはかなり凸凹があることが判る。またこの場合は胴体が鋳鉄であるから胴体が青銅系の場合とも異なることに注意を要する。然し電気防蝕法が使用液の比抵抗が 500 オーム cm 程度までは充分可能なことも判る。

No. 1

硫酸銅電極使用

通電状況			使用水比抵抗(570 Ω/cm) 各部電位(-mmV)				
時間	電流	電圧	a	b	c ₁	c ₂	d
10. 00	静止状態		0	420	320	260	230
				400	280	240	230
				430	280	240	230
	無通電動作中		360	400	300	250	240
			360	430	320	250	240
			340	430	320	260	250
	通電開始						
			360	540	340	280	250
			380	460	350	300	280
0.1	(A) 0.1	(V) 4	380	500	350	320	260
			420				
			420	580	380	440	260
			420	590	380	440	270
			420	570	380	440	270
			460				
			450	820	390	460	280
0.2	0.2	7	460	830	400	480	290
				830	410	470	290
			460				
			470	880	430	500	290
			480	920	530	500	300
			480	900	540	490	300
0.3	0.3	9	500	980	600	560	450
			800	1040	720	500	440
			820	1040	690	500	
16. 00			毎 10~15 分間隔で測定した。				

通電状況			使用水比抵抗(570 Ω/cm) 各部電位(-mmV)				
時間	電流	電圧	a	b	c ₁	c ₂	d
10. 30	静止状態		320	300	250	350	270
			300	350	240	350	290
			320	330	250	350	290
	無通電動作中		320	320	290	300	290
			300	330	250	290	270
			320	320	270	290	270
	通電開始						
	(A) 0.1	(V) 4	470	560	470	450	320
			490				
			490	600	470	470	320
15. 00	0.2	7	550	770	490	500	350
			550	730	500	500	340
	0.3	9	600	820	550	530	370
			600	830	530	570	370
	0.4	11	650	900	640	620	390
			640	890	580	640	390
	0.5	14	680	690	530	650	390
			660	960	550	640	390
通電中止後			400	560	300	380	300
			360	470	270	360	270
			340	470	270	320	260

毎 10~15 分間隔で測定した。

通電状況			使用水比抵抗(92.2 Ω/cm) 各部電位(-mmV)				
時間	電流	電圧	a	b	c ₁	c ₂	d
	静止状態		420	440	420	400	420
10. 10	動作中		430	390	430	390	420
30			440	450	400	450	410
50			430	420	400	420	420
55	通電開始						
11. 5	0.1	2.0	440	510	430	420	400
15			450	520	430	400	410
15	0.2	2.5					
25	0.2		480	590	450	430	440
35			490	610	450	430	450
35	0.3	3.0					
45	0.3		550	740	500	480	490
55			540	730	500	480	490
55	0.4	3.5					
12. 5	0.4		680	900	590	600	530
15			680	880	590	600	530
15	0.5	4.0					
25	0.5		700	960	620	640	530
35			720	980	620	630	530
35	0.6	4.5					
45	0.6		780	1,020	640	660	570
55			770	1,030	650	660	570
55	0.7	5.0					
13. 5			780	1,100	700	680	600
15			800	1,100	680	700	600
15	0.8	5.5					
25			830	1,150	700	700	600
35			830	1,160	700	710	600
35	0.9	6.0					
45			830	1,120	680	700	600
55			820	1,100	680	680	600

通電状況			使用水比抵抗(92.2 Ω/cm) 各部電位(-mmV)				
時間	電流	電圧	a	b	c ₁	c ₂	d
13. 55	1.0	6.5					
14. 5			830	1,160	680	690	580
15			840	1,120	680	700	580
15	1.1	7.0					
25			900	1,180	750	740	610
35			890	1,170	680	730	620
	通電中止						
15. 10							
20			600	700	500	500	440
25			600	600	420	480	

