

ISSN 003 0386-5878

土木研究所資料第2985号

土木研究所資料

消波構造物への生物の付着挙動に 関する研究報告書

平成3年2月

建設省土木研究所
地質化学部化学研究室

Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

消波構造物への生物の付着挙動に 関する研究報告書

化学研究室 室 長 片 脇 清
主任研究員 西 島 高 秀*
佐々木 巖

*現 (財)日本道路建設業協会 道路試験所

要 旨

本報告書は、消波堤等の海洋構造物への海中生物付着挙動を明らかにするため、駿河湾における既設杭・スリットモデル供試体・材料別供試体・新型離岸堤などの各調査結果や、新潟および鹿児島県の各海域における既設杭の生物付着調査を行って、その結果をとりまとめたものである。

キーワード：海洋構造物，海域制御構造物，消波構造物，消波堤，生物付着

ま え が き

近年、海洋開発がクローズアップされ、外洋に面した沖合に新しい形式の消波構造物を設置してその内側の静水域を確保する構想が具体化されはじめている。外洋に面した海岸などでの大規模な海洋空間の利用を行う場合には、港湾などに用いる防波堤の様に海水を仕切る構造ではなく、海水交換をしながらかつ波浪を押さえる海域制御構造物とよばれる消波構造物が望ましいと考えられている。

海中に構造物を設置し年月を経過すると、構造物の表面には海中生物が付着する。海域制御構造物の中には複雑な構造をもち海中部の表面積も大きいタイプがあり、海中生物の付着量が多くなると構造物への影響が大きいと予想される。たとえば、海中生物の付着によってスリットの目詰まりを生じて設計以上の波浪強度を受けたり、消波機能に変化をもたらすことが考えられる。また、構造物材料の腐食速度に変化を生じる場合もある。

防止法の一つである防汚塗料（有機スズ系など）は効果期間が短く、土木構造物などの長期供用型構造物には不向きであるうえ、海洋汚染を誘発する恐れがある。また、生物の除去は多大な費用を要するうえ、部材が入り組んだ消波堤では内部に付着した生物の除去は困難である。

海中生物付着は、生物生態学分野を別にすると、漁業や発電プラント関係においては被害例が多いだけに調査例も多いが、海岸保全施設としての土木分野においては過去に生物付着を重要視する必要がなかったこともあり調査例は少ない。構造物の設計施工にあたっては事前に海中生物の付着量・生物種などを、土木構造物面から事前に把握しておく必要がある。

この様なことから、土木工学的見地からの海中生物付着調査を行い、海中生物の付着量や生物種などを事前に把握しておき、付着を見込んだ消波堤の設計と、海洋環境への影響予測を含めた総合的な開発計画を行うための資料とすべく、昭和62年度より継続的に生物付着の実態調査を行ってきた。今回、これまでに報告した事項を含めて最終的に研究成果をとりまとめたものである。

目 次

まえがき

1. 目的	1
2. 調査の概要	1
3. 駿河湾既設杭の実態調査	3
4. スリット供試体における付着調査	1 5
5. 駿河海岸新型離岸堤における付着調査	1 9
6. 材料別供試体における付着調査	2 8
7. 海域別の実態調査	3 2
8. 海中付着生物の地域区分および付着群生態と生物種分類.....	3 8
9. まとめ	4 6

参考文献

あとがき

写真集

1. 目的

本調査は、生物付着が新しい形式の消波構造物に及ぼす影響を評価・予測する際の資料とするために、海中に設置された構造物に対する生物付着量・種類等、生物付着挙動の実態調査を行ったものである。

2. 調査の概要

本調査は、要因別に付着挙動を調べるためいくつかの項目にわけて行った。表－1にその項目を示し、項目ごとにその内容を説明する。

表－1 調査項目

	項 目	内 容	場 所	期 間
1	基礎調査 (既設杭)	既設構造物（鋼管杭）に対する生物付着の基礎的実態調査 (海洋科学技術セナー調査も考慮)	駿河湾海洋 研究施設 本体鋼管杭	S62～H2
2	形状調査 (スリットモデル)	スリット構造をモデル化した供試体による生物付着影響調査	駿河湾施設 スリット供試体	S63～H2
3	構造物調査 (消波堤)	実際のスリット型消波堤（新型離岸堤）における生物付着の実態調査	駿 河 海 岸 新型離岸堤	S63～H2
4	材料調査 (材料別)	海洋構造物材料の生物付着に与える効果・影響	駿河湾施設 材料供試体	H1～H2
5	海域調査	日本沿岸の代表海域における生物付着分布に関する調査 (太平洋・日本海・南日本)	駿河湾施設 新潟県大潟 鹿児島鴨池	H1～H2

(1) 既設杭における海中生物の付着とその挙動

海洋技術総合研究施設の主杭を対象に海中生物付着状況の調査を行い、経時変化や海域比較などの基本的挙動について調べた。

(2) スリット供試体における海中生物付着調査

コンクリート板を用いて製作したスリットモデル供試体を海中に浸漬し、海中生物付着による開口部分の減少量を測定して、形状による付着挙動の調査を行った。

(3) 駿河海岸新型離岸堤における生物付着状況の調査

中部地方建設局静岡河川工事事務所が事業を進めている消波堤を対象に、スリット形状をもつ実構造物における海中生物付着状況の調査を行った。

(4) 材料別供試体における海中生物付着調査

コンクリート板、普通鋼材、電気防食鋼材、ゴム、FRP、各種塗装による試験片を海中に浸漬し、構造材料による海中生物付着挙動について調査した。

(5) 他の海域における生物付着状況の調査

日本沿岸の代表的な海域として、中部太平洋沿岸の駿河湾のほかに、中部日本海沿岸の新潟と南日本海域の鹿児島を選定して既設構造物の生物付着状況の調査を行い、海域における生物付着分布とその実態を調べた。

各調査の経過をまとめると表-2のようになる。ここで、①は1月の調査を表し、○は調査対象の供試体あるいは構造物の設置時点である。

表-2 調査の全体工程

	昭和62年度	昭和63年度	平成元年度	平成2年度
1. 既設杭実態調査(a)	⑧.....⑫.....	⑧.....⑫.....	⑧.....①.....	⑧.....①.....
2. スリット供試体調査		○.....⑧.....⑫.....	⑧.....①.....	⑧.....①.....
3. 新型離岸堤調査		○.....	○.....⑧.....①○.....	⑧.....①.....
4. 材料供試体調査			○.....①.....	⑧.....①.....
5. 海域調査 新潟(b)				③.....⑩
鹿児島(c)				③.....⑨

(a)・・・昭和59年3月設置（海洋科学技術センター調査：昭和60年1,3月）
 (b)・・・昭和60年設置
 (c)・・・昭和60年度設置

3. 既設杭における調査

生物付着の基礎的実態調査としての既設杭の調査は、駿河湾海洋技術総合研究施設の本体鋼管杭を対象として行った。同施設は昭和59年3月に海中に設置されたもので、海中生物の付着状態とその経年変化に注目して継続的に測定した。

(1) 調査場所

海洋技術総合研究施設は、太平洋の波浪を直接受ける場所である静岡県志太郡大井川町高新田地先沖合250mに設置されている。海洋技術総合研究施設の位置と構造の概略を図-1に示す。なお、施設付近の水深は-8~-9mである。

