導電塗膜電解システムによるフジツボ幼生の付着阻止

宇佐美正博*・北村 等**

(平成 10 年 6 月 16 日受理)

Prevention of barnacle settlement by electro-conductive coating system

Masahiro USAMI

Mitsubishi Heavy Industries, LTD., Nagasaki Research and Development Center

and

Hitoshi KITAMURA

Faculty of Fisheries, Nagasaki University, Nagasaki 852, Japan

(Received Jun 16, 1998)

船舶や発電所の冷却水系および種々の海洋構造物には、フジツボなどの海洋生物が付着繁殖し、航走時の抵抗増加や冷却効率の低下など様々な支障をきたしている。これらの付着防止対策として、1990 年前半までは有機スズ系の防汚塗料が有効な手段として使用されていた。しかし環境問題により、その使用が困難となった(杉田昭夫, 1992)。そこで、これに代わるものとして無公害塗料の開発や電気化学的な付着防止法、あるいは超音波の照射、さらには天然物由来の付着阻害物質の研究などが行われている(電気化学会, 海生生物汚損対策懇談会, 1997)。

本報告では、導電塗膜による電解防汚システム(西昭雄ほか, 1991; 宇佐美正博・友重清美, 1995)について検討した。このシステムは船や海洋構造物などに導電性の塗料を塗装し、これに微少電流を流す方法であり、この通電により海水が電気分解され、陽極表面に次亜塩素酸イオン(ClO^-)を発生させて防汚する方式である。しかし、ここで用いる導電性塗料はカーボンと有機系の樹脂で構成されているため、その表面で発生する次亜塩素酸イオンによって塗料が酸化し劣化する。塗膜の劣化は通電量と関係があり、導電塗膜の耐久性を考慮すると電流量は必要最小限に設定する必要がある。

海域実験では水質や付着生物の現存量などが種々異なるため、付着生物を阻止するための有効な最少通電量を求めることは困難であると考えられた。そこで、付着生物の代表としてフジツボ幼生を用いての室内実験により、効果的な通電量を検討した。

実験方法

フジツボとしては、本邦でも一般的な種類であるタテジマフジツボ(*Balanus amphitrite*)を用いた。本種のキブリス幼生を用いた付着実験法としては、マルチウエル法(RITTSCHOF *et al.*, 1984)や循環流水試験法(KATSUYAMA *et al.*, 1992; KITAMURA and NAKASHIMA, 1993)などがある。後者の方法は、ポンプを用いた流水式の2種類基盤の選択試験であり、幼生が付着しにくいナイロン製の網生け簀を試験容器としたこと、海水が循環することにより流水条件となっていることなどの特徴を持つ。本実験では、循環流水試験法を採用したが、通電により発生する次亜塩素酸イオンを系外に排出する必要があるため、循環しつつ、順次新鮮な海水と交換する方法とした。

付着実験装置を Fig. 1 に示す。装置は三菱重工業(株)の長崎研究所内に設置した。容量約 30 l の水槽に、付着実験の容器としてプランクトンネット(目合い 96 μm , ナイロン製)を用いて作成した網生け簀(4.7 l)を設置した。これに9枚の試験基盤を垂下し、さらにキブリス幼生を收容し、海水を循環させつつ順次海水を交換し

* 三菱重工(株)長崎研究所

** 長崎大学水産学部

Key words: 導電塗膜, 付着防止, タテジマフジツボ, 幼生, 電流密度

Fig. 1. Schematic view of the assay tank.

Fig. 2. Schematic view of the test piece. The polymethylmethacrylate plate is coated both sides (A and B) by the electro-conductive paint.

Fig. 3. Immersion of the nine test pieces in the plankton-net cage.

