技術資料

プロペラ電気防食の海洋生物付着に及ぼす影響*

三原 伊文**・岡本 正典**
伊藤 正一**・末 広 操**

Effects of Propeller Cathodic Protection on Marine Fouling of Propeller

By Yoshinori Mihara, Masanori Okamoto, Masakazu Ito, Misao Suehiro

In general, the copper suboxide is contained in anti-fouling paint for the ship. It prevents from growing the marine lives on the shell plating in the water because that the ionization of copper suboxide comes out from the surface of painting plates.

An anti-corrosion method that zinc or aluminium plates is fixed to the propeller surface is applied for the marine copper alloy propeller. Marine lives, in this case, seem to be able to grow easily on the surface because that the ionization of copper from the surface is suppressed. But there has been no report about the marine fouling. On the other hand, there are reports that an excessive anti-corrosion current keeps out the marine lives on the surface.

From these reports, effect of these anti-corrosion methods to the marine growth has not been declared.

Therefore, it is investigated, the growth rate of marine lives on two conditions of propeller material, namely the condition that zinc or aluminium was fixed and material itself, in the sea water in Oshima for about one and a half year. The test results in the difference which the formers were covered with marine foulings very much and the laterers negligible.

1. ま え が き

船体及びプロペラへの生物付着は、船速の低下を招き、燃料消費量を増加させ、機関に過酷な運転を強いる。船体への付着防止にはその効果の著しい塗料が開発されて来た昨今、とりわけプロペラの汚損は以前にも増して重大な問題で、筆者らの行った実船実験の結果^{1,2)}は船体汚損の影響よりもむしろプロペラ汚損の影響の方が大きかった。

プロペラ材料として広く用いられている銅合金は、その表面に酸化被膜が形成され、これによって自らを防食しているが、沿岸海域の海水汚損によりマンガン青銅プロペラの腐食事故が頻繁に発生したため、その対策としてプロペラに直接亜鉛を取り付ける、いわゆる流電陽極法が実施された例がある。

ところが、生物の付着を防止する防汚塗料には防汚剤として一般に亜酸化銅を含有せしめ、これが銅イオンとなって塗膜表面に溶出することによって生物の付着を防

止している。この観点に立てば、上述の亜鉛によって防食電位に保たれた、すなわち銅イオンの溶出を抑えられたプロペラには多くの生物付着がありうるはずだが、そのような報告はなされていない。

それでは、外国の文献に『過度の防食電流を供給すれば生物の付着が防止できる』と報告されていると言う³⁾が、流電陽極法による防食電流が生物の付着を防いだことになるのだろうか。そこで、プロペラの電気防食、特に流電陽極法がプロペラそれ自身への生物付着に、どのような影響を及ぼすかを調査した。

2. プロペラの軸系電位

イオン化傾向の異なる金属を海水などの電解液中につけると電池が形成され、イオン化傾向の大きい金属はイオンとなって溶け出す。

鉄を例にとると、自然の腐食状態にある鉄の電位は図1の斜線の領域にある。これを防食するには、矢印Pで示すように電解液そのもののpHを大きくするか、鉄の電位をA方向に分極させて不動態域に移行(陽極防食)するか、又はC方向に分極させて安定域に移行(陰極防食)すればよい。このA又はC方向への移動が電気防食であ

* 原稿受付 昭和59年11月26日

昭和59年秋季学術講演(昭和59年10月24日)

** 正会員 大島商船高等専門学校(山口県大島郡大島町小松)

図1 鉄の電位-pH図

る。船体やプロペラに直接亜鉛を取りつける防食法は陰極防食で、一般に流電陽極法と称している。

プロペラ自体はその表面に形成される酸化被膜で防食されるが、そのままでは船体の鋼板との間に電池が形成され船体が著しく腐食するので、船尾付近には多くの亜鉛が犠牲陽極として取り付けられている。このため、直接には亜鉛が取り付けられていない、素面のままのプロペラ及びその軸系電位も飽和甘汞電極基準で表1の値をとることが報告^{4,5)}されている。

