

試験塗料面上の海洋付着生物の調査 に関する研究

STUDY ON EXAMINATION OF MARINE SESSILE ORGANISMS ON ANTI-FOULING PAINT

塩谷茂明¹
Shigeaki SHIOTANI

¹正会員 博(工) 神戸大学教授 自然科学系先端融合研究環
(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

The prevention of infestation by *Balanomorpha*, *Mytilus galloprovincialis*, *Serpulidae* and other marine organisms is required to decrease of ship fouling, condenser tube corrosion and flow reduction of hot water exhaust port in an atomic power station. Many researches for anti-fouling of marine organisms were developed in Paint Industrials. This paper deals the properties of fouling and fading of marine organisms on the concrete testing plate coating and non-coating silicone resinous paint. The examination of marine sessile organisms were carried out by towing the testing plate fixed to the running real ship with various speeds. It was found that this testing paint had the characteristics of which had marine organisms sessile, however easy faded them.

Key Words : *Marine sessile organisms, anti-fouling sessile organisms, fading sessile organisms, testing plate*

1. 緒言

船体に付着の海洋生物による汚損や船体摩擦抵抗の増加による推進力の低下, また原子力発電所の温排水溝内の壁面に付着の海洋生物による冷却機能の低下等の対策として, 船舶や海洋構造物に塗装する防汚塗料に関する研究開発が行われている^{1), 2)}. しかし, 近年化学物質の起因による海洋環境汚染の問題が表面化し, 様々な観点からの対応に関する研究が注目されている^{3), 4), 5)}.

海洋生物の付着メカニズムの解明, 防汚塗料の海水中での融解・化学変化, 海洋生物への有害物質の影響, 海洋汚染のない人工化学物質から成る防汚塗料の開発等, 防汚塗料の研究は広範囲な分野にわたる学際的な研究である.

本研究では, 毒物や汚染成分を含まない, 非加水分解性から海水中に塗料成分が融解しないシリコン樹脂系の防汚塗料に着目し, 試験塗料面に付着の海洋生物の実態調査及び付着後成長過程の海洋生物の塗料面からの剥離調査の実験を行った. 実験に用いた試験防汚塗料は海洋生物が付着するが, 成長後に塗装面から比較的容易に剥離する性質を有すると考えられている. これらの性質の実証実験から, 本研究の目的は, シリコン樹脂系防汚塗料面への海洋生物の付着及び成長後の物理的な剥離の特性について把握すると共に, 毒性のない環境に優しい試験塗料の

適性利用について論じることである.

海洋付着生物の実験はコンクリート製の矩形板を用い, 港内で一定期間海水中に浸漬して行った. また, 試験板からの付着生物の剥離実験は, 小型船舶の船尾に試験板を固定し, 一定速力で曳航後に付着生物の剥離状況の調査を行った.

これらの調査結果から, シリコン樹脂系の防汚塗料が容易な作業で除去出来ることが解ったので, 塗料の特性と適用性について, ここに報告する.

2. 試験塗料

通常, 船体及び海洋構造物等の表面に, 海洋付着生物による汚損が起らないように, 防汚材が主体の防汚塗料を塗装する. 一般に, 塗料を用いた防汚方法は, (1) 毒性の塗布による防汚, (2) 防汚対象の表面の平滑化による防汚, (3) シリコン樹脂を用いた防汚がある. (1) は, 防汚効果が優れている有機錫化合物が 1970 年以降使用されてきた. この防汚塗料は加水分解性から, 海水中で溶解する自己研磨性の性質により, 海洋生物が付着しないようにする. ところが, 塗料内に含まれる有機錫の海中への融解による他の海洋生物への環境影響が問題となっているため, 使用禁止など対策が講じられている. (2) は加水分解性を有するアクリル膜により表面を平滑

