FRP 船の Cu-Al 合金製プロペラの腐食と防食について*

瓜 生 浩 朗

防 衛 庁*

Corrosion and Protection of Cu-Al Alloy Propeller
of FRP Ship

Koro Uryu

The Defense Agency**

In the first report it was shown that damage of metallic propulsive device (Cu-Al alloy propeller) on FRP ships was caused by electrochemical corrosion and could be prevented by supplying sufficient, cathodic protective current. The purpose of this research are to find the stray current that might cause corrosion of the propeller and to determine the protective current density to Cu-Al alloy. Measurements were carried out on the stray current to Cu-Al alloy and on the dissolution rate of zinc anodes for cathodic protection of propellers while running and while stopping. The following conclusions were obtained: (1) The stray current was not directly related to the corrosion of the propeller. (2) The dissolution rate of zinc anodes for cathodic protection of propeller was closely related to the corrosion of the propeller. (3) The protective current density required for protection of Cu-Al alloy was 425 mA/m^2 .

1. 緒 言

FRP 船の推進装置 (プロペラ, 推進軸など) は, 鉄鋼船の場合と異なっており, 船体部からの防食作用の応援がないため, さらに腐食しやすく, FRP 船の推進装置に対する防食対策が必要であるが, この対策の基本である防食理論, 設計法は鉄鋼船のそれをそのまま用いることができず, まだ提案されていない。そこで FRP 船のプロペラ等金属推進装置に対する防食理論および設計法を早急に解明する必要がある。このため FRP 船を実際に使用して各種の防食試験を実施し, 解明する第一段階として, 第一報で既報した FRP 船の推進装置の損傷は, 電気化学的腐食に基づくもので, 十分な防食電流を供給することにより, ほとんど完全に防止できることを報告した。

本論文では, この防食電流の発生源, 種類, 数量等を解明するために, 実地試験に使用した FRP 船の腐食した Cu-Al 合金製プロペラに通電の可能性がある各種の迷走電流および, 犠牲陽極である亜鉛の消耗量について測定し, Cu-Al 合金にたいする所要防食電流密度の基準値を得たので報告する。

2. 実験方法 (実地試験)

FRP 船の Cu-Al 合金製プロペラの腐食の原因は, このプロペラに流入する不十分な防食電流によることがわかったが, この防食電流の不足を生起した原因と考えられる各種の迷走電流の影響および推進装置を防食する亜鉛による分極挙動についての実地試験を FRP 船を用いて実施した。使用した FRP 船のプロペラ, 舵および防食亜鉛の装備状態は, Fig. 1, 2 のとおりである。

2.1 鉄製棧橋の影響

FRP 船を鉄製棧橋に係留している状態において, 海水を媒介とした鉄製棧橋の鉄材と, プロペラの Cu-Al 合金との間における迷走電流の影響を調べるために, 航行した後, 鉄製棧橋に FRP 船の左舷側を接岸係留して, 約 11 カ月後に右舷側に変えて接岸係留し, 約 10 カ月経過したのち, それぞれのプロペラ表面の腐食状態を測定した。

2.2 陸上電源の影響

FRP 船を鉄製棧橋に係留する場合は, 船内搭載の発電機などの船内電源を遮断して, 陸上の交流電源から直接二芯ケーブルで船内受電盤および整流器を経て, 船内の交流および直流の各電気負荷に送電した。この場合陸上電源を通電および無通電の二状態において, プロペラ, 舵および防食亜鉛の電位および舵と防食亜鉛間の電流を計測し, この陸上電源からのプロペラ, 舵および防食亜鉛に対する迷走電流の影響を測定した。

* FRP 船推進装置の防食に関する研究 (第 2 報)
Studies on protection of propulsion apparatus on
FRP ship (Part 2)

** 〒107 東京都港区赤坂 9-7-45 (9-7-45 Akasaka,
Minato-ku, Tokyo 107, Japan)

Fig. 1. Rudder, propeller, and shaft.

Fig. 2. Zinc anodes on the stern.

