

試験塗料面上の海洋生物の付着及び剥離調査に関する研究

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

塩谷茂明¹, 牧野秀成², 嶋田陽一²

Shigeaki SHIOTANI, Hidenari MAKINO
and Youichi SHIMADA

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)

²正会員 博(工) 神戸大学学術推進研究員 海事科学研究科
(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

³正会員 博(理) 神戸大学学術推進研究員 海事科学研究科
(〒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 fade 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

海洋付着生物は船体や海洋構造物の汚損, 船体摩擦抵抗の増加, あるいは原子力発電所内の温排水の冷却機能の低下等を誘起することがある。応急処置として, 防汚塗料が塗布され, 有効性に関する様々な研究開発が行われている^{1), 2)}。近年, 化学物質の起因による海洋環境汚染が表面化し, 様々な観点からの対応に関する研究も注目されている^{3), 4), 5)}。

本研究では, 毒物や汚染成分が含まれない, 非加水分解性から海中に塗料成分が融解しないと評されているシリコン樹脂系の防汚塗料に着目した。試験塗料面に付着の海洋生物の実態調査を最初に実施し, 付着後, 成長過程中的海洋生物の塗料面からの剥離の定量的調査とその実験手法を論じる。本実験に用いた試験防汚塗料面は海洋生物が付着するが, 成長後塗装面から比較的容易に剥離する特性を有すると考えられている。船舶に塗装の場合, およそ 18ノットの速力で剥離するといわれているがその実態の実証実験を行い, 海洋生物の付着及び成長後の物理的剥離の特性から, 毒性のない環境に優しい試験

塗料の適性について論じることが本研究の目的である。さらに, 実態解明ができると, 効率的な付着生物の除去法の開発が展望できる。その基礎的データの収集も目指している。

海洋付着生物の実験はコンクリート製の矩形板を一定期間海中に浸漬する方法で行った⁶⁾。付着生物の剥離実験の場合, 前報では小型船舶の船尾に試験板を固定し, 一定速力の曳航から付着生物の剥離調査を行った⁷⁾。今回はさらに高水圧洗浄機からの高圧噴水の照射による付着生物の剥離実験を加えた。これらの手法は新規性がある。

これらの調査結果から, シリコン樹脂系塗料が比較的簡便な作業で付着生物を除去出来ることが定量的に解ったので, 報告する。

2. 試験塗料

一般に, 塗料による防汚方法は, (1) 毒性の塗布による防汚法, (2) 防汚対象の表面の平滑化による防汚法, (3) シリコン樹脂を用いた防汚法がある。

(1)では、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。

本研究で用いた塗料は(3)に属し、有機錫や銅化合物を溶融す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ないで、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にテナクソンを2回塗布上に、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。

3. 海洋付着生物の調査実験

付着生物の調査は一辺が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た⁶⁾。コンクリート製を用いた理由は、原子力発電所冷却用排水溝、護岸、海岸土木用構造物等に一般に使用されていることによる。試験塗料の塗装面の凹凸は少なく、滑らかである。試験板は、神戸大学海事科学研究科キャンパスの港内係留棧橋からマニラロープで吊りし海中に浸漬した。水深は約3mである。図-1は浮き棧橋と平板浸漬の概略を示す。岸壁から浮き棧橋に渡る橋の下に試験板を吊りしたので、常時日陰にある。浮き棧橋から吊りしたので、試験板の深さは潮位変動の影響を受けない。試験板の区別として、塗装板をp、無塗装板n及び棧橋に面しない側を表面a、裏面bとした。調査は付着生物が活動する4月初旬から11月初旬の約8ヶ月である。