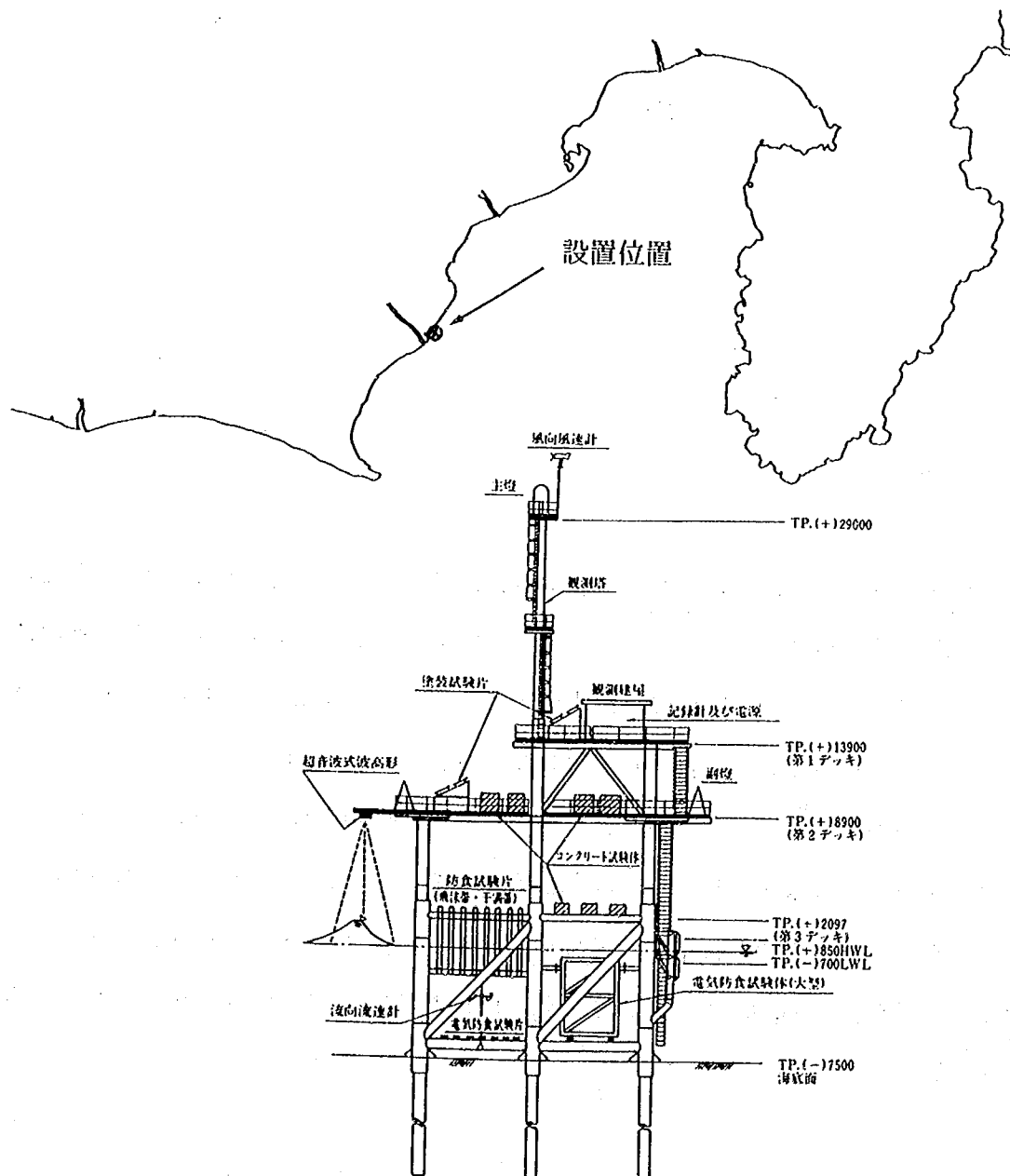


図-1 駿河湾海洋技術総合研究施設設置位置、構造概略

調査対象杭は、海洋技術総合研究施設の主杭9本のうち、外洋に直接面しており、かつ同施設に設置されている各種海中供試体の影響がもっとも少ないと考えられる、本体3A杭を選んだ。

調査方向は、海中生物の付着が日照量・潮流・波向等の影響により付着種や付着量が異なると考えられるため、次の各方向とした。調査を行った杭と調査した方向を図-2に示す。

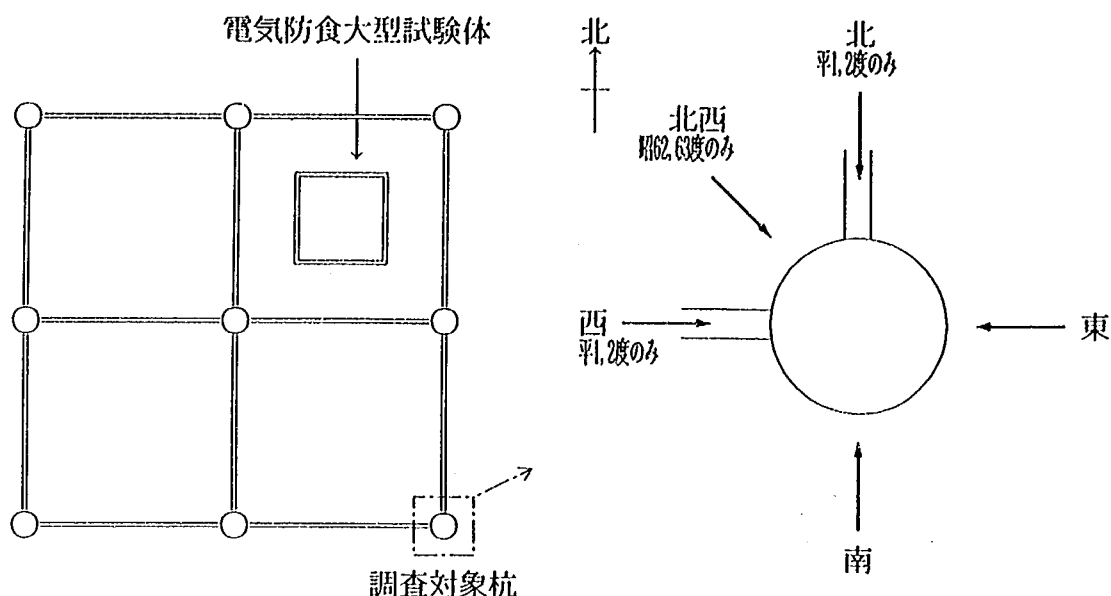


図-2 調査対象杭および調査方向

(2) 調査方法

いずれの調査方向も、T.P. ± 0 mの面から1 mおきに水深-8 mまでの計9レベルを測点とした。測点では、測定範囲を10～20 cm四方の範囲とし、潜水作業員により測定範囲内の最大付着厚さ（平成元年度以降は最小付着厚さも）を測定し、水中写真撮影により付着状態の観察と付着種の分類を行った。付着厚さは、測定範囲内で最も厚く付着している部分をスケールの差込みにより測定した。水中写真撮影は付着厚測定を行った部分について、スケールを写込みながら行った。生物採取をする場合には、10×10 cmの範囲の付着生物をスクレーパを用いて採取し、5%ホルマリン溶液に浸漬して実験室に持帰って主要生物種を分類した。前回調査において生物採取のため削り取った箇所は、その外縁部を測定場所とした。

(3) 調査結果

昭和62年度および63年度の調査結果を表-3に示す。

フジツボ類が主要な生物種であり、深さ方向で-6 m程度まで分布しており、それ以深（海底から約2 mの範囲）では付着はあまりみられなかった。フジツボ類以外の生物種の主要な付着は-3 m以深で観察された。また、付着厚さは夏の方が冬よりも多く、これは水中写真による付着状態観察においても同様であった。