た。なお、この海水は隣接する長崎港より揚水し、ネット濾過および砂濾過を行なったものであり、約 200 l の予備水槽に収容し、ヒータにて $27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ に調節した。附着実験水槽への濾過海水の供給量はおよそ 500 ml/分とした。この量は、通電により発生した次亜塩素酸イオンが水槽内に残留しないように設定したものであり、随時、次亜塩素酸イオンを分析して残留していないことを確認した。

上述の網生け簀水槽に試験基盤を合計 9 枚垂下したが、その基盤の概略を Fig. 2 に示す。試験盤の両面 (A および B 面) には導電性の塗料が塗られており、これに電線が取り付けられている。基盤 9 枚、合計 18 面の垂下方法を Fig. 3 に示す。9 枚は放射状に吊り下げられており、隣の試験盤の相対する面 (A 面と B 面) を対として通電した。これら相対する A 面と B 面との組み合わせは、合計 9 区画となるが、この 9 区画を無通電区と通電区とに分け、また通電区も区画によっては電流密度を変えて実験した。

通電量は、電流密度として 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 A/m^2 および 1.0 A/m^2 とした。また、以上の連続通電実験とは別に、電流密度 0.1 および 0.2 A/m^2 については、相対する A 面と B 面との極性を 2 時間おきに切り替える実験も行った。

試験盤をセットし種々の条件で通電した後、直ちに本種のキブリス幼生を 800 個体投入した。そして 3 日後に各試験盤への幼生付着数を計測し、1 面あたりの付着数として算出した。なお、本種幼生については、浮游珪藻 *Chaetoceros gracilis* を与えて飼育し、5 日目にキブリス幼

生となったものを1日間冷蔵した後に実験に供した (KITAMURA and NAKASHIMA, 1996)。

結果および考察

タテジマフジツボ幼生に対する通電実験の結果を Table 1 に示す。表の最上部に示した電流密度 0.1 A/m^2 の実験において、次亜塩素酸イオンが発生している陽極 (anode) 側では、1面当たりの平均稚フジツボ数は0.5個体であったが、無通電区では平均9.2個体であった。この両者の付着数の比 (通電区の付着数/無通電区の付着数) をとると、0.05 ($0.5/9.2$) となった。そして次亜塩素酸イオンが発生していない陰極 (cathode) 側では稚フジツボ数は平均4.2個体であり、その比は0.46となった。この比が1に近いほど付着阻止効果は低く、比が小さいほど効果が大きいことになり、比が0.5であれば無通電の場合に比べて付着数が半分ということになる。

電流密度 0.1 A/m^2 の連続通電実験は他に1回行ったが、陽極面での付着数の比は0.29 ($5.8/20$)、陰極側では0.35 ($7.0/20$) となった (Table 1)。さらに2時間ごとに陽極と陰極とを交換した実験は3回行ったが、無通電区との付着数の比は各々0.19, 0.43 および0.31であった。

電流密度 0.2 A/m^2 の連続通電実験は、2回行ったが、陽極面で付着数の比は各々0.12と0.03であり、陰極面では各々0.37および0.14となった (Table 1)。陽極、陰極の交換実験は合計3回行ったが、各々0.11, 0.16 および0.02となった。電流密度が0.3, 0.5 および 1.0 A/m^2 の実験では両極ともに、上述の電流量の実験と比較して全体的に付着数の比は減少し、0.01–0.16となった (Table 1)。

以上の実験を通して、陽極 (anode) 側では次亜塩素酸イオンの発生で付着阻止効果は予想されていたが、陰極 (cathode) 側においても、電流密度 0.1 A/m^2 で付着数の比が0.46および0.35、電流密度 0.2 A/m^2 で0.37, 0.14のごとく、付着数が無通電区と比べて、低下していることが判明した (Table 1)。これは陰極表面では、溶存酸素の還元反応により水酸基イオンを生成してアルカリ性になっていたためと考えらる。したがって、陽極面より防汚効果は小さい傾向にあるものの陰極側でも防汚効果が期待できることが明らかとなった。

電流密度にともなう付着数の比を Fig. 4 に示す。電流密度が上昇するに従い付着数の比が減少する傾向が認められ、電流密度が 0.1 A/m^2 では、比は0.05から0.46で推移しており、無通電の場合に比べて付着数が半分以下