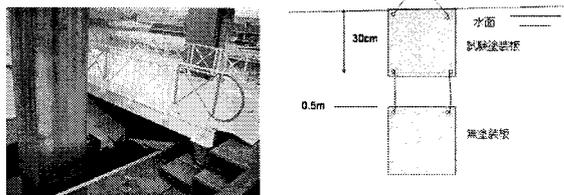


図-1 浸漬実験場所と試験平板の概略

4. 海洋観測

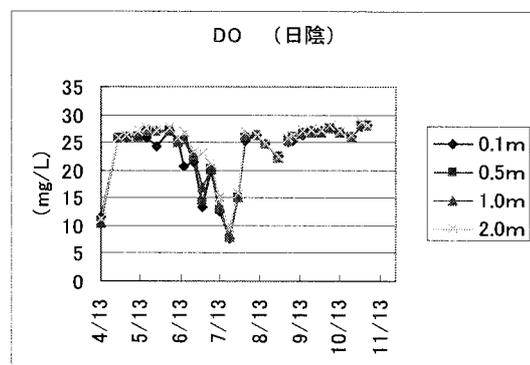
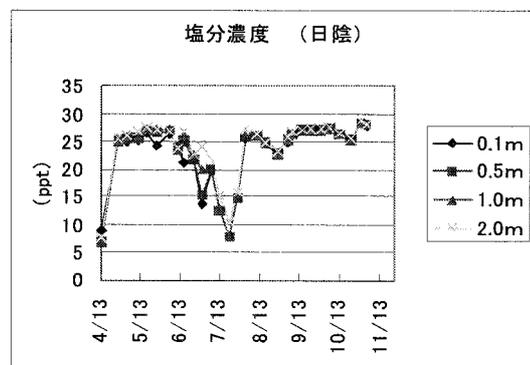
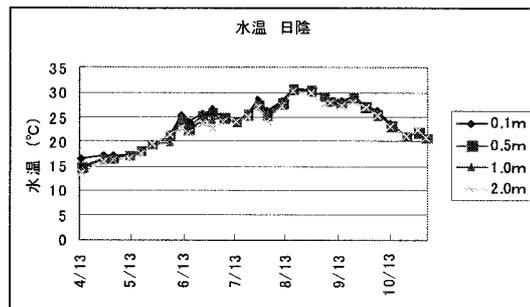


図-2 試験海域内の海洋観測

実験周辺海域の海水調査として、海洋観測をおよそ毎日午前10時頃に実施した。計測項目は、水温、塩分濃度、溶存酸素量(DO)である。図-2は観測結果を示す。横軸が観測日、縦軸が観測項目で、計測水深は、0.1m、0.5m、1.0m、2.0mである。水温は夏季まで徐々に上昇し、8月下旬頃から低下する。塩分濃度は梅雨期の降雨で低下するが、夏季に回復している。DOは塩分濃度と同様の変動をする。観測期間中に異常な気象変動は発生しなかった。

5. 付着生物の調査結果

4月初旬に浸漬した試験板の付着生物の調査を約1ヶ月毎に11月中旬まで実施した。付着

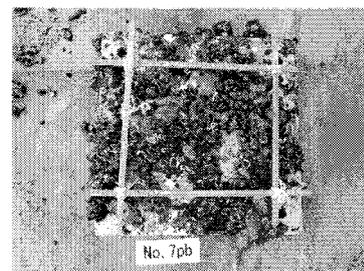
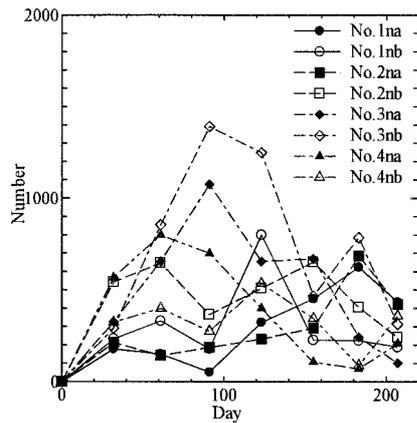
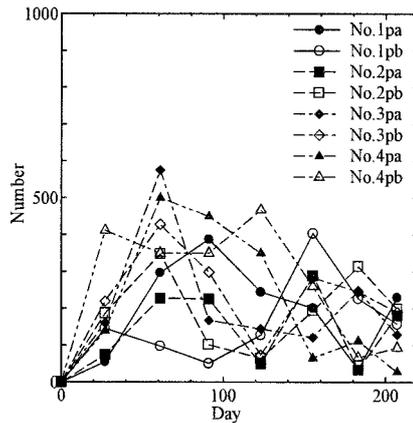