表に示すように停泊中のプロペラ軸系電位は船体の防食電位 -800 mV とはほぼ同電位だが、航走中では銅の自然電位 -200 mV に近い。このため汚損海域ではプロペラ腐食が起こるのである。Znを直接プロペラに取りつける流電陽極法でこれを分極した場合、報告⁴⁾によれば

表1 プロペラ及びその軸系電位

	プロペラ及びその軸系電位
停泊中	船体電位とはほぼ同電位の $-700\sim-900\text{ mV}$. (高速艇で稀に -1000 mV を越える例がある)
航走中	① アース装置のない軸系: 銅合金の自然電位に近い $-200\sim-350\text{ mV}$. ② アース装置のある軸系: 装置の不備なものが多く $-250\sim-750\text{ mV}$ とバラツキが多い. (装置が完全であれば航走中の船体電位 $-600\sim-800\text{ mV}$ に近い、ほぼ一定した値が得られるはずだがその例は少ない.)

但し、電位は飽和甘汞電極基準。以下同じ。

表2 試験海域の水質

項目	年間水温	水温	pH	溶存酸素	比抵抗	塩素イオン濃度
単位	℃	℃		ppm	mΩ/cm	ppm
年月	1983年4月～1984年3月		1984年7月30日			
値	26.5～8.0	22.7	8.06	7.2	20	20000

停泊中で約 -950 mV 、航走中에서도約 -700 mV の防食電位を保っている。

3. 試験方法

3.1 試験環境 大島商船高等専門学校の所在する周防大島は瀬戸内海の西方に位置し、本州との間に最強時で9 ktの潮流の流れる大島瀬戸がある。この瀬戸から約2 km離れた地点に本校がある。

試験海域は図2に示す大島丸係留桟橋で、水深は約5 m。年間の海水温度は年によって多少異なるが1983年度を例にとると、最高で $26.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、最低で $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ である。1984年の7月30日に計測した試験海域の水質を表2に示す。

3.2 試験用筏及び浸漬試験板 1984年3月までは長さ2 m、幅1 mの小さな筏で試験を行ってきたが、現在は図3のように直径58 cmの発泡スチロールを6個使い、3.5 m四方の筏を製作して試験を行っている。

1983年と1984年に浸漬した試験板のうち代表的なものを表3に示す。このうちプロペラ材については、1983年は直径540 mm、3翼のマンガン青銅プロペラをボスのところから三つに分断したものを試験板に使い、1984年は縦、横200 mm、厚さ10 mmのマンガン青銅板及びアルミニウム青銅板を試験板とし、それぞれに表に示すような処置を施し、文献6)を参考に深さ80 cmの海水中に吊した。

なお、素面のままの鋼板では生物が付着してもいつのまにかこれが錆と共に落ちてしまうことがあるので、鋼板にビニール系の防食塗料のみを塗った鋼板(試験板番号⑬)を1984年における付着生物の種類及び量などの比較の基準にしている。

表3中の防食亜鉛またはアルミニウムの大きさ $X_2[\text{cm}^2]$ 、 $X_A[\text{cm}^2]$ は次の(1)、(2)式により求めている。なお、試

図2 試験海域

験板番号③の試験板は過防食状態での付着状況の調査を目的としているので、亜鉛の大きさは計算より得られる大きさの2倍である。

プロペラ材の場合：

$\beta \cdot S_p = I_z \cdot X_z$ または $I_A \cdot X_A$ (1)

鋼材の場合：

$\alpha \cdot S_F = I_z \cdot X_z$ または $I_A \cdot X_A$ (2)