化する方法であるが、塗料内の成分の溶出のため、時間経過に伴う防汚能力の低下を引き起こす。

本研究の調査実験で用いた試験防汚塗料は、(3)のシリコン樹脂を用いた防汚法に分類され、有機錫や銅化合物を溶融することによる防汚法やアクリル膜の塗布により、加水分解性で塗料中の防剤を溶出させることなく、表面張力（揮発性）や塗膜の変形、平滑性等、複数の防汚機能を有するとしている。実際に、塗装面は滑らかで、ゴム製の表面と同様に弾力性がある。

試験塗料の塗装法は、塗装面に合わせた下地用塗料の塗布上に、防汚塗料として含有成分がビニルトリスシラン（第3石油類、水溶性液体、引火性）であるシリコン樹脂システムを重ねて塗装した。

3. 試験板による付着生物の調査実験の概要

海洋付着生物の調査実験は一边が 30cm、厚さが 3cm、重さが 6kg のコンクリート製の試験平板を用いて行った⁶⁾。コンクリート製を用いた理由は、原子力発電所の冷却用排水溝等に一般に使用されていることによる。排水溝には、原子炉冷却用の海水が導入され、冷却後に温水を海中に排出するため、海洋付着生物の成長が促進され、排水溝の壁面に大量の海洋生物が付着し、状況次第では、流量の減少や原子炉冷却機能の低下が懸念される。

試験塗料は下地にテナクソンを2回、その上に防汚剤のヴェドックスノンスティック・グルントを1回、さらにヴェドックスノンスティック・デックを1回重ねて塗装した。塗装面の色は白く、弾力性がある。比較のため、無塗装の同一試験板も用いた。コンクリート面の凹凸は少なく、滑らかである。

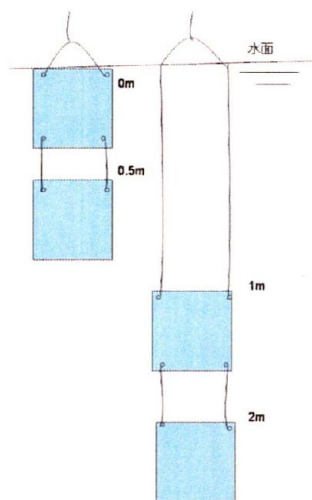


図-1 試験板の概略図

試験板は、神戸大学海事科学研究科キャンパス内の附属練習船が係留されているポンドで行った。図-1は浸漬試験板の設置概要を示す。試験板端に開けた穴に、マニラロープを通し、鉛直に吊した。試験板の深さは水面から0m、0.5m、1.0m及び2.0mである。試験海域の水深は約3mである。図-2はポンド内の設置場所である浮き桟橋を示す。試験板は浮き桟橋の2カ所に設置した。(a)は桟橋の南に面し、日中は日照の良い場所、(b)は浮き桟橋に渡る橋の下で、常時日陰であり、付着生物への日照影響



(a) 日照場所 (b) 日陰場所
図-2 試験板の設置場所

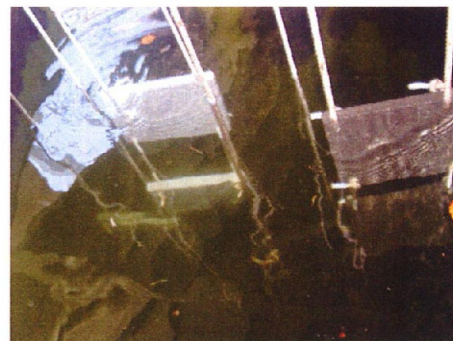


図-3 浸漬試験板

の調査が可能である。試験板を浮き桟橋から吊し固定したので、試験板の水深は潮位変動の影響を受けない。図-3は海中に固定の試験板を示す。左が試験塗料板、右が無塗装の試験板である。試験板の設置場所は2カ所、深さは4カ所及び塗装板と無塗装板の2種類の合計16枚を海中に浸漬した。試験板の区別のため、以下の番号と記号を付した。日照場所からNo.1(0m)、No.2(0.5m)、No.3(1.0m)、No.4(2.0m)、日陰場所のNo.5(0m)、No.6(0.5m)、No.7(1.0m)、No.8(2.0m)、塗装板をp、無塗装板をn及び桟橋に面しない側を表面のa、反対側を裏面bとした。

