船舶の亜鉛防食とその効果*

菅野 照造** 多田 義典** 三浦 達男**

Cathodic Protection of Ship Hulls and Its Effectiveness

Teruzo Sugano, Yoshinori Tada and Tatsuo Miura

The galvanic protection of ship hulls with zinc anodes has become the most popular and conventional technic to day, but its actual effectiveness had been still in veil.

The authors applied this process to the new by-built ships of identical type (five 10,000 DWT

class diesel cargo ships) and obtained the best result when zinc plate's disposition was designed to give;

- 1) 0.7~0.9 A/m² as propeller side
- 2) 2.2 mA/m² as oil type painted hull.

1. 緒 言

船舶外板没水部に亜鉛を装着して防食を行なうことは今日すでに常識化され一般に普及されているが、その効果および塗装との関連性等については試験片による報文を数多く見受けるのみで、実船につき計測した例はごく少ないようである。筆者らは同型の新造船、およびその他の新造船につき、これらの計測を行なう機会を得、一応その効果を確認することができたので、その概要を報告し各位の御批判を仰ぐ次第である。

2. 研究計画

各船主の御好意により当社建造になる新造船、鉄隆丸、協泰丸、三雲丸、協明丸、協新丸、協瑞丸および当社曳船松丸等を研究対象船舶として下記項目にわたって実船計測を行なった。

(1) 亜鉛板の取付個数と主として艤装中の船体電位との関係。

(2) 航行中の船体電位の変化について。

(3) 亜鉛による電気防食の効果。

研究対象船舶の主要目は第1表の通りである。

第1表 研究対象船舶の主要目

船 名	載貨重量	全 長	巾	深 さ	主 機 械	最高速力
	DWT	m	m	m		kt
協 泰 丸	11,927	130.00	18.20	11.60	ディーゼル	17.3
三 雲 丸	9,155	117.29	16.80	10.40	"	15.1
協 明 丸	11,004	130.00	18.20	11.60	"	17.6
協 新 丸	11,978	139.90	18.20	11.60	"	17.2
協 瑞 丸	11,770	139.90	18.20	11.60	"	17.3
松丸(曳船)	64	21	5.5	2.7	蒸気機関	11.0

3. 結果および考察

(1) 亜鉛の取付個数と、主として艤装中の船体電位との関係

従来船舶の船尾外板付近に取付ける亜鉛の個数は、ただ習慣に従って取付けていたにすぎず、取付数の決定にはなんらの根拠なしに行なわれていたが、亜鉛陽極としての研究が盛んに行なわれ、その全貌が明らかになるに従い亜鉛からの発生電流がかなり明確に把握できるようになったので、所要防食電流の決定と同時に自ずとその取付個数が決められるようになった。

高純度亜鉛の発生電流密度は今までの実績から 0.3~1.2mA/cm² とされているので、これらの数値をもとにして研究対象船舶の中最も代表的な協泰丸、協明丸、三雲丸の3船につき計測を行なった。対象船舶の塗装および亜鉛板の装着要領(取付けはすべて溶着方法で行なった)は第2表に示した通りである。すなわち協明丸は従来の取付個数に従って取付けたもので、協泰丸は船底部の完全防食を試みて従来の取付個数の約2倍量に相当する亜鉛を取付けた。三雲丸は船主の御要望もあって、外板は電動ブラッシングにて赤錆を除去した程度(くろ皮除去までには至らない)の下地処理ののち船底塗料を塗装したもので、防食塗装としては最も苛酷な条件のもとで行なわれた訳である。このようにそれぞれ異なった条件のもとに進水した各船舶の艤装期間中における船体電位(SCE)の状態は第1~3図の通りであった。

この結果から理想的な防食範囲内にあるのは第1図に示した協泰丸のみで、他の船舶はいずれも防食電位すれの範囲があるいはそれより貴な電位を示しており、船体電位は船尾から船首に向って貴となる勾配を示していた。これは協明丸、三雲丸とも船尾に集中して亜鉛板