但し、

プロペラ材の防食電流密度⁷⁾ $\beta = 600 \text{ [mA/m}^2\text{]}$

鋼材の防食電流密度⁸⁾ $\alpha = 100 \text{ [mA/m}^2\text{]}$

S_p ：プロペラ材の表面積 $\text{[m}^2\text{]}$ S_F ：鋼材の表面積

単位面積当りの亜鉛の発生電流

$I_z = \frac{\text{発生電流}}{\text{有効面積}} \approx 1 \text{ [mA/cm}^2\text{]}$

単位面積当りのアルミニウムの発生電流

$I_A \approx \text{亜鉛の発生電流} \times 3 = 3 \text{ [mA/cm}^2\text{]}$

結果的には鉄鋼及び銅合金のそれぞれの防食電位⁹⁾ -800 mV , $-400 \sim -600 \text{ mV}$ を、何れの試験板も $-200 \sim -400 \text{ mV}$, 更に分極している。

3.3 付着量表示法 付着量の表示法として宮嶋らの長年の研究成果⁸⁾ による方法もあるが、筆者らは図4のように36のます目からなるスケールを作成し、これを試験板に合わせ、付着生物の占有面積によって、図の下に記す4段階に分ける。この方法では海藻類のように付け根の面積は小さくても体積のかさむものは付着量が多くなるが、実際のプロペラは時々回転するので海藻

図3 試験用筏(単位：mm)

図4 付着量表示法

< 付着量 >	< 占有面積 >
甚しく付着	10/36 以上
付着量多い	5/36 ~ 9/36
普通に付着	2/36 ~ 4/36
付着量少ない	1/36 以下

表3 浸漬試験板

浸 漬 初 め	番 号	試験板の材料	形状・寸法mm	処 置	浸漬初め	
					電位mV	海水温度℃
1983 4. 12	1	A マンガン青銅プロペラ	D=540 の1翼	素面のまま	-320	12.5
		B マンガン青銅プロペラ	D=540 の1翼	片面に塩化ゴム系塗料塗布	-940	
	2	マンガン青銅プロペラ	D=540 の1翼	A社亜鉛1個取付け	-1040	
	3	マンガン青銅プロペラ	D=540 の1翼	A社亜鉛2個取付け	-362	
	4	鋼板	350×400×1.2	素面のまま	-950	
1984 4. 3	5	鋼板	350×400×1.2	A社亜鉛両面取付け	-247	9.6
	6	マンガン青銅板	200×200×10	素面のまま	-935	
	7	マンガン青銅板	200×200×10	A社亜鉛両面取付け	-1020	
	8	マンガン青銅板	200×200×10	アルミニウム両面取付け	-930	
	9	マンガン青銅板	200×200×10	B社亜鉛両面取付け	-263	
	10	アルミニウム青銅板	200×200×10	素面のまま	-940	
	11	アルミニウム青銅板	200×200×10	A社亜鉛両面取付け	-933	
	12	鋼板	350×400×1.2	B社亜鉛両面取付け	-525	
	13	鋼板	350×400×1.2	AC塗料のみ塗布		

注1) 電位は飽和甘汞電極基準 注2) 試験板上端までの深さ80cm

類が垂れ下がってつくようなことはなく、それほどの問題ではないと考える。

4. 試験結果

4.1 第1回試験 1983年4月から1年間の生物付着状況を、グラフと一部は写真で示す。なお、図5のような表示法では表裏両面の付着物を記載している。

図5の素面のままのマンガン青銅プロペラの場合、電位はほぼ -250 mV で、浸漬70日後の6月22日になってもスライム以外何も付着していない。100日後7月20日にはフサコケムシやイタボヤ、ムラサキイガイがわずかに付着しているが、11月の観測時には消滅し、また

スライムだけになっている。2月(図6)も全く同様の状況である。

これに対して、亜鉛を1個取り付け電位をおよそ -950 mV に保った図7のマンガン青銅プロペラには、浸漬30日後の5月12日(図8-A)、すでに全面がシオクサでおおわれている。70日後の6月22日(図8-B)には水温も 19°C まで上昇しており、ホヤ類、コケムシ類、セルブラ、緑藻類のアオサが付着している。だが、このときシオクサはほとんど残っていない。水温が 25°C 前後になる8月19日にはホヤ類は消え、ムラサキイガイが成長を早め、フジツボが付き始めている。11月22日には水温も 17°C に下がり、ムラサキイガイがほぼ試験板全面をおお