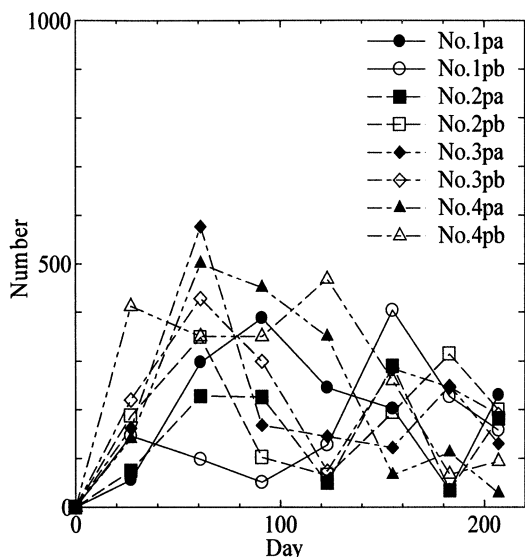
調査海域の水温、電気伝導度、塩分濃度及びDOを毎日午前10時過ぎに計測した。

4. 付着生物の調査結果

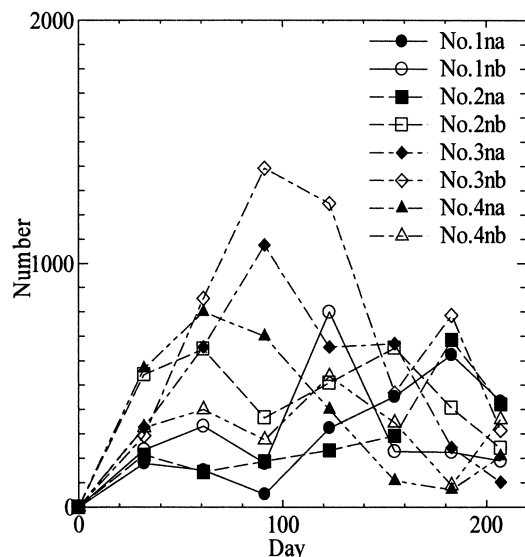
4月下旬に試験板を海中に設置し、付着生物の調査を約1ヶ月間隔で11月下旬まで7ヶ月間実施し