表-3 既設杭における生物付着調査結果（昭和62年8月, 12月, 63年8月）

深さ T. P. (m)	東						南						北西					
	昭和62年8月調査 付着重量(g)			継続調査による 付着厚さ変化(mm)			昭和62年8月調査 付着重量(g)			継続調査による 付着厚さ変化(mm)			昭和62年8月調査 付着重量(g)			継続調査による 付着厚さ変化(mm)		
	総 重量	フジ ツボ	巻貝	62年		63年 8月	総 重量	フジ ツボ	サザ	62年		63年 8月	総 重量	フジ ツボ	ホヤ	62年		63年 8月
				8月	12月					8月	12月					8月	12月	
±0	200	200		10	7	50	120	120		30	10	10	300	300		20	5	30
-1	50	50		5	10	40	230	230		45	10	40	230	230		30	10	40
-2	170	170		20	10	70	150	150		20	10	60	130	130		20	10	10
-3	140	140		15	15	30	50	50		15	10	15	475	315	160	30	7	40
-4	340	340		20	20	60	300	135	165	20	7	30	300	120	180	30	10	40
-5	325	315	10	20	10	20	175	160	15 (※)	20	7	10	340	125	135	30	10	15
-6	130	130		20	20	10	100	100		20	7	15	440	245	195 80 (※)	30	10	50
-7	50	35	15	5	10	17	20	20		10	5	8	35	35		10	5	10
-8	0			2	10	3	0			1	5	10	0			3	5	7

平成元年度と2年度の付着厚調査結果を表-4, 6, 8, 10に示す。両年度とも夏調査を8月、冬調査を12月に行った。表中では、ある程度の厚みをもち強固に付着するフジツボ類とイガイ類の繁殖状況を、水中写真を資料とした状態観察により、次のように表示してある。

〔◎：優占種として存在、○：他の生物と共生〕 グラフは各方向の最大最小の付着厚について、深度方向を指標に表したものである。

また、各調査時の付着種を、それぞれ表-5, 7, 9, 11 にあげてある。表中で、〔・〕印を付したものはその測点での多量出現種である。

表-4 杭No3 A 平成元年度 夏調査

単位 (mm)

	東			南			西			北		
水深	最大	最小	※	最大	最小	※	最大	最小	※	最大	最小	※
0	90	2	◎	100	6	◎	105	5	◎	120	4	◎
-1	110	10	◎	115	10	◎	80	3	◎	150	5	◎
-2	120	10	◎	85	12	◎	125	40	◎	115	30	◎
-3	80	18	◎	85	15	○	55	5	○	60	17	○
-4	90	8	○	52	4	○	70	6	○	95	6	○
-5	60	10	○	35	7	○	25	5	○	45	7	○
-6	60	5	○	35	4	○	25	3		45	3	
-7	45	10		20	5		45	7		25	10	
-8	10	6		14	7		15	4		20	7	

※はフジツボ類イガイ類の付着状況

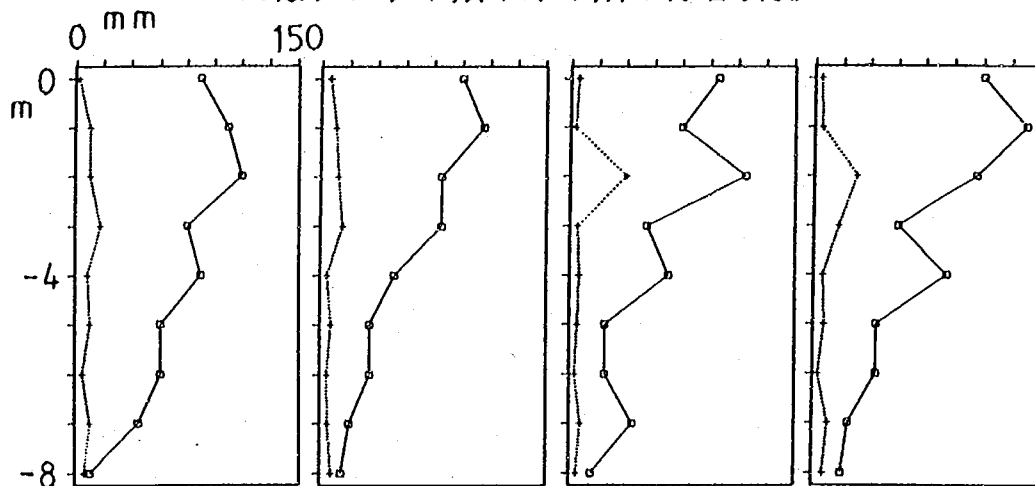


表-5 主なる付着生物の種類

水深 (m)	東	南	西	北
± 0	・フジツボ類 ムラサキイガイ	・フジツボ類 ムラサキイガイ	・フジツボ類 緑藻類	・フジツボ類
-1	・フジツボ類 チカムシ フサコケムシ ムラサキイガイ	・ムラサキイガイ フジツボ類 イソギンチャク類	・フジツボ類 ムラサキイガイ	フジツボ類 チカムシ ムラサキイガイ
-2	・ムラサキイガイ フジツボ類	・ムラサキイガイ フジツボ類 フサコケムシ	・ムラサキイガイ フジツボ類 チカムシ	・ムラサキイガイ フジツボ類 イソギンチャク類
-3	・ムラサキイガイ チカムシ フジツボ類	ムラサキイガイ フジツボ類 チカムシ フサコケムシ	チカムシ フジツボ類	フジツボ類 ムラサキイガイ チカムシ フサコケムシ
-4	フジツボ類 ムラサキイガイ フサコケムシ	チカムシ フジツボ類 フサコケムシ	チカムシ フジツボ類 フサコケムシ	チカムシ ムラサキイガイ
-5	フジツボ類 テングサ類 フサコケムシ	・チカムシ フジツボ類	チカムシ フジツボ類	チカムシ フジツボ類
-6	フジツボ類 チカムシ イソギンチャク類 テングサ類	チカムシ テングサ類 フジツボ類	チカムシ フジツボ類	チカムシ フジツボ類
-7	フジツボ類	チカムシ フジツボ類	チカムシ フジツボ類	チカムシ フジツボ類
-8	フジツボ類 チカムシ テングサ類	フジツボ類 カイメン類 イソギンチャク類	フジツボ類 チカムシ イソギンチャク類	フジツボ類 チカムシ

・印は優占的にみられた種類

表-6 杭No3 A 平成元年度 冬調査

単位 (mm)

水深	東			南			西			北		
	最大	最小	※	最大	最小	※	最大	最小	※	最大	最小	※
0	25	5	◎	40	18	◎	20	10	◎	30	15	◎
-1	80	20	◎	90	10	◎	120	1	◎	80	1	◎
-2	130	50	◎	70	40	◎	150	30	◎	130	100	◎
-3	50	12	○	25	10	○	65	2	◎	140	30	◎
-4	55	10	○	21	5	○	60	4	◎	70	2	○
-5	65	20	○	40	12	○	25	4	○	72	15	○
-6	32	8		28	12		65	5	○	50	10	○
-7	28	10		30	15		50	7		45	15	
-8	50	12		35	10		45	7		23	2	