* 昭和33年11月18日学振主催第2回防食技術研究討論会にて発表

** 石川島重工業株式会社

第5図 協瑞丸機装期間中の船体電位

(a) 船体船底部にあらかじめ電極を固定して測定する方法

(b) 電極を曳行して測定する方法

使用電極はすべて海水甘汞電極を用いた。固定電極は右舷側の水線下約1.5m付近に溶着帯により締めつけて固定し、曳船電極は2分径のマニラロープで曳行して同時に測定を行ない、航速および曳行距離と電位変化との関係を調査した。この結果固定電極と曳航電極との間には測定上の許容誤差程度の差しか認められず、約50mの曳航電極と固定電極との差は数mVであった。また航速と船体電位との関係は第6図に示したごとく、航速とともに船体電位が高くなり貴な電位に傾くことがわかった。松丸の場合には9ktで約180mVの電位上昇が認められた。この現象は海水の流動による拡散層の減少により濃度分極が減少する結果を示すものであるゆえ、大型船舶についても小型船と同様なことが考えられる訳である。

第6図 松丸航行中における船体電位測定結果

以上のような予備試験により航行中の船体電位は曳行電極により容易に測定できることが明らかとなったので、協新丸、協瑞丸の大型貨物船にこの方法を適用し実測を試みた。計測はいずれもこれら船舶の試運転時に行ったものでその結果は第7図の通りである。

第7図 大型貨物船の航行中電位変化 (S.G.は海水の比重を示す)

この結果から大型貨物船でも航行中の船体電位は停泊時に比して120~150mVの電位上昇があるものと推定される。ゆえに船底部の完全防食を考える場合、すなわち航行中に-770mV以下の電位を維持するためには機装中または停泊中に少なくとも-900mV以下の電位となっていなければならないと言えよう。このことから協泰丸、協瑞丸の防食状況は、船体電位の上からはほぼ理想的な状態であるといえる。

(3) 亜鉛による電気防食の効果

研究対象船舶のうち協泰丸が昭和32年10月22日、協明丸が33年2月15日、続いて17日に三雲丸が入港したので、それぞれ入渠前の船体電位を測定した。その結果は第8図のごとくで、この図からも明らかなように、完全防食を計画した協泰丸は船体電位の上からは防食範囲内にあってきわめて満足すべきものであった。他の2船はいずれも防食電位をはるかに上回る貴な電位を示し防食環境にあるとはいえない状態であった。入渠時の状況は次の通りである。

第8図 研究対象船舶の就航後第1回入渠時における船体電位変化曲線 (SCE)

(a) 協泰丸

本船は約5ヵ月就航後入渠したもので、船体電位の状況は前述のごとくきわめて良好な状態であった。このことを裏付けるがごとく、水線以下船底部全面にわたって腐食箇所を調査したが、錆および腐食が発生もしくは進行している箇所は肉眼では全然認めることができなかった。一般に進水時の盤木跡は塗膜が最も損傷を受け易く、したがって腐食の被害を最もこうむり易い箇所であるが、本船では全然そのような跡は見受けられなかった。その外に船底部の鋸頭は孔食を受ける代表的な個所で、その対策には船底塗料を十分にいいに塗るより他に方法がなく永年苦慮してきた箇所であるがこの部分も一部塗膜が剥離しているにもかかわらず、全然発錆しておらず全く良好な状態であった。プロペラ付近の状態もなら異状なく良好な状態であった。

(b) 協明丸

本船の機装期間および入渠前の船体電位の状態は大体三雲丸と同様で、いずれも防食電位に達せず平均約-635mV (SCE) であった。しかし三雲丸と異なる点は塗装の前処理が完全に行なわれていた点である。したがって三雲丸ほど塗膜の劣化が目立たず比較的良好な状態

であった。しかし発錆箇所は船底部のあちこちに散在して認められた。プロペラ付近は特に異状は認められず良好な状態であった。

(c) 三雲丸

本船は船底外板部の塗膜の劣化が予想以上に進行しており、水線部は A/C, B/T 間で約 10% 程度が剥離し発錆もやや全面にわたって見受けられ、特に船首付近では著しい錆が見受けられた。船底部は発錆部分よりむしろ海洋生物類の付着が著しくやや全面にわたってフジツボ、セルブラが付着していた。

本船の状態からみて船底部の防食塗装は完全デスケリング後 W/P 1 回, A/C 2 回, A/F 2 回, B/T 2 回は最低限度の塗装として行なうべきであることが痛感された。

(4) 対象船舶の亜鉛消耗量と所要防食電流密度

各対象船舶の入渠時にそれぞれ装着亜鉛を取除きその消耗量を計測した。その値から発生電流を逆算すると第 3 表のごとくなる。このうち亜鉛の自己消耗率を上部 10%, 下部 20% としたのはプロペラ付近の流体変化による物理的な消耗率から仮定した値である。