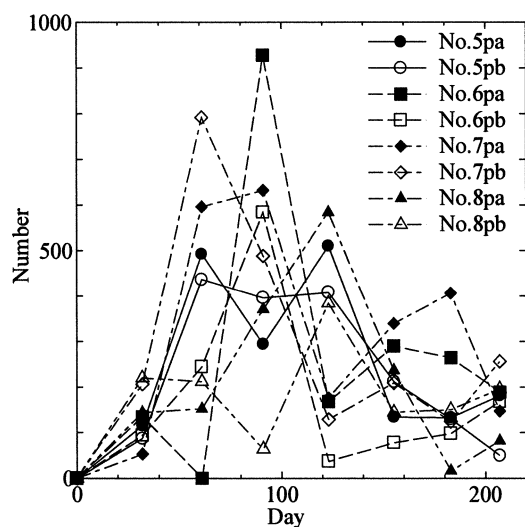
図-4 付着生物の個体数の計数



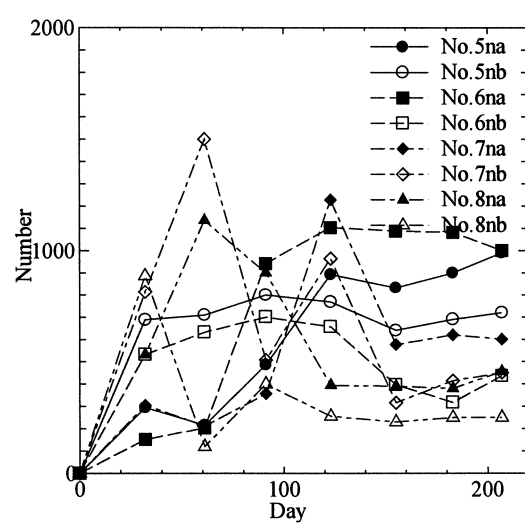
(a) 日照場所（塗装板）



(c) 日照場所（無塗装板）



(b) 日陰場所（塗装板）



(d) 日陰場所（無塗装板）

図-5 試験板上付着のフジツボの個体数

た。付着生物の調査は図-4 に示すように、試験板を陸上に揚げ、1 辺が 20cm の正方形の木枠を試験板上に置き、枠内の付着生物の個体数を計数した。付着生物の種類は海域により異なるが、本海域では主にフジツボとムラサキガイである。

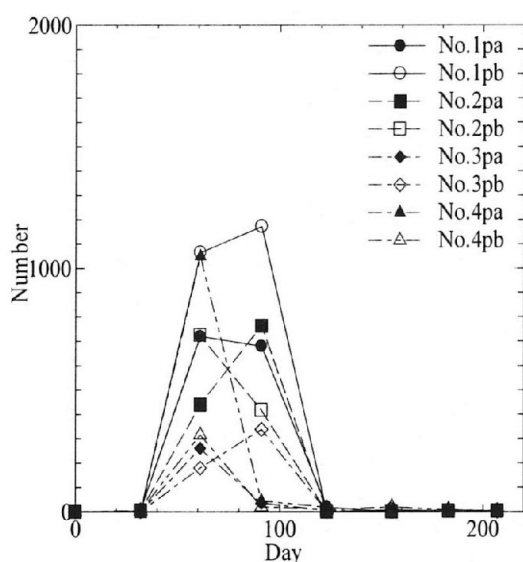
図-5 は試験板に付着のフジツボの個体数を示す。縦軸が個体計数、横軸が浸漬日数である。それぞれ (a) 日照場所の塗装板、(b) 日陰場所の塗装板、(c) 日照場所の無塗装板、(d) 日陰場所の無塗装板を示す。これらを比較すると、以下の通りである。

試験塗料塗装板の方が無塗装板よりフジツボの付着数は少ない。浸漬後 50~100 日まで付着数は急速に増加するが、その後減少傾向にある。付着当時のフジツボの直径は 2, 3mm と小さいが、浸漬日 61 日で 5~8mm に成長し多量に付着するが、その後 91 日で 10mm, 123 日で最大 15mm と急速に成長する。成長すると試験板上の個体占有面積の制限から、回避

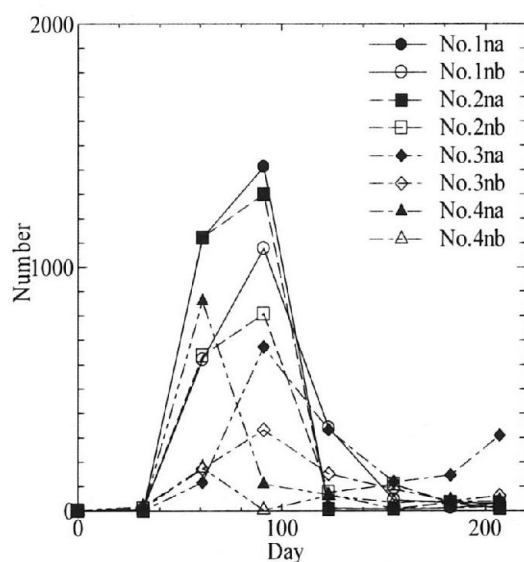
行動として 2, 3 層に重なり付着する場合もあるが、一部は試験板から剥離し、150 日では個体数が減少するものと考えられる。