※はフジツボ類イガイ類の付着状況

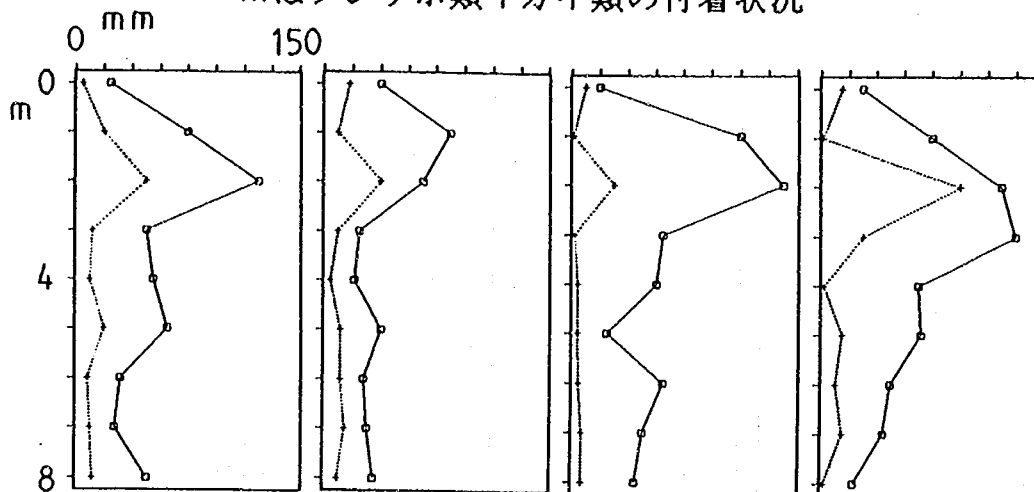


表-7 主なる付着生物の種類

水深 (m)	東	南	西	北
± 0	・フジツボ類 ・イガイ類 ・ホシガイ類	・フジツボ類 ・イガイ類	・フジツボ類 ・ムサキイガイ ・イギンチヤク類	・フジツボ類 ・ムサキイガイ
- 1	・ムサキイガイ ・フジツボ類 ・マガイイガイ類	・ムサキイガイ ・フジツボ類 ・フサコムシ イガイ類	・フジツボ類 ・ムサキイガイ ・ザカイノチヤクムシ	・ムサキイガイ ・フジツボ類 ・コケムシ類
- 2	・ムサキイガイ ・オアカフツボ ・フサコムシ	・ムサキイガイ ・フサコムシ ・チヤクムシ	・ムサキイガイ ・チヤクムシ ・ウミヒナ	・ムサキイガイ ・オアカフツボ
- 3	・フサコムシ ・チヤクムシ ・ムサキイガイ	・フサコムシ ・チヤクムシ ・フジツボ類	・フサコムシ ・チヤクムシ ・フジツボ類	・フサコムシ ・オアカフツボ
- 4	・ムサキイガイ ・オアカフツボ ・フサコムシ チヤクムシ	・フサコムシ ・ムサキイガイ ・オアカフツボ	・フサコムシ チヤクムシ ・ムサキイガイ ・ウミシダ類 ・オアカフツボ	・フサコムシ チヤクムシ ・ザカイノチヤクムシ ・ムサキイガイ ・オアカフツボ
- 5	・フサコムシ ・チヤクムシ	・フサコムシ ・チヤクムシ	・ムサキイガイ ・ムサキイガイ ・フサコムシ チヤクムシ	・フサコムシ チヤクムシ ・ザカイノチヤクムシ ・フジツボ類
- 6	・フサコムシ ・チヤクムシ ・オアカフツボ	・フサコムシ ・チヤクムシ ・オアカフツボ	・フサコムシ ・チヤクムシ ・オアカフツボ	・フサコムシ ・チヤクムシ ・オアカフツボ
- 7	・フサコムシ ・チヤクムシ ・オアカフツボ	・フサコムシ ・チヤクムシ ・オアカフツボ	・フサコムシ ・チヤクムシ ・オアカフツボ	・フサコムシ チヤクムシ ・シロギ ・ケヤリ類
- 8	・フサコムシ ・イギンチヤク類 ・ウミシダ類	・フサコムシ ・チヤクムシ	・フサコムシ チヤクムシ ・ウミシダ類 ・ウミシダ類	・フサコムシ ・チヤクムシ ・シロギ

・印は優占的にみられた種類

表-8 杭No3 A 平成2年度 夏調査

単位 (mm)

水深	東			南			西			北		
	最大	最小	※	最大	最小	※	最大	最小	※	最大	最小	※
0	30	10	◎	30	10	◎	50	10	◎	40	10	◎
-1	60	10	◎	30	10	◎	50	10	◎	60	10	◎
-2	60	10	◎	50	10	◎	60	10	◎	60	10	◎
-3	70	10	◎	60	20	○	40	20	○	50	10	◎
-4	60	10	◎	70	10	○	40	10	○	50	10	○
-5	60	10	○	60	10	○	50	10		80	10	○
-6	40	20		40	10		50	20		60	20	
-7	60	10		40	10		50	10		50	10	
-8	20	10		20	10		20	10		20	10	

※はフジツボ類イガイ類の付着状況

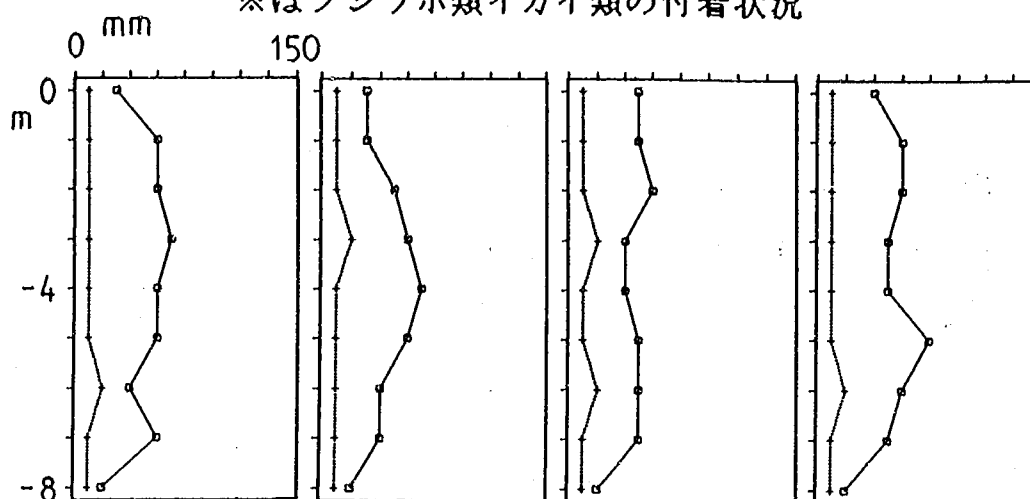


表-9 主なる付着生物の種類

水深 (m)	東	南	西	北
± 0	・フジツボ類	・フジツボ類 緑藻類	・フジツボ類 チカムシ	・フジツボ類 ムラサキイガイ
-1	フジツボ類	フジツボ類	・フジツボ類 チカムシ	・ムラサキイガイ チカムシ フジツボ類
-2	・ムラサキイガイ フジツボ類 チカムシ	フジツボ類 ムラサキイガイ チカムシ	・ムラサキイガイ フジツボ類 チカムシ	・ムラサキイガイ フジツボ類
-3	ムラサキイガイ チカムシ フジツボ類	・チカムシ フジツボ類	フジツボ類 チカムシ	・ムラサキイガイ チカムシ フジツボ類
-4	ムラサキイガイ チカムシ フジツボ類	・チカムシ ムラサキイガイ フジツボ類	チカムシ フジツボ類 ムラサキイガイ	チカムシ ムラサキイガイ フジツボ類
-5	チカムシ ムラサキイガイ フジツボ類	チカムシ ムラサキイガイ フジツボ類	・チカムシ フジツボ類 ムラサキイガイ	チカムシ フジツボ類 ムラサキイガイ
-6	・チカムシ フジツボ類 ムラサキイガイ	・チカムシ フジツボ類	チカムシ ムラサキイガイ フジツボ類	フジツボ類 チカムシ
-7	フジツボ類 チカムシ	フジツボ類 チカムシ	フジツボ類 チカムシ	フジツボ類
-8	チカムシ フジツボ類 エビノウトサカ	チカムシ フジツボ類 ヤシ類	チカムシ フジツボ類 ストロベリーサンゴ	チカムシ

・印は優占的にみられた種類

表-10 杭No3 A 平成2年度 冬調査

単位(mm)

水深	東			南			西			北		
	最大	最小	※	最大	最小	※	最大	最小	※	最大	最小	※
0	50	10	◎	60	10	◎	100	10	◎	50	5	◎
-1	70	15	◎	50	10	◎	90	20	◎	110	10	◎
-2	70	10	◎	30	5	○	30	5	◎	70	4	◎
-3	30	10		30	5	○	30	10	○	60	10	○
-4	50	10	○	60	15	○	70	20	○	60	10	○
-5	40	5		50	5		50	10	○	60	10	○
-6	40	5		50	15		40	5		60	10	
-7	30	10		40	10		40	4		120	20	
-8	20	5		20	5		35	3		50	10	