第 3 表 研究対象船舶の取付亜鉛消耗量の比較

船名	取付位置	個数	消耗量 (kg)	発生電流量 (A・hr)	発生電流 (A)	計 (A)	
協泰丸	舵	上部	6	15.6	28298.20	5.77	22.30
		下部	8	25.6			
	船尾	上〃	10	26.0	56908.0	10.60	
		下〃	18	57.5			
	船体中央	上〃	22	19.8	31881.6	5.93	
		下〃	26	23.4			
協明丸	舵	上〃	8	20.8	33587.2	6.32	16.31
		下〃	8	27.8			
	船尾	上〃	8	21.3	52980.2	9.99	
		下〃	18	56.8			
三雲丸	舵	上〃	6	18.8	27437.2	5.17	13.57
		下〃	6	20.7			
	船尾	上〃	6	19.8	44575.2	8.40	
		下〃	13	45.7			

- (注) (1) 取付位置の上部、下部とはプロペラ軸より上を上部とし下を下部とした。船体中央部の上部、下部はボルジキールを境とした。
 (2) 亜鉛の自己腐食率は上部を 10% とし、下部を 20% として計算した。
 (3) 亜鉛の発生電流量は $820 \text{ A} \cdot \text{hr} / \text{kg}$ として計算した。
 (4) 亜鉛の浸水日数は協泰丸 223 日、協明丸 221 日、三雲丸 221 日として算出した。

これらの値と入渠時における船体の防食状況等を総合的にみて、プロペラ付近および船体を防食するに必要な防食電流について次のように考えた。

すなわち協明丸、三雲丸は亜鉛の取付けてある船尾プロペラ付近のみが -700 mV 前後で他の部分は一様に -600 mV 前後であることは、船尾に取付けた亜鉛からの発生電流の大部分がプロペラに吸収されごくわずかの電

流がその近傍に印加されていると考えられる。ゆえに協明丸、三雲丸に取付けた亜鉛の平均発生電流 16.3 A 、 13.6 A は全部プロペラに吸収されたと仮定すると、プロペラに印加される電流は 0.9 A/m^2 、 1.5 A/m^2 となる。しかしいずれの場合もフレーム 20 付近までは -700 mV 前後になっていることから、発生電流の全部がプロペラに印加されたと考えるよりはそのうちの約 80~90% がプロペラに、20~10% が船尾付近の船体に印加されたと考えるのが妥当であろう。

この考え方をやや標準塗装を行なっている協明丸についていえば発生電流 16.3 A のうち約 13~15 A がプロペラに印加されたことになる。すなわちプロペラの所要電流密度は $0.7 \sim 0.9 \text{ A/m}^2$ であるといえよう。これを更に協泰丸にあてはめてみると、 $22.3 - 14 = 8.3 \text{ A}$ がプロペラ以外の船体に印加されたことになり、この電流密度は約 2.2 mA/m^2 (満載時) となる。

以上装着亜鉛の消耗量から就航時における所要防食電流を入渠前後の船体電位および防食状況から考えてみたが、新造船の処女航海から 1~2 年間の船体防食に当っては十分にいいな防食塗装を施した船舶における亜鉛を用いた電気防食においては、船底付近と船体とを分けて次のごとくいうことができるであろう。

(a) 船尾プロペラ付近の亜鉛装着要領は、プロペラに $0.7 \sim 0.9 \text{ A/m}^2$ の電流が印加されるよう取付けるべきである。

(b) 船尾以外の船底部の防食にあたっては 2.2 mA/m^2 の防食電流が印加されるよう亜鉛を取付ける。25×150×300mm の亜鉛 1 個の発生電流を 0.3 A とし、船体の所要防食電流密度を 2.2 mA/m^2 とすれば取付間隔は約 13 m となる。

この電流密度はいずれも一般にいわれている数値よりもはるかに小さい数値であるが、新造船船においてはこの程度の防食電流で十分である。しかし船底塗膜の健全度いかんによって電流密度を考えねばならないので、船歴を経た船舶、または船底塗膜の poor な船舶においては前記以上の電流密度を必要とすることはもちろんのことである。

4. あとがき

本研究に当り、各船主殿の御好意と、電位計測に関し御指導を賜わった東京工業試験所第 6 部重野隼太氏ならびに経済的御協力を戴いた三井金属鉱業(株)に厚く感謝申し上げる。
 (昭和 34 年 3 月 4 日受理)