海水温は梅雨期に低く 22~28° で変動し、7 月下旬に 31° まで上昇し、上昇時とフジツボ個体数の成長期間と一致している。日照の影響は、日照場所と日陰場所における付着個体数に顕著な差が見られないが、日照部分の方が僅かだけ多い。水深の影響は、深さに関し明確な有意差が見られない。設置場所の水深が 3m と浅く、試験板設置の最深部が 2m であることから、フジツボの成長に影響する環境要因に顕著な差が見られなかったと思われる。

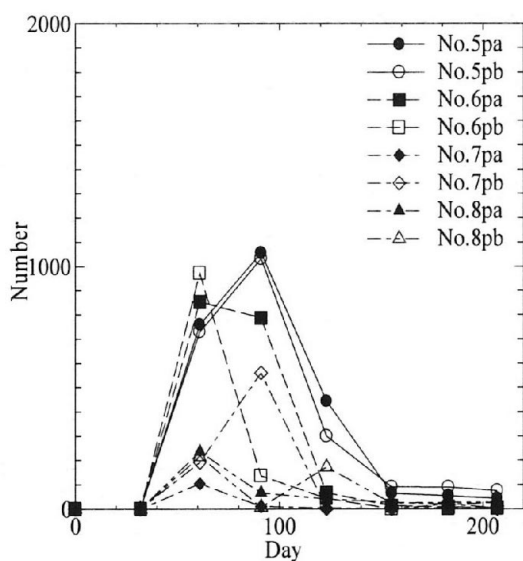
図-6 は試験板に付着のムラサキガイの個体数を示す。浸漬後約 60 日になると試験板を吊すマニラロープに大量のムラサキガイが付着し始め、ロープの結び目周辺から板全面に広がって付着する。水深 0m 及び 0.5m の比較的浅い試験板に付着量が多



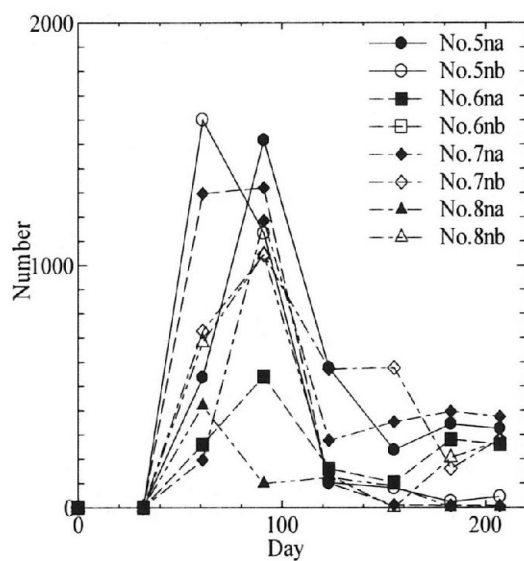
(a) 日照場所（塗装板）



(c) 日照場所（無塗装板）



(b) 日陰場所（塗装板）



(d) 日陰場所（無塗装板）

図-6 試験板上付着のムラサキガイの個体数

い。ムラサキガイの成長は浸漬日数が 60 日頃で直径が 3~6mm と小さいが、150 日に 15mm, 200 日に約 40mm 程度まで急速に成長する。したがって、フジツボと同様に板状の個体が占める面積の制限から成長の途中に、一部が板状から剥離し、個体数が減少したものと考えられる。付着個体数は塗装板と比較すると、無塗装板の方が多い。付着個体数への日照の影響は小さい。水温との関係は、フジツボと同様に水温上昇と共に、付着量は急速に成長増加する。

5. 付着生物の剥離調査実験の概要

試験板に付着の海洋生物に対し、板面に沿う接線応力が働くと、生物が剥離すると仮定し、剥離調査

の実験を行った。現実には試験板上の付着生物に、高速で一定強さの接線応力を負荷する室内実験は容易でないため、本研究では、試験板の水中曳航により、付着生物に接線応力を負荷させた。曳航試験は小型