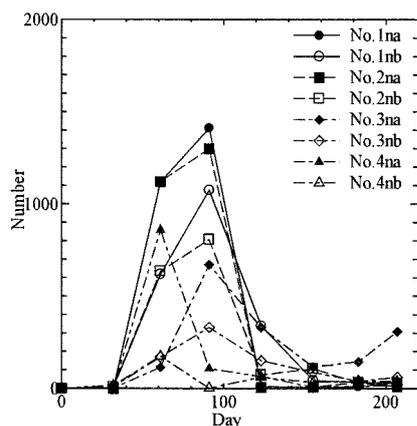
図-3 試験板上の付着生物の係数



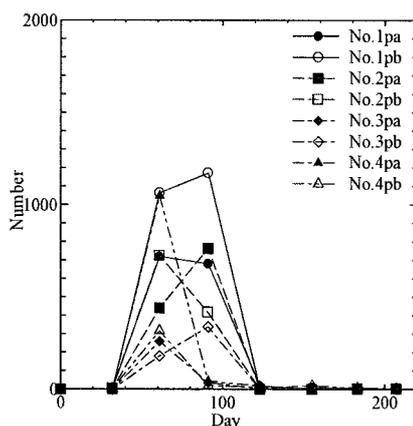
フジツボ (無塗装板)



フジツボ (塗装板)



ムラサキイガイ (無塗装板)



ムラサキイガイ (塗装板)

図-4 試験板上の付着生物の調査結果(前報)

生物の主対象はフジツボ (主にイワフジツボ) とムラサキイガイ (地中海原産) である。調査は前回と同

様図-3 に示す 1 辺が 20cm の正方形の木枠内の付着生物の個体数を計数した。図-4 は前報で示した試

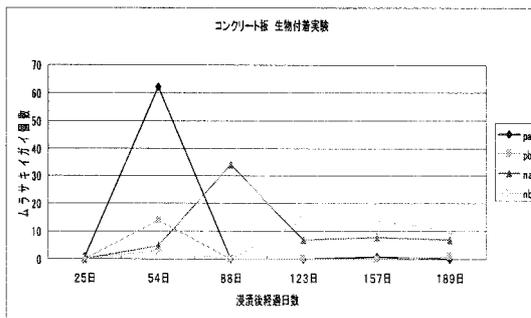
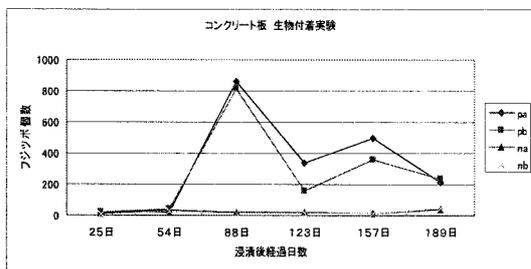
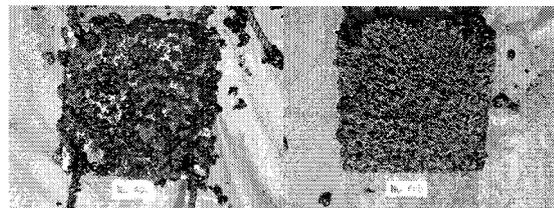


図-5 試験板上の付着生物の調査結果 (本報告)



(a) 塗装板 (b) 無塗装板

図-6 試験板上の付着生物(浸漬123日後)