No. 4 塩化銀電極使用 NaCl 5 kg 投入

通電状況			使用水比抵抗(89.2 Ω/cm) 各部電位(-mmV)				
時間	電流	電圧	a	b	c ₁	c ₂	d
10. 45 55	静止状態		450	750	600	530	440
			430	750	600	500	440
11. 15 30	動作中	400	750	600	500	440	
		400	750	620	490	430	
30 40	通電開始 0.1	2.0					
40			460	810	630	520	420
50			460	810	640	500	420
50	0.2	2.5					
12. 00			500	840	650	550	420
10			520	840	650	550	450
10	0.3	3.0					
20			580	850	660	550	480
30			570	870	660	550	480
30	0.4	3.5					
40			780	1,020	580	550	480

通電状況			使用水比抵抗(89.2 Ω/cm) 各部電位(-mmV)				
時間	電流	電圧	a	b	c ₁	c ₂	d
12. 50			780	800	570	550	480
50	0.5	4.0					
13. 00			850	960	620	660	480
10			830	980	650	650	480
10	0.6	4.5					
20			900	980	720	660	580
30			920	960	720	650	580
30	0.7	5.0					
40			960	1,150	780	770	580
50			960	1,150	780	770	580
50	0.8	5.5					
60			980	1,160	800	850	580
14. 10			1,000	1,180	820	850	580
10	0.9	6.0					
20			1,020	1,200	820	880	580
30			1,020	1,200	830	870	580
50	通電中止						
15. 00			830	900	560	500	500
10			660	670	560	500	500

No. 5 硫酸銅電極使用 NaCl 20 kg 投入

通電状況			使用水比抵抗(86.7 Ω/cm) 各部電位(-mmV)				
時間	電流	電圧	a	b	c ₁	c ₂	d
10. 00	無通電		430	440	400	420	370
10	動作中		420	440	400	420	380
20	0.1	2.0					
30			450	520	430	450	390
40	1.0		450	530	430	450	400
40	0.2	0.5					
50			500	600	460	490	410

通電状況

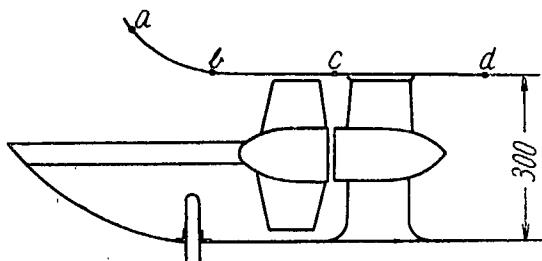
使用水比抵抗 ($86.7 \Omega/cm$)

各部電位 (-mmV)

時間	電流	電圧	a	b	c_1	c_2	d
10. 60			510	620	480	500	430
11. 00	0.3	3.0					
10			550	710	520	540	450
20			510	720	530	560	460
20	0.4	3.5					
30			550	800	620	600	530
40			580	800	620	620	530
40	0.5	4.0					
50			700	850	560	650	540
60			690	850	560	650	540
13. 10	0.6	4.5					
20			760	920	700	720	600
30			780	940	700	740	580
30	0.7	5.0					
40			800	1,000	710	780	600
50			800	1,000	720	790	600
50	0.8	5.5					
60			830	1,050	760	800	620
14. 10			840	1,050	760	800	620
10	0.9	6.0					
20			880	1,120	800	850	640
30			880	1,150	800	860	640
40	通電中止		590	680	550	580	450
50			550	600	520	540	440
60			520	570	500	520	420

通電状況			使用水比抵抗(---) 各部電位(-mmV)				
時間	電流	電圧	a	b	c ₁	c ₂	d
9. 50	静止状態		340	550	400	530	300
60			320	560	400	520	300
10. 00	動作中		330	550	390	540	300
10			330	540	380	540	300
20	通電開始						
20	0.1	2.0					
30			350	580	400	580	330
40			360	580	400	570	340
40	0.2	2.5					
50			380	620	430	620	380
60			380	640	440	600	380
11. 00	0.3	3.0					
10			400	710	480	680	400
20			410	720	490	680	410
20	0.4	3.5					
30			500	800	520	730	460
40			480	790	520	730	460
40	0.5	4.0					
50			500	900	600	780	460
60			500	880	620	760	460
13. 10	0.6	4.5					
20			520	920	700	790	470
30			530	940	710	790	480
30	0.7	5.0					
40			580	980	730	790	490
50			580	990	740	790	490
14. 00	0.8	5.5	610	1,150	760	820	520
10			610	1,180	760	820	520
20							
20	0.9	6.0	630	1,150	800	830	520
30			650	1,150	810	840	530