図-7 試験板曳航装置

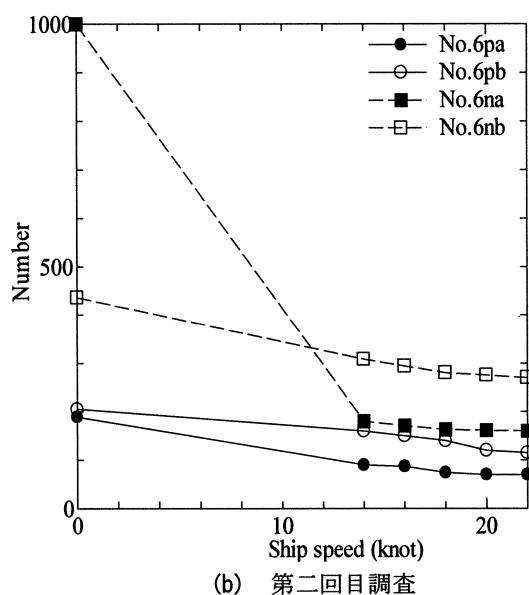
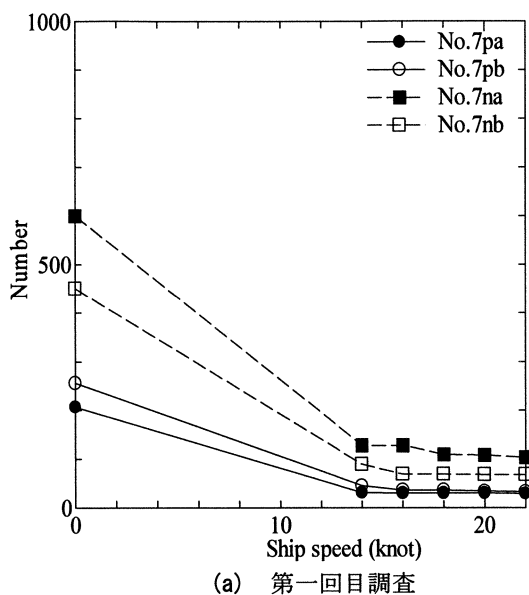


図-8 曳航試験によるフジツボの個体数の変化

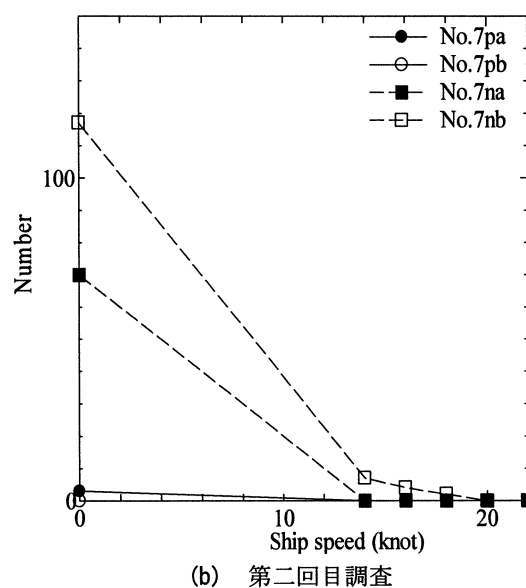
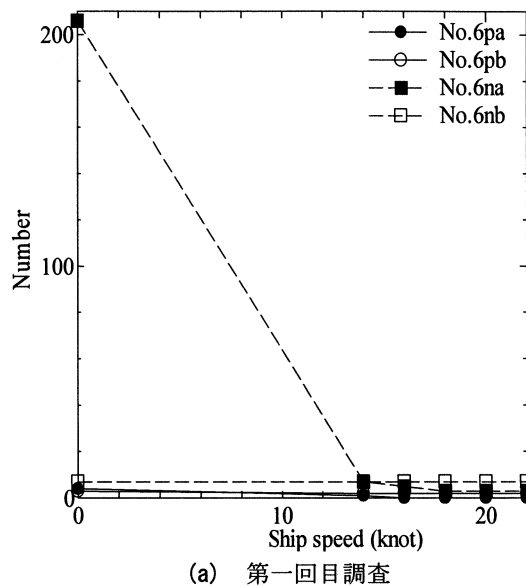