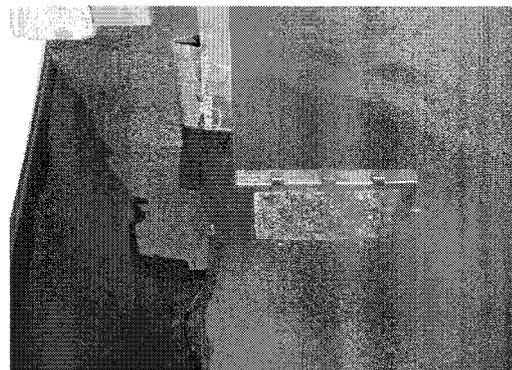


図-7 試験板曳航装置

験板上のフジツボ及びムラサキガイの計数結果の一例である。縦軸が個体計数、横軸が浸漬日数である。両生物とも試験塗料板の方が無塗装板より付着数が少ない。また、塗装の有無に関わらず、浸漬後50～100日まで付着生物は増加、その後減少する。付着当時、両物のサイズは小さく数mmであるが、急速に成長し、フジツボの直径は最大20mm、ムラサキガイは最大40mmに成長する。

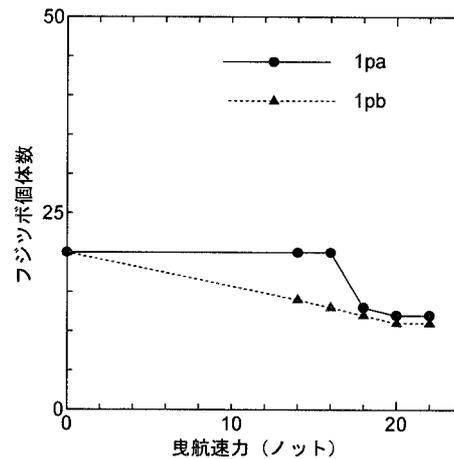
図-5は今回の調査結果である。無塗装板のフジツボの個体数が著しく少なく、前回では見られない。これは図-6に示すように浸漬88日頃に白色のゴカイ類(カンザシゴカイ類)がフジツボを覆い、フジツボの計数が困難となったことによる。この原因は水温の影響と考えられる。前報では海水温が梅雨期に低く22～28°で変動し、7月下旬に31°まで上昇した時とフジツボ個体数の成長期間とが一致していたのに対し、今回は梅雨期の海水温の低下がほとんど無く、比較的低水温から徐々に上昇し、8月中旬頃まで30°に達しなかった。試験塗料板上の付着生物の増加傾向や成長過程の個体の成長の度合いなどに関しては、前報とよく似ている。

6. 曳航試験による付着生物の剥離調査

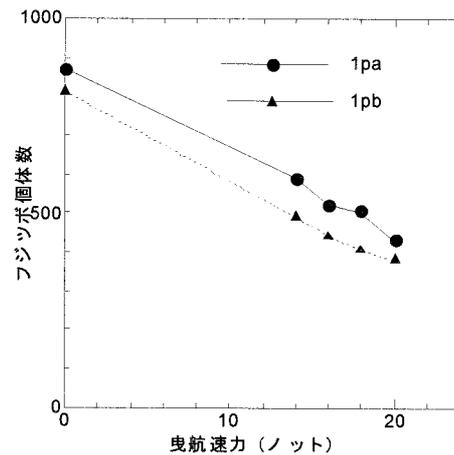
本試験塗料を船底に塗布した場合、18ノット以上の船速で航走すると、付着生物が剥離すると言われている。前報では、海洋付着生物の調査実験終了時に、一定速力で航走する船舶に固定した試験板による付着生物の剥離実験調査を実施した。試験結果は18ノット以上の航走で完全に剥離しなかった。今回の調査では、付着生物の成長過程における生物剥離調査も実施した。

図-7は船舶の船尾に設置の支柱に、試験板を取り付ける装置である。航走中に船尾流れが出来る限り平板に平行に沿い、乱れないように支柱の前面に三角柱を設置した。船速は14ノットから実施した。