通電状況		使用水比抵抗(—) 各部電位(-mmV)				
時間	電流電圧	a	b	c ₁	c ₂	d
14. 40						
	通電中止					
50						
15. 00		600	900	600	730	500
10		520	670	600	610	500



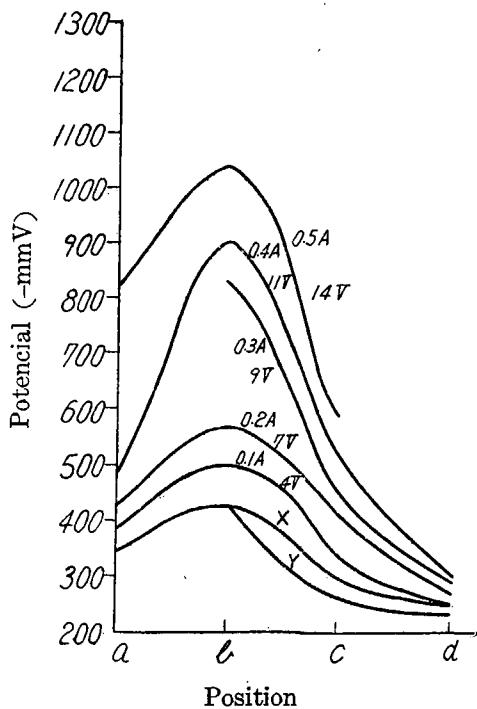
300 mm 軸流ポンプの防蝕電流と電位測定

Protective current and potencial measurement

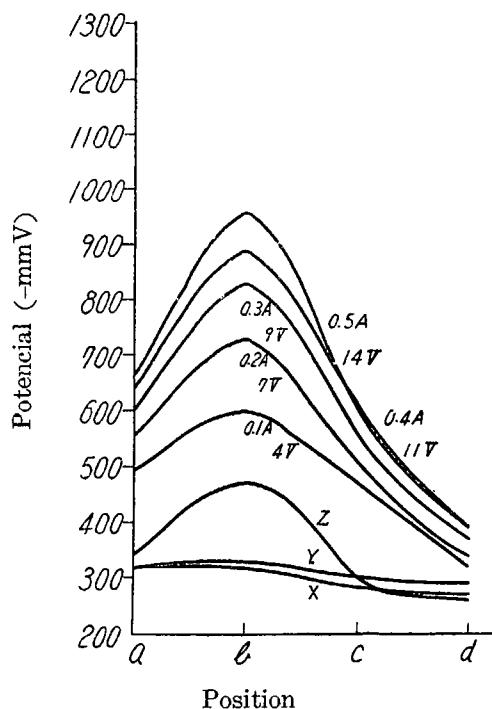
of 300 mm ϕ axial flow circulating pump.