図-9 曳航試験によるムラサキガイの個体数の変化

船舶の船尾の海中に試験板を固定して行った。

図-7 は曳航試験で用いた試験板の取り付け支柱及び船尾に設置の試験板曳航架台を示す。試験板曳航架台に試験板取り付け支柱を鉛直にして、平板が船首尾方向に平行になるように固定した。支柱が流れて振動しないように船首側を三角柱に仕上げ、水の抵抗を軽減した。また、試験板に付着の海洋生物に、平板に沿う流れが滑らかに作用するように板の周囲をステンレス盤で被い、流れの乱れを軽減した。船尾での支柱の固定位置は船体中央部の強いプロペラ伴流を回避し、右舷寄りである。また支柱による造波や流れの乱れが直接試験板に影響しないように、試験板の没水位置を十分深くした。

浸漬後約 220 日に、試験板曳航試験を行った。調査に用いた試験板は日陰場所の No. 6 (0.5m) 及び No. 7 (1.0m) である。供試船の速力を 14~22 ノット (7.2~11.3m/s) の範囲で、約 30 分間一定速力で航

走後、試験板を引き揚げ、検査用の木枠内の付着生物の個体数を計数した。試験板は塗装板と無塗装板を曳航した。

図-8 は曳航試験によるフジツボの個体数の変化を示す。横軸は曳航速力、縦軸は個体計数である。曳航時に試験板上に作用する剪断応力の正確な推定は平板周りの複雑な流れから困難であるため、実船速で表現した。塗装板及び無塗装板共、速力が 14 ノット (7.2m/s) で個体の大部分が剥離した。ところが、さらに曳航速力が増加してもフジツボの剥離個体数の変化は少ない。

フジツボの剥離後の平板面上の調査を行った。無塗装板では、板面にフジツボの痕跡が多数残っていた。フジツボは完全に剥離しないで、流れによる接線応力により殻の上部のみが強制的に破壊され剥離するが、殻の底部は一部残存し、痕跡として多数残っている。他方、塗装面には剥離の痕跡がなく

れいである。これは殻の全部が流れにより完全に剥離したものと考えられる。実際に、付着したフジツボを指で板面に沿って押しても、無塗装板ではフジツボが剥がれず、さらに強く押すと破壊され、白色の斑紋が残る。塗装板では、軽く押すだけで容易に試験板から剥がれ、板面に痕跡がなくきれいである。このことから、フジツボは無塗装板では流れにより強制的にフジツボが破壊され、剥離するのに対し、塗装板では、容易に完全剥離すると考えられる。

図-9 は曳航試験によるムラサキガイの剥離調査結果を示す。ムラサキガイの場合、曳航速力が14 ノット(7.2m/s)になると、塗装板及び無塗装板とも、ほとんどが容易に剥離する。

6. シリコン樹脂系塗料の適用性

シリコン樹脂系防汚塗料を塗装したコンクリート製の試験板を用いた海洋付着生物の調査及び付着した試験板の曳航試験による付着生物の剥離調査を行った結果、試験防汚塗料の特性が把握できたので、この塗料の応用性について考察した。

シリコン樹脂系塗料の試験板には多量の海洋生物が付着した。生物種は主にフジツボ、ムラサキガイ、ゴカイ、ホヤ及び海草類などである。その結果、加水分解性塗料のように海洋生物の付着が少ない塗料と比較すると、船舶のように、船体に僅かな量だけ海洋生物が付着しても船体摩擦抵抗が増加し、推進力に影響を与える用途への適性は好ましくないと考えられる。