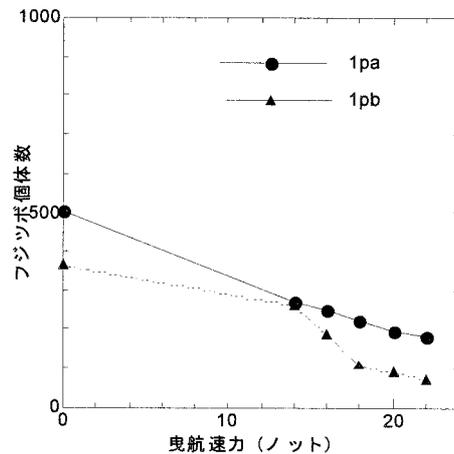
図-8は曳航試験によるフジツボの個体数の計測結果を示す。横軸は試験板の曳航速度、縦軸はフジツボの付着個体数を示す。高速では剥離数が増加する。浸漬日数が長くなると、フジツボは成長し、流れに対し抵抗力が増加し、剥離数も増加の傾向が見られた。また、メーカーの公称では本試験塗料は18ノット以上で剥離するとされたが、フジツボは完全に剥離しなかった。無塗装板では、前述の通り、試験板上のフジツボを被うようにゴカイ類が大量に付着した結果、フジツボの確認が困難となり、さらにゴカイも剥離し難いので、フジツボの剥離数は僅かである。図中に高速域でフジツボの僅かな増加が認められるが、ゴカイの剥離によりフジツボの付着が出現したことによる。以上のことから、フジツボは18ノット以上の速力で相当量が剥離するが、完全に剥離することなく、付着能力が高いと考えられる。しかし、試行的に、無塗装板上に残存したフジツボ



(a) 浸漬25日



(b) 浸漬88日



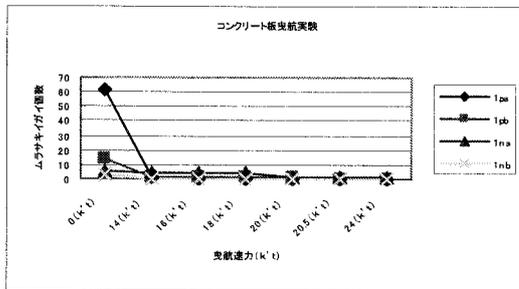
(c) 浸漬157日

図-8 曳航試験によるフジツボ剥離結果

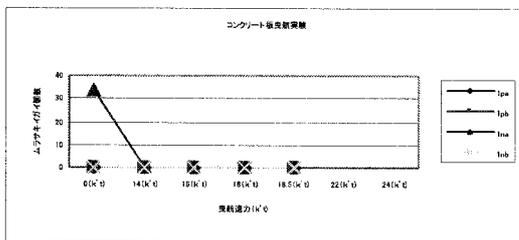
を指で押しても剥離することなく、しかも強く押すと、フジツボが破壊され、付着面にフジツボの殻が付着するのに対し、塗料面では弱い力で押すとフジツボは比較的容易に剥離し、しかも付着面は破壊されることなく綺麗であることから、本試験塗料面に

は付着生物が付着するが、簡単な作業で、容易に剥離することが解った。

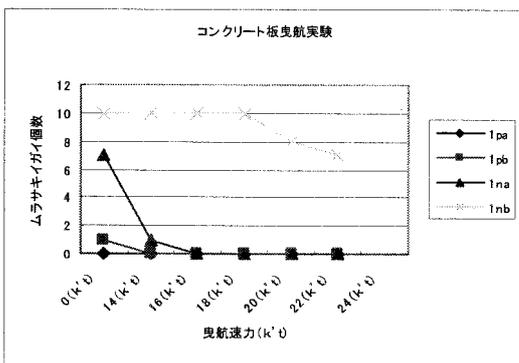
図-9 は曳航試験によるフジツボの個体数の計数結果を示す。今回の調査では、ムラサキガイの付着数が少なく、いずれの成長段階においても比較的低速で剥離することが解った。以上のことから、ムラサキガイは通常の船舶運航形態では、付着せず、また海洋構造物などに対し、板面に平行な水流のような接線応力に対し、容易に剥離するものと考えられる。