{c 点は c₁, c₂ の 2 点 (円周方向) に分けて計測した}

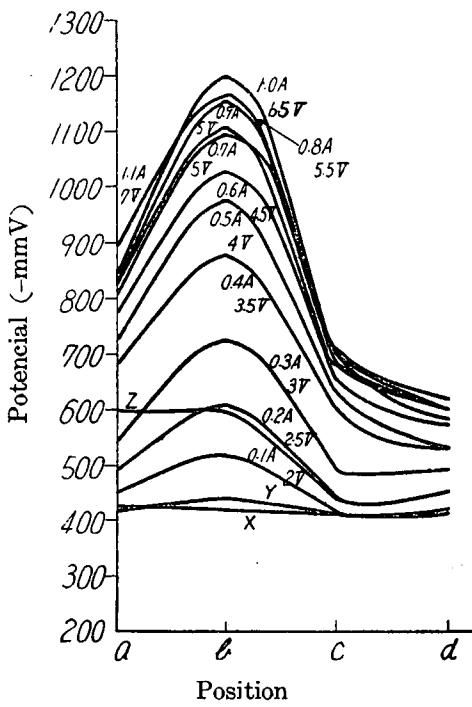
No. 1 硫酸銅電極使用
(CuSO₄ half cell)
($\Omega\text{-cm}$ of fluid = 570)



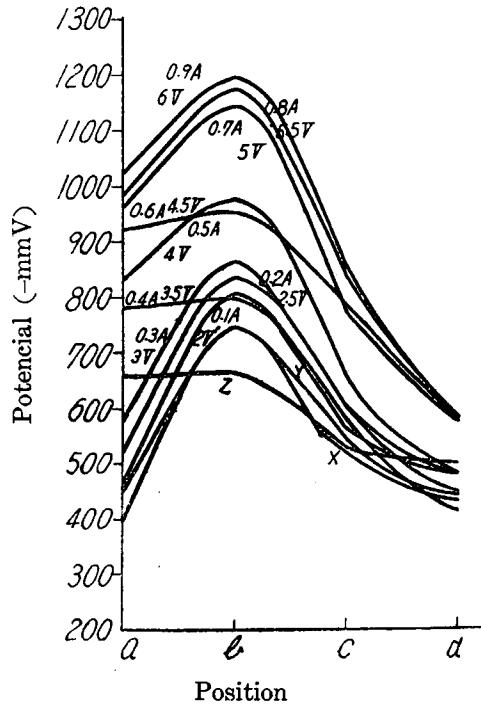
No. 2 塩化銀電極使用
(HgCl₂ half cell)
($\Omega\text{-cm}$ of fluid = 570)



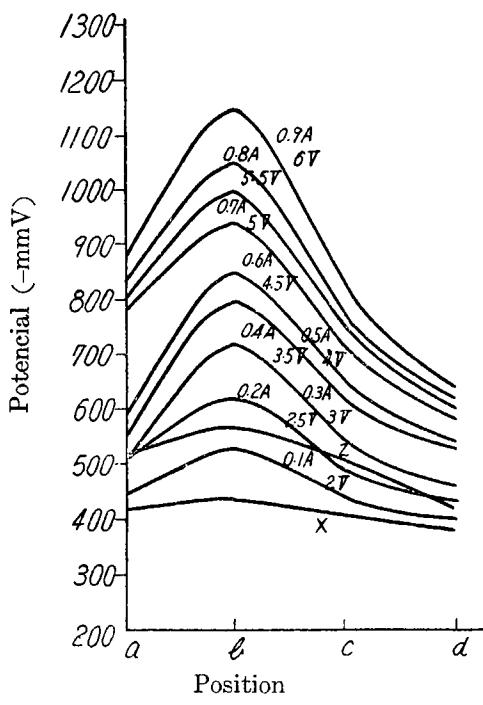
No. 3 硫酸銅電極使用
(CuSO_4 half cell)
($\Omega\text{-cm}$ of fluid = 92.2)



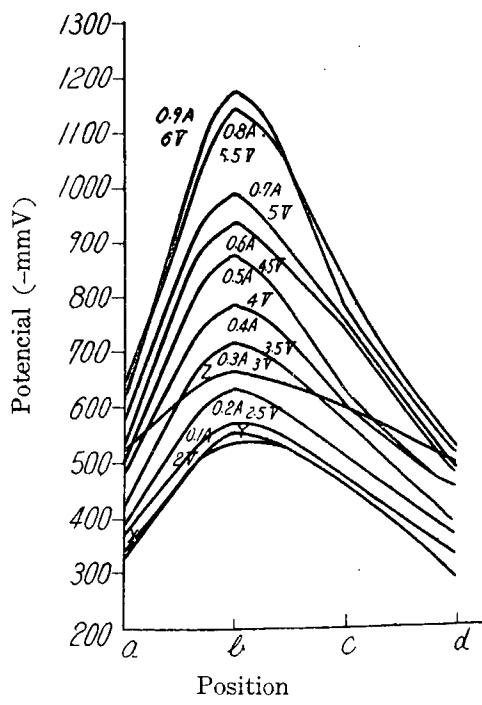
No. 4 塩化銀電極使用
(HgCl_2 half cell)
($\Omega\text{-cm}$ of fluid = 89.2)