2.3 船内電源の影響

陸上電源と電氣的に完全に絶縁した係留中の FRP 船に搭載している交流発電機、蓄電池などの船内電源から、船内配電盤および整流器を経て船内各電気負荷（交流および直流）に通電する際、交流電源から、交流負荷へ、直流電源から直流負荷へ、それぞれ単独に通電した状態において、前項と同様の実験を実施し、この船内電源からのプロペラ、舵および防食亜鉛に対する迷走電流の影響を測定した。

2.4 防食亜鉛の影響

FRP 船底に装備した防食亜鉛の消耗量を測定し、さらにその防食亜鉛に対応するプロペラの腐食状態を測定した。

3. 実験結果

FRP 船を用いた実地試験の結果を次にのべる。

3.1 鉄製棧橋の影響

鉄製棧橋に FRP 船の左舷側を接岸した場合、左舷プ

Table 1. Effect of landing stage on corrosion of propeller and shaft.

Ship side	Months	Corroded of the propeller, shaft	
		Right	Left
Left	11	not corroded	propeller; corroded shaft;
Right	10	not corroded	not corroded

ロペラおよび推進軸に、はなはだしい腐食が発生したが、右舷側を接岸した場合は、ほとんど腐食は起こらなかった。

詳細は Table 1 に示す。

3.2 陸上および船内電源の影響

鉄製棧橋に繋留した FRP 船において、陸上および船内電源をそれぞれ単独に船内各電気負荷に通電および遮断した状態で推進装置関連の各部および鉄製棧橋の電位等を測定した結果は、Table 2 に示すとおりで、通電時、遮断時による差は予想どおり、ほとんどないことを確かめた。

3.3 防食亜鉛の影響

測定に用いた FRP 船における防食亜鉛の容量、装備位置を Fig. 1, 2 に示す。この防食亜鉛の上記試験中の消耗状態およびプロペラの腐食状態を Table 3, 4 に示したが、これを要約すれば次のとおりである。

1) 装備後から 11 カ月間の左舷の防食亜鉛 (2 個) の消耗量は、0.25 m/m, 0.35 m/m, と右舷の防食亜鉛のそれと比較して少なく、これに対応する左舷のプロペラは腐食していた。

2) 右舷の防食亜鉛の消耗量は、0.45m/m, 0.55m/m, と左舷のものに比較して多く、これに対応する右舷プロペラは正常であった。

Table 2. Effect of wharf and ship electric power sources.

	Wharf				Ship			
	Off		On		DC : Off AC : On		DC : On AC : Off	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
Protecting current	154 mA	152 mA	180 mA	170 mA	160 mA	150 mA	160 mA	150 mA
Propeller potential	-0.83 V	-0.83 V	-0.83 V	-0.83 V	-0.58 V	-0.52 V	-0.54 V	-0.47 V
Rudder potential	-0.53 V	-0.48 V	-0.52 V	-0.49 V	-0.96 V	-0.96 V	-0.95 V	-0.95 V
Zinc anode potential	-0.94 V	-0.94 V	-0.94 V	-0.94 V	-0.83 V	-0.83 V	-0.83 V	-0.83 V
Landing stage potential	-0.57 V		-0.57 V		-0.56 V		-0.57 V	

Table 3. Loss of zinc anode.
(Ship C) (cm)

Zinc anode thickness	3.0	3.0	3.0	3.0
Zinc anode consumption (10 months)	0.5	0.5	0.5	0.5
propeller; not corroded				

Table 4. Loss of zinc anode.
(Ship D) (cm)

		Left Side		Right Side	
		outer side	inner side	inner side	outer side
Zinc anode thickness		3.0	3.0	3.0	3.0
Zinc anode consumption		0.25	0.35	0.45	0.55
11 months	left	right			
	propeller; corroded	propeller; not corroded			
		0.45	0.45	0.45	0.45
10~19 months	left	right			
	propeller; not corroded	propeller; not corroded			

4. 考 察

4.1 鉄製棧橋，陸上電源および船内電源からの迷走電流¹⁾について

鉄製棧橋，陸上電源および船内電源からのプロペラ等に対する迷走電流²⁾の影響を測定した結果，これらの迷走電流と腐食発生との関連性は認められなかったが，この両者の関係をさらに考察する。

4.1.1 鉄製棧橋の影響

FRP 船は鉄製棧橋と マニラ・ロープでつねに係留したので，この両者にはガルバニック腐食は起こらないはずである。このことが実際に確かめられた。

4.1.2 陸上電源および船内電源の影響

陸上電源および船内電源からの迷走電流による金属推進装置の電食は，迷走電流の一部がその金属推進装置を流れることによるもので，その場合の電食発生条件は，電源が直流であるか，あるいは少なくとも直流成分³⁾をもつことおよび金属推進装置を負荷とする電気回路が形成されていることである。