Table 1. The number of juvenile of the barnacle, *Balanus amphitrite* settled on electrified surfaces (anode and cathode) and none-electrified surfaces

Current density (A/m^2)	Number of juveniles/surface		Ratio of settlement*
	Electrified surface (polarity)	None-electrified surface	
0.1	0.5 (anode)	9.2	0.05
	4.2 (cathode)	9.2	0.46
0.1	5.8 (anode)	20	0.29
	7.0 (cathode)	20	0.35
0.1	3.8 (change**)	20	0.19
	3.9 (change)	9.0	0.43
	12 (change)	39	0.31
0.2	1.1 (anode)	9.0	0.12
	3.3 (cathode)	9.0	0.37
0.2	1.3 (anode)	39	0.03
	5.3 (cathode)	39	0.14
0.2	1.0 (change)	9.0	0.11
	6.2 (change)	39	0.16
	0.8 (change)	47	0.02
0.3	0.2 (anode)	22	0.01
	1.8 (cathode)	22	0.08
0.5	1.7 (anode)	14	0.12
	2.3 (cathode)	14	0.16
1.0	0.7 (anode)	14	0.05
	0.7 (cathode)	14	0.05

* Ratio of the settlement is calculated as follows; (number of settled barnacles on electrified surface)/(that of none-electrified surface).

** Polarity was changed alternately every two hours.

に低下していた。また、2時間ごとに陽極と陰極とを交換した実験では、極性を固定した場合とほぼ同様の付着阻止効果であると言える。したがって、今回の極性切り替え方法では、固定極性と比べて、効果に大きな違いはないと判断される。電流密度 0.2 A/m^2 では、付着比率は0.02–0.37で推移したが、陰極の0.37を除くと、他は全て無通電区の2割以下に減少していた。

以上の実験より、電流密度 0.1 A/m^2 の連続通電では半分以下の付着数に制御することができ、電流密度 0.2 A/m^2 では2割程度に減少させることが可能と判断された。なお、電流密度0.5および 1.0 A/m^2 では効果は大きいものの塗膜の劣化が予想された。これらの結果を直ちに海域に適用するには、緒言で述べたように種々の問題があるが、今後は電流密度0.1および 0.2 A/m^2 を中心として海域実験を行う必要があろう。

Fig. 4. Relationship between the current density and the ratio of settlement.
○; anode, ●; cathode, △; polarity was changed alternately every two hours.

引用文献

- KATSUYAMA, I., R. KADO, H. KOMINAMI, and H. KITAMURA (1992). A screening method for test substances on attachment using larval barnacle, *Balanus amphitrite*, in the laboratory. *Marine Fouling*, **9**, 13-14.
- KITAMURA, H., and Y. NAKASHIMA (1993). Crude extracts of settlement factors from the barnacle *Balanus amphitrite*. *OEBALIA*, **16**, Suppl., 609-612.
- KITAMURA, H., and Y. NAKASHIMA (1996). Influence of storage temperatures and period on settlement rate and substrate discrimination in cyprids of the barnacle *Balanus amphitrite*. *Fisheries Science*, **62**, 998-999.
- 杉田昭夫 (1992). 問題の経緯と汚染状況. 「有機スズ汚染と水生生物影響」(里見至弘・清水 誠編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 9-19.
- 電気化学会, 海生生物汚損対策懇談会 (1997). 無公害生物付着防止対策シンポジウム, 講演要旨集, pp. 1-246.
- 西 昭雄・宇佐美正博・植田健二・友重清美 (1991). 導電塗膜による海洋生物付着防止技術の開発. 三菱重工技報, **28**(3), 1-5.
- RITTSCHOF, D., E. S. BRANSCOMB, and J. D. COSTLOW (1984). Settlement and behavior in relation to flow and surface in larval barnacles, *Balanus amphitrite* DARWIN. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **82**, 131-146.
- 宇佐美正博・友重清美 (1995). 導電塗膜による無公害海洋生物付着防止システム. 日本造船学会誌, **795**, 692-696.