No. 5 硫酸銅電極使用
(CuSO_4 half cell)
($\Omega\text{-cm}$ of fluid = 86.7)



No. 6 塩化銀電極使用
(HgCl_2 half cell)
($\Omega\text{-cm}$ of fluid = ---)

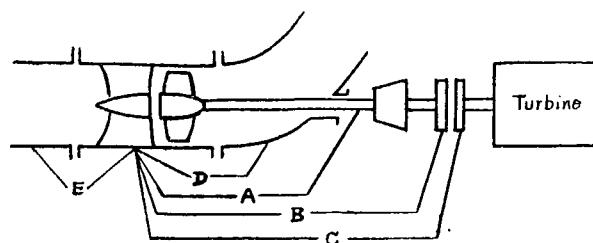


X : 動 作 中 (No current—running—)

Y : 静 止 状 態 (No current—stop—)

Z : 通 電 中 止 後 (after test)

なお本研究の開始前実用実験を実施した照国丸と同型の霧島丸の軸流循環水ポンプその他の陸上公試を利用して石川島重工第3工場で実施した霧島丸、東栄丸、日光丸の電位測定の結果を次に記す。因に用水の比抵抗は $40 \Omega/cm$ 内外であつた。



軸流ポンプ運転中の電位差測定値

船名	測定位	電位差(V)	備考
東栄丸	A	0.120 ~ 0.112	900 rpm ~ 700 rpm, H = 8~6 m の範囲で rpm, H に関係なくほぼ一定を示す
	B	" "	
	C	0.001 ~ 0.0004	微量ながら電位差あり多少変化す
	D		
	E	0.000	殆んど計器に出ない、
	F		
日光丸	A	0.015 ~ 0.010※	0.03 Ω 内外の導線で短絡した場合の値
	A	0.104 ~ 0.102	900 rpm 2000 rpm の際の測定値
霧島丸	B	" "	数回測定したが安定した指度を示す
	C		
	D	0.000	計器に現れず
	E		
A	A	0.000	調速器試験後指度 0 となり回復せず
	A	0.007	
B	A	0.013	17.05 (起動直後)
	A	0.03 ~ 0.04	17.15
	A	0.04 ~ 0.05	17.20
	C	0.003 ~ 0.004	17.40
C	D	0.000	± 0.005 位の波動を示している
	E		A点のような変化は示さぬ
D	A	0.025	
	A	800 rpm にしたら電位差が減つた	