実験に使用した FRP 船を含めた一般の FRP 船の金属推進装置と陸上電源および船内電源とは，電気的に絶縁されていることから，いずれも電気回路を構成しないので，迷走電流は流れずしたがって電食は発生しないはずである。このことが実際に確かめられた。

4.2 防食亜鉛からの防食電流

4.2.1 防食亜鉛の消耗量

Table 3, 4 から FRP 船に装備した防食亜鉛の消耗量の大小と，プロペラの腐食状態とは，密接な関係にあることがわかった。これらについてさらに詳細に考察する。

被防食金属に流れる防食電流 I (A) は，期間 T (hr) における犠牲陽極である防食亜鉛の消耗量 V (cm³) から次式⁴⁾によって求められる。

$$I(A) = 0.74 (Ah/g) \times 7.14 (g/cm^3) \times V (cm^3) / T(h)$$

C, D 号船の場合において，上式にそれぞれの実測値 T , V を代入して得た防食電流 I は，防食亜鉛のアノード電流で，これはプロペラおよび舵に流れる防食電流の和に等しい。

したがって，この防食電流 I から防食亜鉛と舵との間の防食電流の実測値を減じて防食亜鉛とプロペラとの間の防食電流を算出し，さらにこれをプロペラ表面積で除して，Cu-Al 合金に対する防食電流密度が得られた。

1) 舵と防食亜鉛間の左右舷のそれぞれの防食電流は Table 2 の数値を平均して次の値を得た。

左舷: 160 mA

右舷: 160 mA

2) C号船の左右舷1枚ずつのプロペラを防食するために装着した左，右舷にそれぞれ2枚ずつの防食亜鉛 (30×15×3 cm) の，係留時間 $T=7,220$ hr における消耗量は，Table 3 によれば，0.5 cm であり，これらを前式に代入して計算した防食電流を Table 5 に示す。

ここで防食亜鉛の消耗速度の計算に，係留時間のみを取りあげたが，航行中は船尾が海水を押し下げ航行するため，トランサム (船尾) に装着した防食亜鉛は，海水に浸漬せず，したがって航行時間は，防食亜鉛の消耗量と関係がないので除外した。

Table 5 に示すように，左右舷のそれぞれ1枚の Cu-Al 合金製プロペラへのカソード電流は，0.170 A でこのプロペラは腐食を発生せず正常であった。

3) D号船の左右舷1枚ずつのプロペラを防食するために，左右舷にそれぞれ2枚ずつ装着した防食亜鉛 (30×15×3 cm) の係留時間 $T=7680$ hr における消耗量は Table 4 によれば，

最左 0.25 cm, 左 0.35 cm

右 0.45 cm, 最右 0.55 cm

であり，これらを前式に代入して計算した防食電流を Table 5 に示す。これによれば，右舷の Cu-Al 合金製プロペラの防食電流は4枚の防食亜鉛からの防食電流の和の 175 mA で，このプロペラは腐食せず正常であった。

左舷の Cu-Al 合金製プロペラへの防食電流は，防食

Table 5. Protective current calculating from loss of zinc anode.

		Zinc anode (30×15×3 cm)	Protective current (mA)				Corroded condition	
			Total (A)	To rudder (B)	To propeller (A)–(B)			
C Ship	right	2	330	160	right	170	not corroded	
	left	2	330	160	left	170	not corroded	
D Ship	right	2	140+170	160	right	150	not corroded	left
	left	2	77+108	160		+ 25	corroded	propeller was disconnected electrically in the zinc
						left	0	corroded

亜鉛との電氣的防食回路を断線させていたので流れず 0 mA でこのプロペラは腐食した。

5. 結 論

以上の考察の結果から、次のような結論を得た。すなわち、Cu-Al 合金製プロペラ (面積 0.40 m²) の脱アルミニウム腐食を防食する電流として、170 mA を得たことから、Cu-Al 合金の所要防食電流密度は、425 mA/m² であることがわかった。

(Received November 20, 1975)

文 献

- 1) H. H. Uhlig (松田誠吾, 松島巖訳): 腐食反応とその制御, p. 168, 産業図書 (1970).
- 2) 吉井 徹, 植田健二, 内野 経: 防蝕技術, **21**, No. 11, 523 (1972).
- 3) 岸谷考一: 防食技術, **24**, No. 3, 137~151 (1975).
- 4) 賀田秀夫, 宮嶋時三: 防蝕技術, **10**, No. 4, 151~4 (1961).