※はフジツボ類イガイ類の付着状況

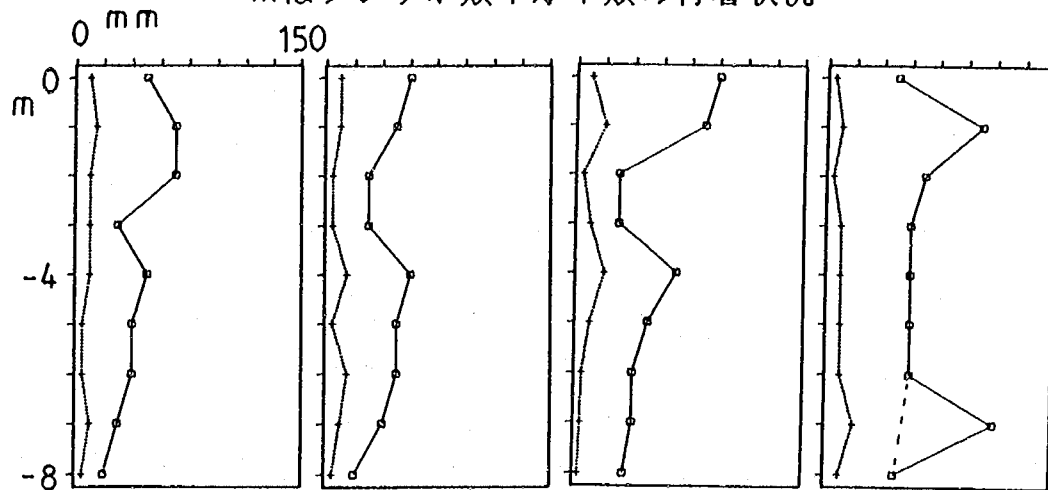


表-11 主なる付着生物の種類

水深 (m)	東	南	西	北
± 0	・フジツボ類 ・緑藻類 ・紅藻類	・フジツボ類 ・緑藻類 ・紅藻類	・フジツボ類 ・緑藻類 ・紅藻類	・フジツボ類 ・イガイ類 ・カイメン類
-1	・フジツボ類 ・紅藻類 ・緑藻類	・フジツボ類 ・紅藻類 ・緑藻類	・チカムシ ・フジツボ類 ・カイメン類	・フジツボ類 ・紅藻類 ・チカムシ ・カイメン類
-2	・フジツボ類 ・ムササギイガイ ・イガイ類	・フジツボ類 ・チカムシ ・フサコケムシ ・ダイダイイソカイメン	・チカムシ ・フジツボ類 ・フサコケムシ ・ダイダイイソカイメン	・フジツボ類 ・ムササギイガイ ・チカムシ ・フサコケムシ ・ダイダイイソカイメン
-3	・チカムシ ・フサコケムシ	・チカムシ ・フサコケムシ	・チカムシ ・フサコケムシ ・ダイダイイソカイメン	・チカムシ ・フジツボ類 ・ムササギイガイ
-4	・チカムシ ・ムササギイガイ ・フサコケムシ	・チカムシ ・ムササギイガイ ・フサコケムシ	・チカムシ ・フジツボ類 ・フサコケムシ	・チカムシ ・フジツボ類 ・フサコケムシ
-5	・チカムシ ・フサコケムシ ・紅藻類	・チカムシ ・フサコケムシ	・チカムシ ・フジツボ類 ・フサコケムシ	・チカムシ ・フジツボ類 ・フサコケムシ
-6	・チカムシ ・フサコケムシ ・ダイダイイソカイメン	・チカムシ ・フサコケムシ	・チカムシ ・フサコケムシ ・紅藻類	・チカムシ ・フサコケムシ ・ヒメフサコケムシ
-7	・フサコケムシ ・チカムシ ・ホヤ類	・フサコケムシ ・チカムシ ・ダイダイイソカイメン	・フサコケムシ ・チカムシ ・カイメン類	・チカムシ ・トゲギ ・フサコケムシ
-8	・フサコケムシ	・フサコケムシ ・チカムシ	・フサコケムシ ・チカムシ	・ホヤ類 ・ダイダイイソカイメン ・フサコケムシ

・印は優占的にみられた種類

また参考として表-12, 13に、昭和60年1月および3月に同施設において海洋科学技術センター伊藤氏が行った調査の結果を示す。

表-12 海洋科学技術センターの調査結果(昭和60年1月)

水深 (m)	現存量 (g / 100 cm ²)	付着群の 厚み (cm)	主 要 種 の 重 量 比 率 (%)					
			アカフジ ツボ	ムラサキ イガイ	マガキ	サンカク フジツボ	シロボヤ	その他
0	177	4.5	69		10			21
1	638	9.0	90					10
2	465	8.5	83					17
3	415	6.5	79			5		16
4	398	8.5	72	11				17
5	475	9.0	70	6			12	12
6	292	5.0	43	16			9	32
7	168	3.5		55	24	10		11
8	152	2.0		16		36		48

表-13 海洋科学技術センターの調査結果(昭和60年3月)

水深 (m)	現存量 (g/100 cm ²)	付着群の 厚み (cm)	主 要 種 の 重 量 比 率 (%)					
			アカフジ ツボ	ムラサキ イガイ	サンカク フジツボ	シロボヤ		その他
0	105	2.0	81					19
1	190	7.0	84		5			11
2	580	9.0	81					19
3	630	9.5	71		6			23
4	315	7.0	78					21
5	340	7.5	73	6	12			9
6	245	7.0	69	8	5			18
7	170	5.0	16	18	5	25		31
8	98	5.5	31	12	28			29

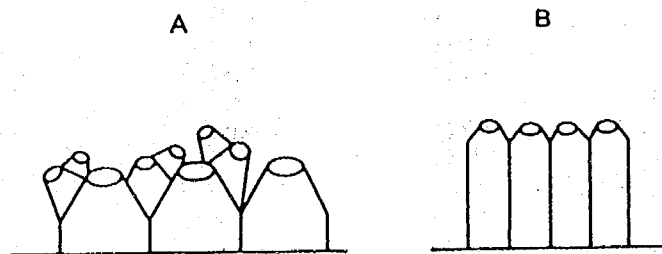


図-3 フジツボの付着形態

(4) 考察

付着生物種は構造物や環境への影響別に大きく分けてみると、以下の様になる。

- (a) フジツボ類・イガイ類・カキ類・カサガイ類などの硬殻を持ち付着強度の大きなもの
- (b) コケムシ類・カイメン類・ホヤ類・イソギンチャク類・ヒドロ虫類などの動物類
- (c) 緑藻類・紅藻類・褐藻類などの海藻類

消波堤等の海洋構造物への影響としての生物付着調査では、(a)種のようなある程度厚みを持つ生物群(hard fouling)の存在が重要であり、これらの付着挙動について調べておく必要がある。固い殻を持たないあるいは脱落しやすい(b)(c)種(soft fouling)については、構造物へ直接影響することは考えられないが、他の付着生物の着生成長への影響や魚礁効果等の海洋環境への影響からの視点としては捉えておく必要があるだろう。

本調査における主な付着種は、フジツボ類・ムラサキイガイ・コケムシ類・藻類であった。本施設の杭は設置から比較的長い期間が経過しているため、単一種が優占的に成長しておらず、様々な種がスキをうかがいながら共生している。季節的には夏はフジツボ類・イガイ類などの生物群(a)が着生成長し、冬はコケムシ類・カイメン類・ホヤ類・藻類などの生物群(b)が増加し生物種がふえ生物相が複雑になっている。水深別に見ると、フジツボ類・イガイ類はおよそ4 mまでであり、その下にコケムシ類が主に付着し種が増加する傾向となっている。写真集に水中写真によるその一例を示してある。種変化は、季節的な諸要因、水温、波浪潮流、潮汐、塩濃度等の他、個々の共存生物による相互の影響が大きいとされている。なお夏期調査時の施設周辺においては、付着生物を捕食するイシダイ・ハギ・タコ等が多数群れており、杭等の表面をつつく様子が調査中に幾度となく混じって撮影された。