※ を短絡線から算出すると $\frac{0.01 \sim 0.015}{0.03} = .3 \sim .5$ の電流となる

第5章 実用実験

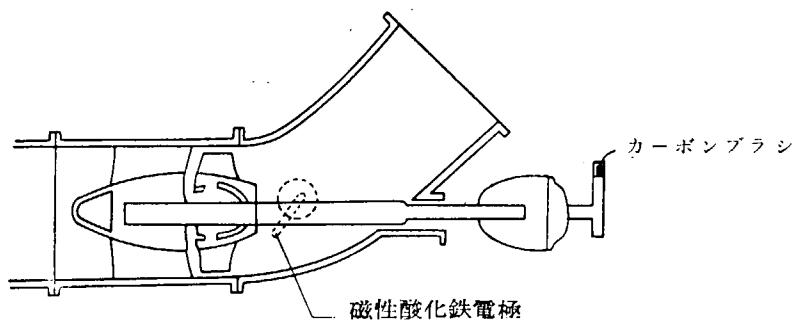
1. 照国丸に実施した電気防蝕法

装備要領

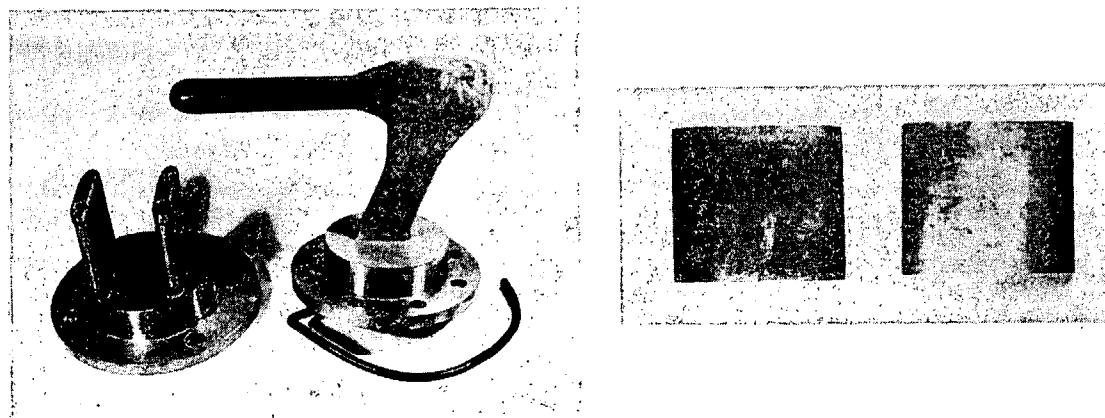
第1図に示すようにポンプ下面の保護亜鉛取付錫を利用して、磁性酸化鉄電極(第2図)を設置し

播磨造船所手持の電動発電機から直流陽極電流を送つた。同発電機負電流はポンプ、ケーシング及び回転軸にカーボンブラシを経て送つた。

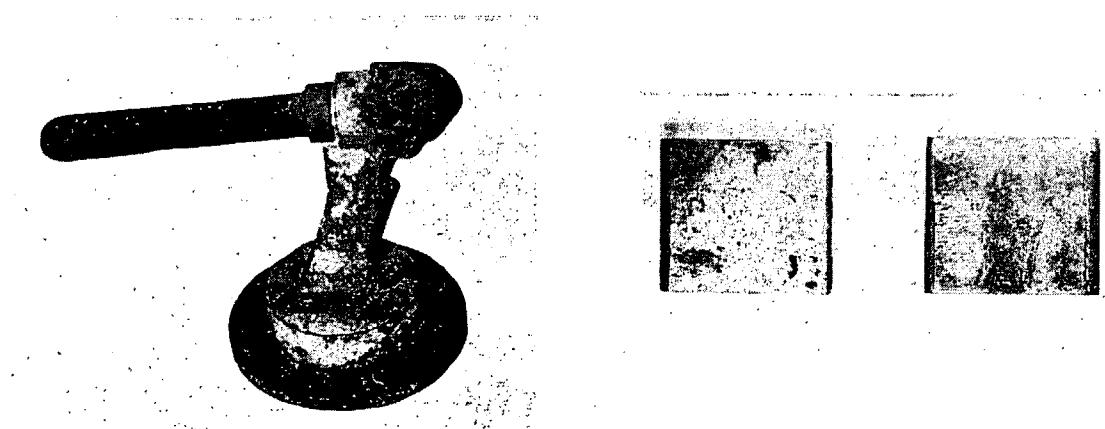
また出口側上面（案内翼の間）の覗き穴鍔を利用して試験片（通電1ヶ不通電1ヶ）を設け防蝕効果比較の一助とした。



第1図 軸流ポンプ略図



第2図 照国丸に取付けた磁性酸化鉄電極及び試験片
(装備前)



第3図 照国丸に取付けた磁性酸化鉄電極及び試験片
(1ヶ年使用後)