図5 マンガン青銅プロペラ素面(試験板番号①A)

図6 マンガン青銅プロペラ素面(試験板番号①A)
— 浸漬10か月後 —

図7 亜鉛付きマンガン青銅プロペラ(試験板番号②)

A. 浸漬30日後

B. 浸漬70日後

C. 浸漬10か月後

図8 亜鉛付きマンガン青銅プロペラ(試験板番号②)

図9 亜鉛付き鋼板(試験板番号⑤)

図10 亜鉛付き鋼板(試験板番号⑤)
—浸漬10か月後—

		試験板番号												
分類	名称	1983.7.7 水温 22℃					1984.7.17 水温 20℃							
		A	B	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
付着生物	フジツボ類													
	フサコケムシ													
	チゴケムシ													
	その他													
動物	セルブラ類													
	シロバヤ													
	イタバヤ													
	その他													
軟体動物	カキ													
	ムラサキガイ													
付着植物	スライム													
	その他													

う。この状況は2月6日(図8-C)でも続いている。

亜鉛の量を2倍にして約-1050 mVの電位に保ったマンガン青銅プロペラもほぼ似通った付着状況を示し、2月6日の観測時には、やはりムラサキガイが全面をおおう。亜鉛で防食され電位を約-950 mVにした鋼板(図9, 図10参照)も同様である。

このように、電位を-1000 mV前後に保った試験板はマンガン青銅、鋼のいずれもおびたしい生物付着が見られ、その量や種類に著しい差異はない。付着状況の推移はいうまでもなく海水温度つまり季節によって大きく影響されている。

4.2 第2回試験 前年度の結果が普遍性を持つものであるか否か検討するため、今回はメカの異なる亜鉛、及びアルミニウムを取り付けたマンガン青銅について試験を行うと同時に、最近よく使用されるアルミニウム青銅についても調査を行った。

浸漬100日後の7月期になると水温もあがり、1年を通じて付着するものの大半が現れるので、7月期の付着状況を図11に示す。なおその一部は写真(図12~図14)でも表示している。

この時期まで、素面のままのプロペラ材は、マンガン青銅、アルミニウム青銅(図12)の何れもスライム以外の付着物は見られない。

前年と同じA社の亜鉛を取り付けたアルミニウム青銅(図13)とマンガン青銅(図14)では、何れか一方にのみ

1	A	マンガン青銅プロペラ	素面のまま
	B	マンガン青銅プロペラ	片面に塩化ゴム系塗料塗布
2		マンガン青銅プロペラ	A社亜鉛1個取付け
3		マンガン青銅プロペラ	A社亜鉛2個取付け
4		鋼板	素面のまま
5		鋼板	A社亜鉛両面取付け
6		マンガン青銅板	素面のまま
7		マンガン青銅板	A社亜鉛両面取付け
8		マンガン青銅板	アルミニウム両面取付け
9		マンガン青銅板	B社亜鉛両面取付け
10		アルミニウム青銅板	素面のまま
11		アルミニウム青銅板	A社亜鉛両面取付け
12		鋼板	B社亜鉛両面取付け
13		鋼板	AC塗料のみ塗布

図11 7月期の各種試験板生物付着状況

ごく少量付着する生物もあるが、その他のコケムシ類、ホヤ類、ムラサキガイ、海藻類などはほぼ同じ量だけ観察される。

図15, 16は1984年4月から10月までの6か月に、観察期間を拡大したものである。これによると素面のままのアルミニウム青銅(図15-A)には9月期に直径4~5 mmのフジツボが少量付着しているが、その時すでにこれは死滅していた。マンガン青銅素面(図15-B)には10月の観察時までスライム以外何も付着していない。亜鉛で防食されたアルミニウム青銅(図15-C)及びマンガン青銅(後掲の図16-B)は前述の7月期におけるわずかな相違があるだけで、6か月間を通してほぼ同様の付