付着生物の剥離調査の結果、付着生物に剪断応力を負荷すると容易に大部分が剥離し、剥離の痕跡も少なくきれいに剥離することから、塗装面の損傷が少なく、比較的長期間塗装面を良好に維持できることが分かった。このように海洋生物は適度に付着するが、塗装面の長期的な維持管理が可能である。この特性を生かし、例えば移動しない海洋構造物に、海洋生物が適度に付着するが、多量に付着すると自然落下するので、無制限に付着量が増加することはない。これにより、海水に起因の構造物の腐食防止用として、長期間の維持管理が可能であると思われる。特に、原子力発電所の温排水溝のコンクリート製壁面の塗装では、水圧の負荷やブラッシング等の簡単な作業で、付着生物が容易に剥離できるので適用性が十分あるものと考えられる。その他、塗料の特性を十分理解した上で、用途を精査すると、適用性の範囲は一層広がるものと考えられる。

シリコン樹脂系防汚塗料は毒物の溶出により防汚する方法や加水分解性のアクリル膜の塗布によって、自己研磨して溶材を流出しながら表面の円滑性を維持する方法と比較すると、化学物質に起因の水質汚濁は少なく、海洋環境に優しい塗料であるため、今後これらの塗料の特性を活かした用途は広範囲に利用されることが考えられる。

7. 結論

シリコン樹脂系塗料を塗布したコンクリート製の試験板に付着する海洋生物の調査及び曳航による付着生物の剥離調査実験を行った。これらの試験により、以下の主要な結論を得た。

(1) 試験板の付着生物の試験結果

- 1) 試験塗装板の方が無塗装板より、付着生物の個体数は少ない。
- 2) 試験板の浸漬後個体の径が小さい付着生物が付着するが、成長過程で一部剥離し、個体数は減少する。
- 3) 付着生物の個体数への試験板の浸漬水深の影響に有意差が見られなかった。
- 4) 試験板の設置場所の日照量は、付着生物の個体数に僅かだけ影響する。

(2) 試験板の曳航試験結果

- 1) 海洋生物が付着の試験塗装板及び無塗装板共に、曳航速力が0 から14 ノット(7.2m/s)の間で剥離が始まると推定され、14 ノットでは多量が剥離する。
- 2) 14 ノット(7.2m/s)以上の速力で曳航しても、付着生物は僅かだけ剥離するが、完全に剥離しない。無塗装板よりも塗装板の方が多数剥離している。
- 3) 試験板上に剥離の痕跡が無塗装板では多数見られるのが、塗装板では少なく、きれいに剥離する。
- 4) ムラサキガイは塗装板及び無塗装板とも試験板の曳航により容易に剥離する。

本研究は、試験板を一定期間浸漬後、試験板曳航試験を実施した。今後、付着生物の幼生から成長過程毎に剥離試験の試行等から、より一層シリコン樹脂系防汚塗料の特性の把握を実施する所存である。

本研究の遂行に際し、実験にご協力いただいた著者の研究室の博士課程の学生及び卒業研究生に対し感謝の意を表します。さらに実験準備にご協力いただいた浅野技術職員に感謝いたします。

参考文献

- 1) 千田哲也：なぜ今、防汚塗料が問題か、一船底防汚塗料を巡る諸問題とその展望、日本マリンエンジニアリング学会誌、第40巻、第1号、pp.4-6、2005。
- 2) 内田誠：船舶推進性能に及ぼす表面汚損の影響、日本マリンエンジニアリング学会誌、第40巻、第1号、pp.10-11、2005。
- 3) 高橋一楊：有機スズ系船底防汚塗料の開発と規制、日本マリンエンジニアリング学会誌、第40巻、第1号、pp.18-19、2005。
- 4) 梶原武：海産付着生物をめぐる諸問題、海産付着生物と水産増養殖(梶原武編)、恒星社恒星閣、pp.9-17、1987。
- 5) 花房元顕：海洋付着生物の一般的生態、NAVIGATION、154号、pp.20-30、2002。
- 6) 梶原武、他：付着生物研究法、一種類査定・調査法一、付着生物研究会編、恒星社恒星閣、p.156、1986。