防蝕電流による電位変化測定

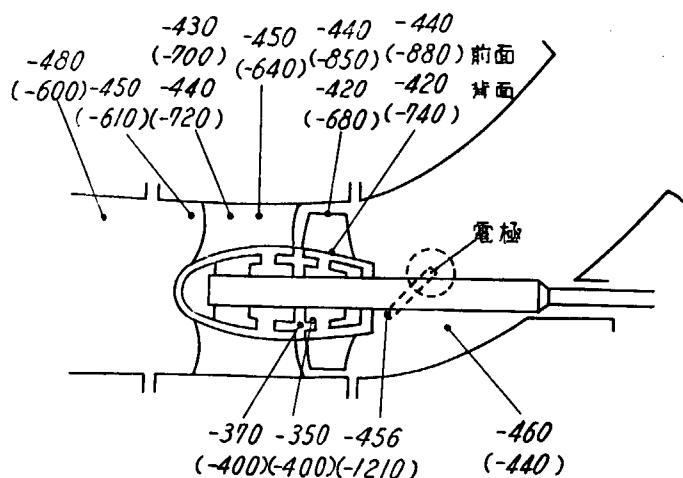
29年4月7日 電極装備直後、播磨造船所相生岸壁でポンプケーシング上半を外して、下半に海水を満し、防蝕電流通電前と通電20分後の電位を測定した。

使 用 海 水 比 抵 抗 25°C $24 \Omega\text{ cm}$

通電量 5.5 V 3.2 A

硫酸銅電極で測定した。測定位置と測定数値は下図に示す通り。

() 内は通電後 () 外は通電前の値を示す



本測定は電位が通電後の時間によって変化することと運転中と静止時では相当の差があると考えられることから傾向を確める。

定量的な価値は認められないが、案内翼を過ぎた先にもかなりの電位変化を与えており、電極1本でも充分全面防蝕の期待が持てそうである。

過 経 電 通

前記測定後出港とともに通電を開始し、航海中は通電を続け、入港とともに停止する方法をとつて、7月まで続けたが電動発電機の故障で中絶したまま北米等の航路に廻つた。

10月末相生入渠の際、翼車を新品と換装し電動発電機を修理して試験を再開したが、翌年1月末再び電動発電機に故障を生じそのままペルシャ湾に1航海の後、3月末相生入渠の際間故検査1か

その間乗員の手によつて、緻密な通電記録が行はれた。通電量は調整が困難で変動があるが平均 3 Amp, 最大 5 Amp, 最小 2 Amp である。

開放検査時の状況

翼車には全然腐蝕の跡なくバイト目、鏽目も完全に残り、ボス附近には、白色の膜（防蝕電流過大の時生ずる水酸化マグネシウムと炭酸カルシウムと者をられる）が薄くできていた。

乗員の所見では、このような良能の翼車は初めて見るとのことであった。

電極は第3図に示すように消耗の跡は認められず、半永久的（少くも5年以上10年位）に使用可能と考えられる。電極保持の金物には1~1.5ミリの暗白色被膜ができていて相当この附近には過大な防錆電流が流入していることを示している。電極取付部を流線型に整えるため塗つた合成樹脂は一部脱落していた。加工上注意を要する点である。

試験片の成績

外観は防蝕通電のものは金属色を帯び、不通電のものは暗赤色を帯び軽く脱亜鉛したように見えたが工業試験所で生成物を抑制剤入りの酸で洗つたところ一方は加工時の鏃目が明瞭に残つてあり、他方は烈しい腐蝕の跡を示した。その重量変化も 0.85 gm と 35.5 gm で 1 dm^2 当りの腐蝕量は 0.63 gm 及び 27.9 gm 、従つて防蝕率は 97.65% であつた。