フジツボの安定した付着形態は図-3 (A) の様になるが、海洋科学技術センター伊藤氏の観察によると同所のフジツボの形態は(B)であった。(A)の形態は、他の生物が付着した後にフジツボがまばらに付着して成長し、その上に新たなフジツボが付着して3~5重位に積層されてつくられる一般的な形態である。(B)はフジツボの幼生がいっせいに付着し隣のフジツボと押し合いながら成長した形態で、おそらく同杭を設置した時期に関係があると思われる。(B)の形態は単体の付着面積が小さいだけに(A)よりも付着力が弱い形態である。

ムラサキイガイは殻の腹面から硬タンパク質の足糸をだし、舌状の足を使って基盤の表面に付着する。この足糸は三次元的付着構造を迅速に形成し、しかも容易に再生するため成長期において付着競合を脅かすような付着生物はみられないとされている。

生物付着の厚さと重量の関係は付着種の構成や付着状態により変化すると考えられる。本調査では昭和62年度夏の調査時に生物採取による重量測定を行っているおり、その値を付着厚さとの関係としてプロットしたものが図-4である。ある一定の幅を持っているが直線的な関係がみられるようである。また、海洋科学技術センターが各地で行った調査の結果を同様にプロットしたものが報告されており、これを図-5に示す。調査点数が多いため付着の大きな部分も含まれており、付着が多い場合には厚さと重量の関係は2次曲線に近くなることが確かめられる。

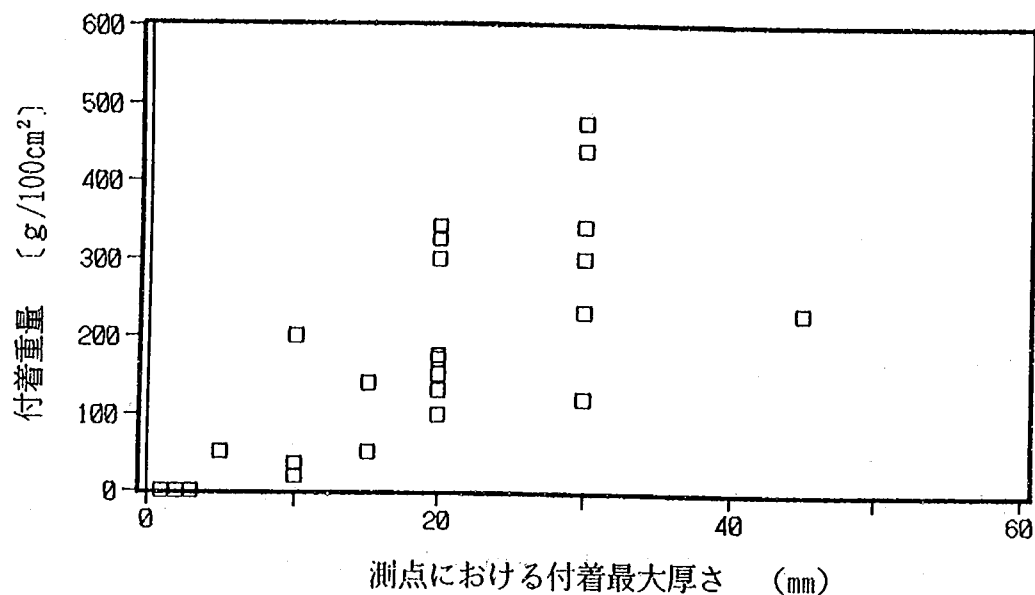


図-4 既設杭調査における付着生物の重量と厚さの関係

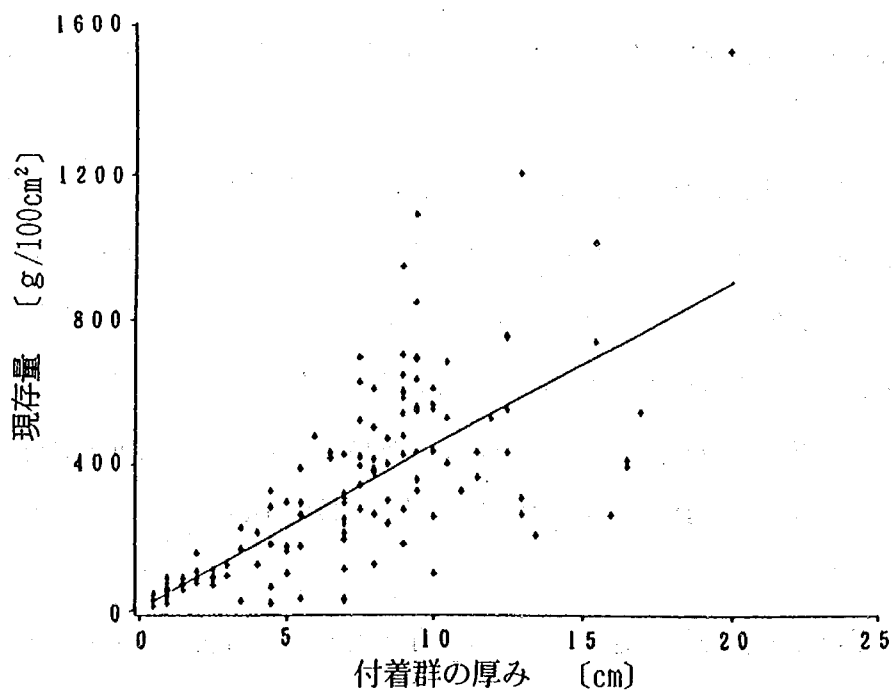


図-5 橋脚型海洋構造物における付着群の厚みと現存量との関係

付着の最大厚さは季節や方角あるいは生物相の変化など種々の要因により変動するが、今回の調査結果内における変動からみると、当海域においては付着の最厚部分は概ね10cmであり、最大でも15cmであると予想される。

水深別付着厚さは、各方向ともにフジツボ類およびムラサキイガイが優占種である－1～－3mがピークとなっており、海中生物が層を成して付着するのはおよそ－3mまででそれ以深では付着厚さが減少している傾向にあると言える。この理由としては、日照や海底砂の巻き上げによるサンドエロージョンなどの様々な影響が考えられる。この調査結果から言えば波浪強度の観点からの付着調査では－6m前後までが対象となるが、海域の特性や海底面までの深度によって付着の分布は変化するため、海底面までの付着生物調査を行う必要がある。

海中生物の付着量は、構造物の設置時から増加を続けるが、ある一定量まで進むと減少と増加を繰り返すと言われている。周期的変動の要因としては、前述した環境変化による生物系の変化と、付着生物の成長により堆積したものが自重や波浪により剝離脱落することにより起こるものと考えられる。

調査結果のうち付着の顕著である部分の厚さ変化をプロットしたものが図－6である。局所的な特異点を拾わないよう複数の測点を用いるものとし、レベルは－1～－3m、方角は比較をするため各回調査で共通している東と南向きの2方向、計6測点の付着厚測定結果の平均値を用いた。昭和60年の海洋科学技術センター調査の方角については東南とも同じ付着厚であるとして計算した。図－6からみると潮間帯直下における生物付着の厚さは、生物自体の寿命と成長肥大による剝落、種々の環境変化、強風波浪等の影響により、ある程度の幅を保って変動するが、当海域付近においては付着の平均厚さは10cm程度ではないかと推測される。