(a) 浸漬54日



(b) 浸漬88日



(c) 浸漬189日

図-9 曳航試験によるムラサキガイ剥離結果

7. 高圧水照射による付着生物の剥離調査

一定期間浸漬した試験板上の付着生物に対し、板面に垂直方向に高圧水(Jet)を照射し、水圧による付着生物の剥離実験を行った。第6章の試験板曳航実験は試験板に平行な接線応力による付着生物の剥離と考えられ、高圧水の照射は法線応力による付着

生物の剥離実験である。

高圧水の照射は塗装業者が塗装面の汚れを取るた

表-1 フジツボの大きさの等級

等級	径(mm)	高さ(mm)
1	<4	<2
2	4~6	2~3
3	6~8	3~4
4	8~10	4~5
5	10~12	5~6
6	12<	6<

めに使用する業務用の高圧洗浄機を用いた。メーカーはNILFISK(ニルフィスク)、型式はN3000である。電圧はモーター形式で単相100V、消費電力は1.7kw、吐出水量は480ℓ/h、ポンプ圧力は69kg/cm²、高圧水の効果を高めるために水温の調節が可能であり、最高吐出温度は130℃である。

図-10 は高圧水照射による付着生物の剥離実験装置を示す。高圧洗浄機からのノズルを台に固定し、板面の高さの調整台に試験板を設置して、高圧水を鉛直下向きに照射した。実験開始の事前に高圧水の板面照射時の水圧の計測を行った。一辺が30cmの鉄板中央部に垂直に穴を開け、圧力計のセンサー部を固定し、直接高圧水を照射し、圧力を計測した。圧力計はキーエンス社のAP-13Sである。高圧水の圧力計測は照射ノズル口と板面センサー間の距離及び圧力調整つまみの目盛りを変えて実施した。

剥離実験の対象はフジツボである。成長過程によってサイズが異なるため、表-1に示すように階級分けをして評価した。図-11は等級別に高圧水の

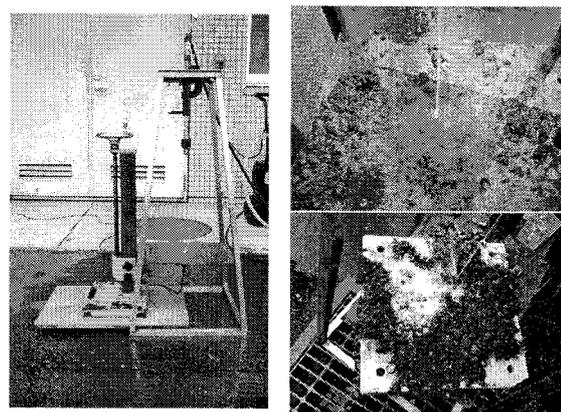


図-10 高圧水照射による付着生物の剥離実験装置

照射後剥離に至る時間と圧力の関係を示す。等級1では圧力が10kpa以下、時間が5s以内で剥離する。等級2では40kpaで10s、等級3では40kpaでばらつきが見られるが60s、等級4では、70kpaで60s、等級5では70kpa、20s、等級6では50kpa以上で、60s以内でおおよそ剥離している。フジツボの成長過程に従って、圧力及び剥離時間が変化していることがよくわかる。