試験片は殆んど丸 1 ケ年取付けたままでしかも半年近く不通電の期間があつたことを考えると予期以上の好結果である。恐らく新品当時過大な防蝕電流によつて表面が安定化され、且つ表面にエレクトロコーティングが行われて不通電期間も残存防蝕効果が有効に働いた結果か、或は腐蝕の原因が何か未知の迷走電流によるもので偶々一通電の期間にはその激しい作用がなかつたためと考えられる。

2. 昌和丸に実施した電気防蝕法

昌和丸の主機械はディーゼル機関でその冷却水ポンプとして流量 220 m^3 水頭 25 m 1750 rmp の一段遠心式電動堅型ポンプを持つているが翼車の入口部と出口端に腐蝕があり翼車軸の腐蝕が特に激しいので問題となつた船である。

昭和 30 年 4 月、照国丸より更に小型の磁性酸化鉄電極 1 本を装備し幸に交流電源の船であるのでセレン整流器 1 ケとスライダック 1 ケを設けて適当な防蝕電流を通することにした（計画電流は 1 Amp である）。

昭和 31 年 4 月に得た報告では腐蝕の進行した形跡は全然なく、白色の被膜が広範囲に附着しておつて完全に防蝕されたことを示している。

照国丸の場合と異なり電源関係に支障がなく管理も楽なので極めて順調に実用されている模様である。

なおこのポンプは小型で堅型なために電位測定等は困難であるから実施していない。

第 6 章 結 論

本問題は非常に複雑で第 2 章に記されたように色々の推定原因をたてて調査しているが原因が確められていない。

しかし腐蝕状況は翼車等回転体の方が激しく特に翼端等回転体から胴体に向つて腐蝕電流が海水を通じて流れると仮定すれば説明されるような腐蝕の分布状況（例えば翼の tip 部とか前後端のに近い部分とか）を示している。接続している銅管に出てゐる腐蝕も接手附近に集中していて銅管とポンプ胴体との間の電位差によるものであることが推定される。また胴体に生じた腐蝕はそれほど激しいものではなく実際に見た照国丸などは腐蝕とされていたものが詳しく調べると、激しい電流によつて表面に水素が発生して附着物がとれ光沢のある金属面が現れたと考えてもよいようなものであつた。

従つて何等かの原因で胴体と回転体の間に腐蝕電流が流れたのが最も大きな腐蝕の原因であり、流速とか乱流とかキャビテーションとかがこの作用を助長していると考えるべきと思う。然しこの作用が自然腐蝕として一般に考えられているより遙かに激しいこと、その発生が激しいときとそれほど激

しくないときとあることも事実で、その原因が何にあるかは今までの調査では判明していない。基礎実験や中間実験の結果もこれを説明するには充分でない。

それで実用実験では胴体と回転体とに対し常識よりは過大と思われる $0.35 \text{ Amp}/\text{m}^2$ 程度の防蝕電流を与えることにしたのであるが、照国丸の場合にも、昌和丸の場合にも、完全な防蝕効果を挙げることができた。

その後第2章に記した各船は運転諸元を下げる翼車に当る流速を下げ乱流を防ぐ等のことも行われて何時とはなしに余り問題とされなくなつたので、この研究も稍々竜頭蛇尾に終つた感があるが、照国丸では試験片で 97 % 以上の防蝕率を挙げることができ、これは防蝕電流以外の使用状況は同一な筈であるから全く防蝕電流の効果によるものと断定出来る。また照国丸や昌和丸で白色の被覆を生じているのは上記電流密度は當時は余分になつていていることを示している。

照国丸の場合は電源装置に事故が 2, 3 あつたがこれは手持の中古品を流用したことに主因があつて解決可能な問題である。その他の部分はなお改良の余地はあるが充分数年以上の使用に耐える見込はある。昌和丸の場合は照国丸の経験もあつて 1 ケ年の使用に無事故で耐えた。

要するに腐蝕の原因を確実にすることは出来なかつたが防蝕対策としては一応の成功を収めているものと考える。これに要する経費も 1 隻当たり 10 万～15 万円程度で済むのである。

昭和31年8月15日 印刷
昭和31年8月20日 発行

日本造船研究協会報告 第10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