同施設の杭における海中付着生物は昭和60年3月から昭和62年8月のあいだに、物理的もしくは生物学的な要因で剝落し再付着している。これは、海洋科学技術センターのデータではムラサキイガイの付着が見られるが、昭和62～63年実施の本調査ではムラサキイガイの付着がなかったことから明らかである。平成元年の調査では、再びムラサキイガイが多く出現し付着厚さも増大している。さらに、平成元年度～2年度の間も付着厚さは単調減少を続けていると言えるが、この期間の主要付着生物種の変遷をみてもムラサキイガイからフジツボ類に優占順位が交代しつつあるといえるであろう。このように、付着厚さは生物群の種類構成の影響を大きく受ける。このため、生物付着調査にあたっては生物種の

分類観察による生物相変化を、周辺の環境因子とともに調べることが重要である。

生物相の変化は、他の調査項目における各種供試体や新構造物でも同様に観察されており、構造物設置初期の付着挙動をふくめて報告する。

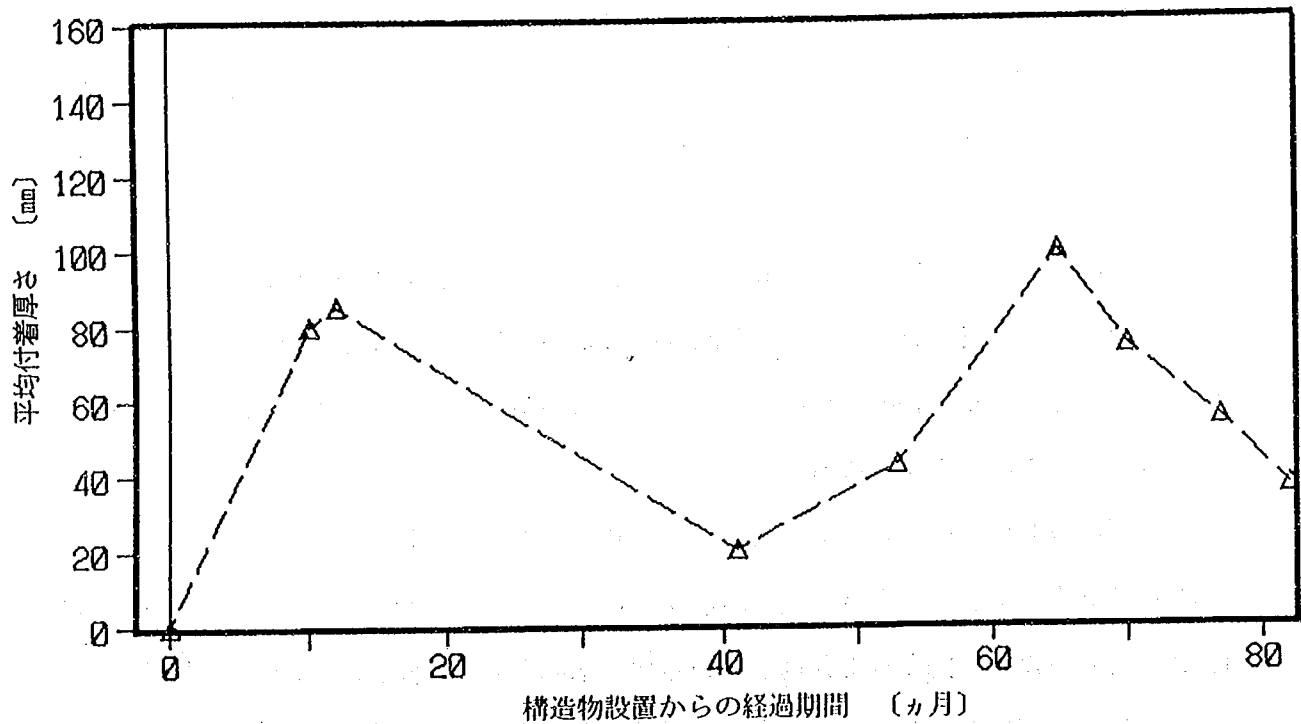


図-6 杭の生物付着厚さ（東、南の-1~-3mの平均）の経年変化

4. スリットモデル供試体における付着調査

既設杭の調査は片面だけの調査であるが、スリットや隅角部などの三次元的な形状を持つ場合には部材が複数配置され、そのあいだを海水が行き来することになる。部材形状やスリット間隔等によっては、付着生物の塊が両側の部材を足掛かりにして片面だけの場合とは違った状態で付着する事が十分考えられる。このため、スリット間隔による影響に注目した海中生物付着調査として、コンクリート板を二枚合わせてその間隔を変えた供試体を海中に浸漬し、スリットの開口部分が海中生物によって埋まる状態を調査した。スリットモデル供試体は昭和62年度に製作し、フジツボ類の幼生が海中構造物に着生する季節とされる昭和63年5月末に現地設置工事を行い追跡調査を開始した。

(1) 供試体形状及び設置場所

供試体は、コンクリート板（60×30×5cm）を用いて、スリット幅が20cm、30cm、40cmの三種類となるようにスリットモデルを構成し、それぞれ垂直、水平の2形状を1セットとして鋼製の枠に取りつけた。取付状態を図-7に、出来上がりの状況は写真集に示す。

供試体設置場所は、海洋技術研究施設の電気防食大型試験体（前記 図-2）とした。設置水深は干潮線下20cmである。

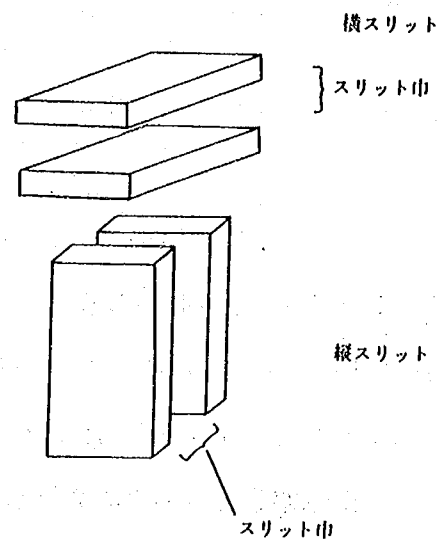


図-7 スリット供試体取付け状態

(2) 調査方法

スリットモデル供試体は枠ごと海中より引き上げ、コンクリート板に付着した生物によって塞がったスリット部分の残存開口幅を計測し、さらに写真撮影を行って付着状態とその生物種を観察した。また、スリット部近傍から生物採取を行い生物種の同定を行った。

(3) 調査結果

スリットモデル供試体の追跡調査結果を表-14に示す。

表-14 スリットモデル供試体の残存開口幅

経過月数		間隔 20 cm		間隔 30 cm		間隔 40 cm		主な生物種		
調査季		横 スリット	縦 スリット	横 スリット	縦 スリット	横 スリット	縦 スリット	i	ii	iii
63年度夏	3	150	170	240	270	360	360	◎	○	
63年度冬	7	0	20	90	100	200	200	○	◎	○
元年度夏	15	0	0	0	0	10	15	○	◎	○
元年度冬	20	45 20 70	0	20	55 30 80	170	130	○	◎	○
2年度夏	27	130	45 20 70	235 220 250	125 100 150	260	330 320 340	○	◎	
2年度冬	32	80 50 110	80 30 130	150 100 200	130 80 180	300 270 330	240 200 280	◎		

*) 生物種: i...オオアカフジツボ ii...ムラサキガイ iii...マサキ

**) 小数字は開口幅が一定でない場合の最小幅と最大幅

スリット供試体は、平成元年度夏調査までは各スリットとも均等に生物が成長増殖し、付着厚の増加を続けている。スリットは間隔の狭いものから順に開口部が閉塞し、設置から1年あまりで各スリットともほぼ目詰まり状態となっている。

スリットが閉塞した後の平成2年度冬期調査では前回より付着量が減少し開口部が大きくなった。間隔の大きなスリットから脱落が起こり、開口部の形状は平行でなくガタガタの断面形状となった。(表中では開口幅の平均値と共に、開口幅の最大部分と最小部分の間隔を表示してある)