7. 結論

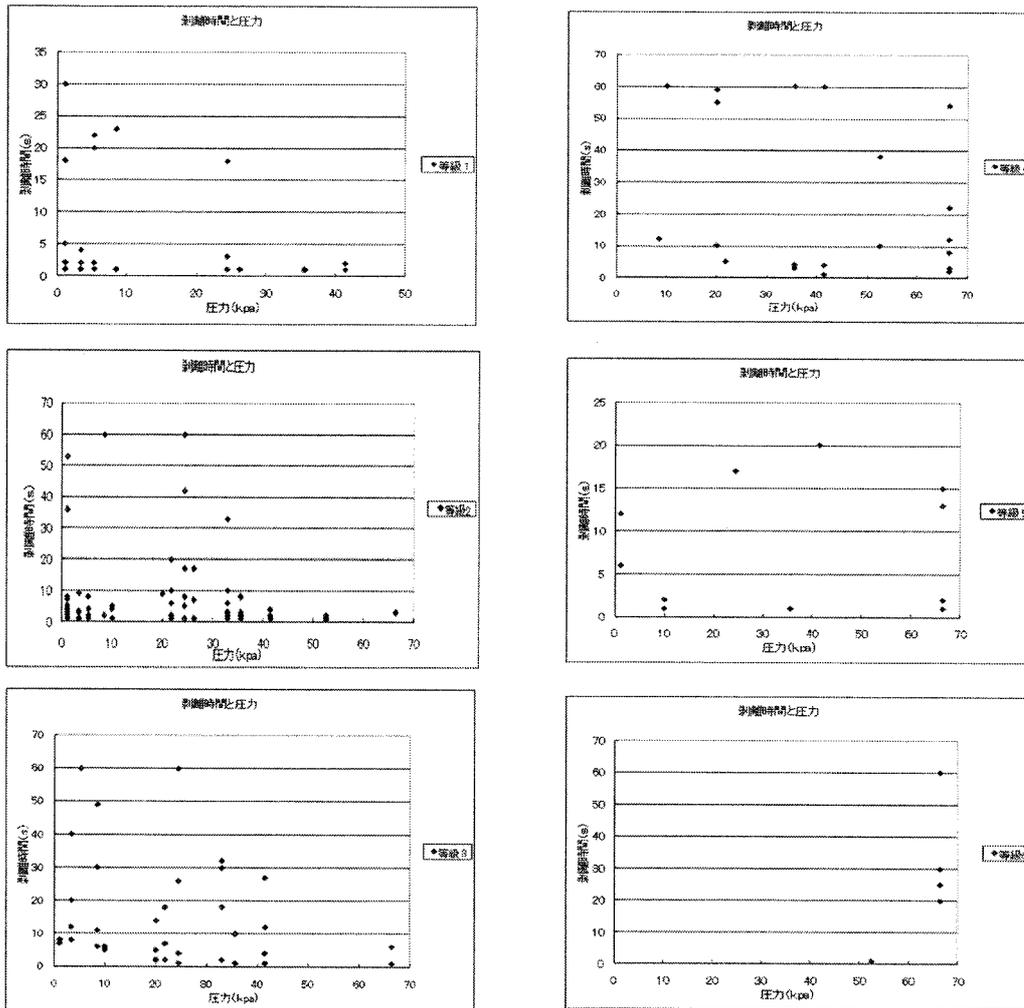


図-11 フジツボの等級別の剥離調査結果

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の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い、以下の主結論を得た。

(1) 試験板の付着生物の試験結果

- 1) 試験塗装板の付着数は無塗装板より、少ない。
- 2) 浸漬後、径が小さい付着生物が大量に付着するが、高速航行しない前報では増加するが、今回は高速航行により成長過程で一部剥離し、個体数は減少する。

(2) 試験板の剥離試験結果

- 1) 試験塗装板の方が曳航試験による剥離量が多く、成長したフジツボの剥離が促進される。浸漬約1ヶ月30%、約3ヶ月で50%、約5ヶ月で80%と、成長すると剥離の割合が増加する。しかし、完全に剥離しない。ムラサキイガイはほとんど100%が剥離する。
- 2) 前回の調査と同様、フジツボは本試験塗料面では剥離面が綺麗に剥離し、殻などの痕跡は見られない。
- 3) 高圧水照射による剥離実験では、フジツボの成長過程に比例して水の圧力及び照射時間が増加する。

本研究では、試験板を一定期間浸漬後、付着生物の幼生から成長過程毎に剥離試験の試行を行うことにより、より一層シリコン樹脂系防汚塗料の特性の把握が可能となった。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。
- 7) 塩谷茂明：試験塗料面上の海洋付着生物の調査に関する研究、海洋開発論文集、第25巻、pp.521-526、2009。