着状況である。

次に犠牲陽極金属の異なるマンガン青銅に対する生物の付着状況を、防食塗料のみ塗った鋼板を基準にして比較した図16-A～図16-Dによると、7月期ではセルブラ、シロボヤ、コケムシの一種のミサキアミガイが、9

月期にはエボヤ及びカキが、いずれもごく少量付着しているか否かの相違でしかない。すなわち、犠牲陽極金属がメーカーの異なる亜鉛であろうと、あるいはアルミニウムであろうと、防食されたマンガン青銅はほとんど同じ付着状況を示すといえる。

(A)

(B)

図12 アルミニウム青銅板素面
(試験板番号⑩)

(A)

(B)

図13 A社亜鉛付きアルミニウム青銅板
(試験板番号⑪)

(A)

(B)

図14 A社亜鉛付きマンガン青銅板
(試験板番号⑦)

図 15-A アルミニウム青銅板素面(試験板番号⑩)

図 16-A AC塗料塗布鋼板(試験板番号⑬)

図 15-B マンガン青銅板素面(試験板番号⑥)

図 16-B A社亜鉛付きマンガン青銅板(試験板番号⑦)

図 15-C A社亜鉛付きアルミニウム青銅板(試験板番号⑪)

図 16-C B社亜鉛付きマンガン青銅板(試験板番号⑨)

5. あとがき

海水中に浸漬された素面のプロペラ材にはほとんど生物は付着せず、たまに付着してもいつのまにか消滅あるいは死滅している。

ところが、犠牲陽極として使われる金属の種類及びメーカの相違にかかわらず、あるいは被防食金属がマンガン青銅、アルミニウム青銅のいずれであっても、流電陽極法によって防食されたプロペラ材には多種多様の生物が夥しく付着する。これは鋼材についても同様である。

これより次の推論が成り立つ。『直接亜鉛を取りつけていない素面のままのプロペラでも、停泊の長い船で多

図 16-D アルミニウム付きマンガン青銅板(試験板番号⑧)

文 献

くの生物付着がみられるのは、プロペラの回転によってこれらの剥落する機会が少ないというだけでなく、停泊中のプロペラ電位が、垂鉛によって防食された船体と同電位に分極され、プロペラ表面から生物の生育を妨げる銅イオンが溶出しなからである。』

この推論を更に実船実験で実証すれば、現在盛んに行われているプロペラ洗浄という対症療法に頼らず、根本的なプロペラ防汚対策の出現が期待できるのではないか。

今回の報告に至るまで、ご助言、ご鞭撻を賜った日本海事協会の高橋通雄氏、石田憲治氏、ナカシマプロペラ株式会社の海津源治氏、及び試験板をご提供頂いたナカシマプロペラ株式会社に厚くお礼申し上げます。

- 1) 三原伊文, プロペラ洗浄による15.6%省エネ例, マリンエンジニア, 第417号, 1981
- 2) 三原伊文, 田中一雅, プロペラ洗浄が300G.T.型練習船の運航性能に及ぼす影響, 大島商船高等専門学校紀要, 第17号, 1984
- 3) 福谷英二, 船体の腐食と防食について, 中川防食工業K・K
- 4) 中野市次他, マンガン青銅プロペラの防食に関する研究, MESJ, Vol. 10, No. 10
- 5) シンポジウム, 軸系と船体との電位差に基づく損傷とその防止対策, MESJ, Vol. 18, No. 2
- 6) 大島重義, 「船底塗料」, 修教社
- 7) 玉利昭一, 電気防食の原理と応用, 日本造船学会誌, Vol. 627
- 8) 宮嶋時三, 海洋付着生物に関する一連の報告, 東京商船大学研究報告