付着生物種は、浸漬開始後3ヶ月の時点では小さなオオアカフジツボが一面に付着し、ムラサキガイとカキ類の稚貝がそれにまじって付着していた。7ヶ月後では、成長速度の大きなムラサキガイがかぶさるように成長し(殻長41mm 殻幅14.5mm程度)、優占種となっていた。ムラサキガイは足糸により付着するため、被覆型の付着構造を短期間に形成して平面的に着生する他種を容易に被覆してしまったものである。そして、約2年経過後にはムラサキガイが剥落し(平成2年度冬の調査ではほとんどみられなかった)、供試体設置当初から付着していたオオアカフジツボが大半を占めていた。

(4) 考察

海中に構造物を設置すると、まずその時期に幼生の浮遊している生物種が着生する。そしてその種類が複数である場合には、環境に最も適応したものかあるいは成長の特に速いものが付着競合に勝ち優占的に付着するものと考えられる。今回の供試体の場合には、まずフジツボ類、ムラサキイガイとカキ類が付着したが、ムラサキイガイがその付着機構と成長力の関係から優占種となり、一定期間の後これが死滅脱落して、その隙間で成長を続けていたオオアカフジツボが残り優占順位に交代がおこったものと推測される。

フジツボ類は死後も殻を付着物として残すため、これらのうちどれだけが成長を続けているかはさだかではない。カキ類は、養殖漁場での被害などにあるようにその平面的な付着機構のため、被覆付着の可能なムラサキイガイに生息場所を奪われ残らなかったものと思われる。ムラサキイガイは強い足糸によって付着しているが、死滅するときは足糸を切って剥落する。脱落の原因としては、台風等の波浪、環境変化、自重の増加、寿命、フジツボやイガイ類などの成長の大きい種類の偏在などが考えられる。

付着厚さを経時変化とスリット構造の影響から比較するため、片側付着厚さの経時変化をプロットしたものが図-8である。片側付着厚さはスリットモデル供試体への生物付着がその両面にはほぼ均等に生物が付着していたため残存開口幅から計算し、また脱落のため断面が乱れて間隔が一定でない場合には開口幅の平均値を用いた。図-8から、付着成長初期の生物（ムラサキイガイ）の着生成長速度はスリット幅や設置向きに関係なく一定であることがわかる。また40cm幅のスリットの閉塞状況から、当海域においては複雑な形状の部材や隅角部などでは、杭や壁面の様な単純な部材に比べて大きな付着厚さとなり、その値はおよそ20cm程度になると言える。そして、いずれの間隔においても脱落の後はスリット間隔と向きにはあまり関係なく付着厚さが5~10cmになり、その後は生物相の多様化とその周期的変動を続けるものと予想される。

供試体設置による付着開始から1年半~2年後にムラサキイガイが死滅脱落している。前述の既設杭調査においてもムラサキイガイの成長死滅が二度観察され、しかもその期間が2年~2年半でありほぼ一致しているため、当海域におけるムラサキイガイの寿命等による一定の生存期間であると判断してよいのではないだろうか。そして、最大付着厚さはムラサキイガイの付着状態に大きく左右されることがわかる。

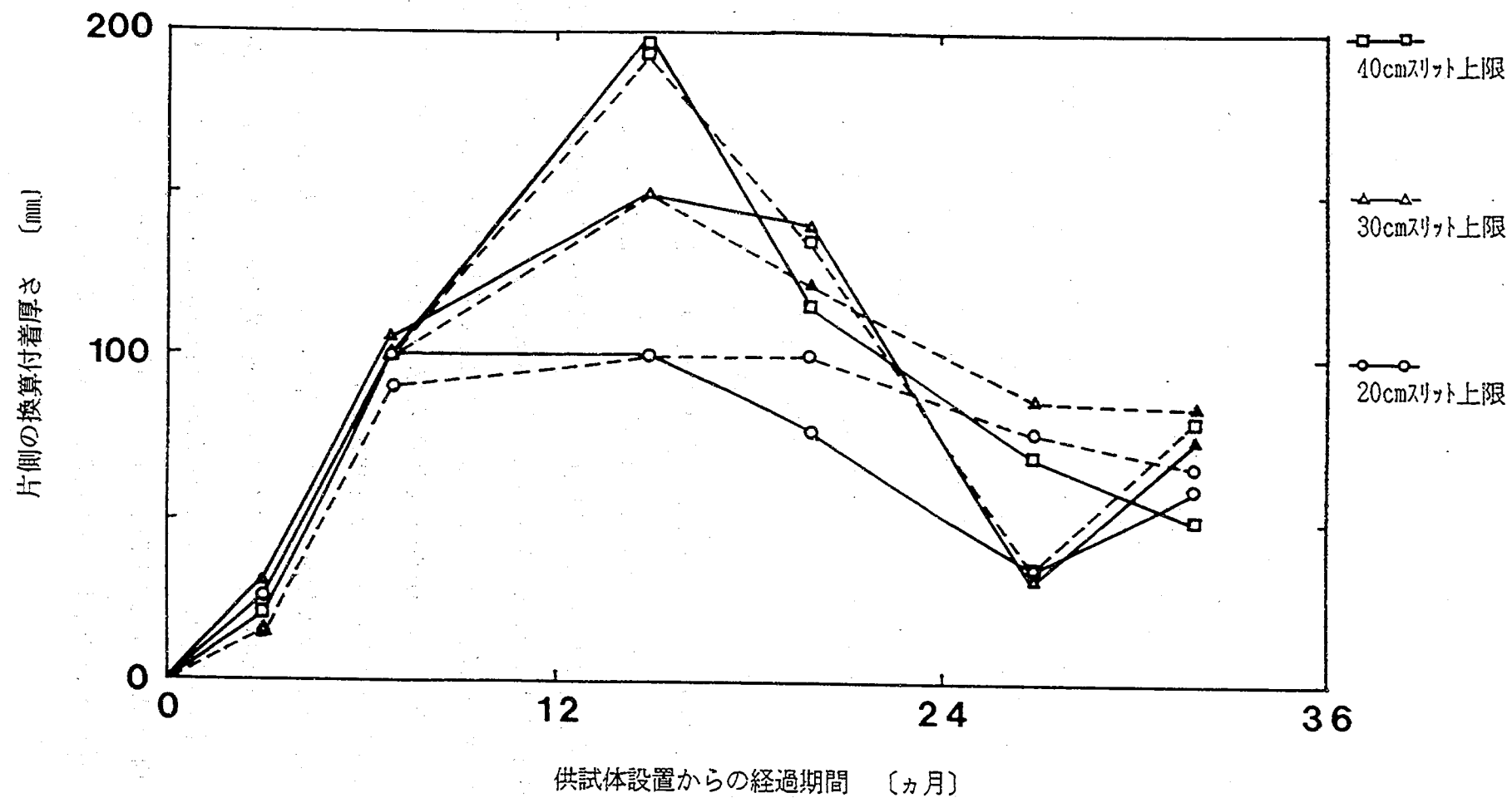


図-8 スリットモデル供試体の片側換算付着厚さの変化

5. 駿河海岸新型離岸堤における調査

駿河海岸新型離岸堤は、昭和62年度から中部地方建設局静岡河川工事事務所により工事が進められているスリット構造を有する消波構造物である。生物付着調査は、1期工事部分（昭和63年1～3月に消波部材施工）、2期工事部分（平成元年1～3月に消波部材施工）、3期工事部分（平成2年1～3月に消波部材施工）の3工区について行った。

（1）調査場所

新型離岸堤の構造と、調査した場所を図-9に示す。調査時工事済部分の海側（沖合に向いている側面）と陸地側および東西両側について調査を行った。調査場所においては、それぞれ図-10に示すように、部材の左側面、天井面、右側面の3面を測点とし、上面を観察と採取の対象として加えて調査した。

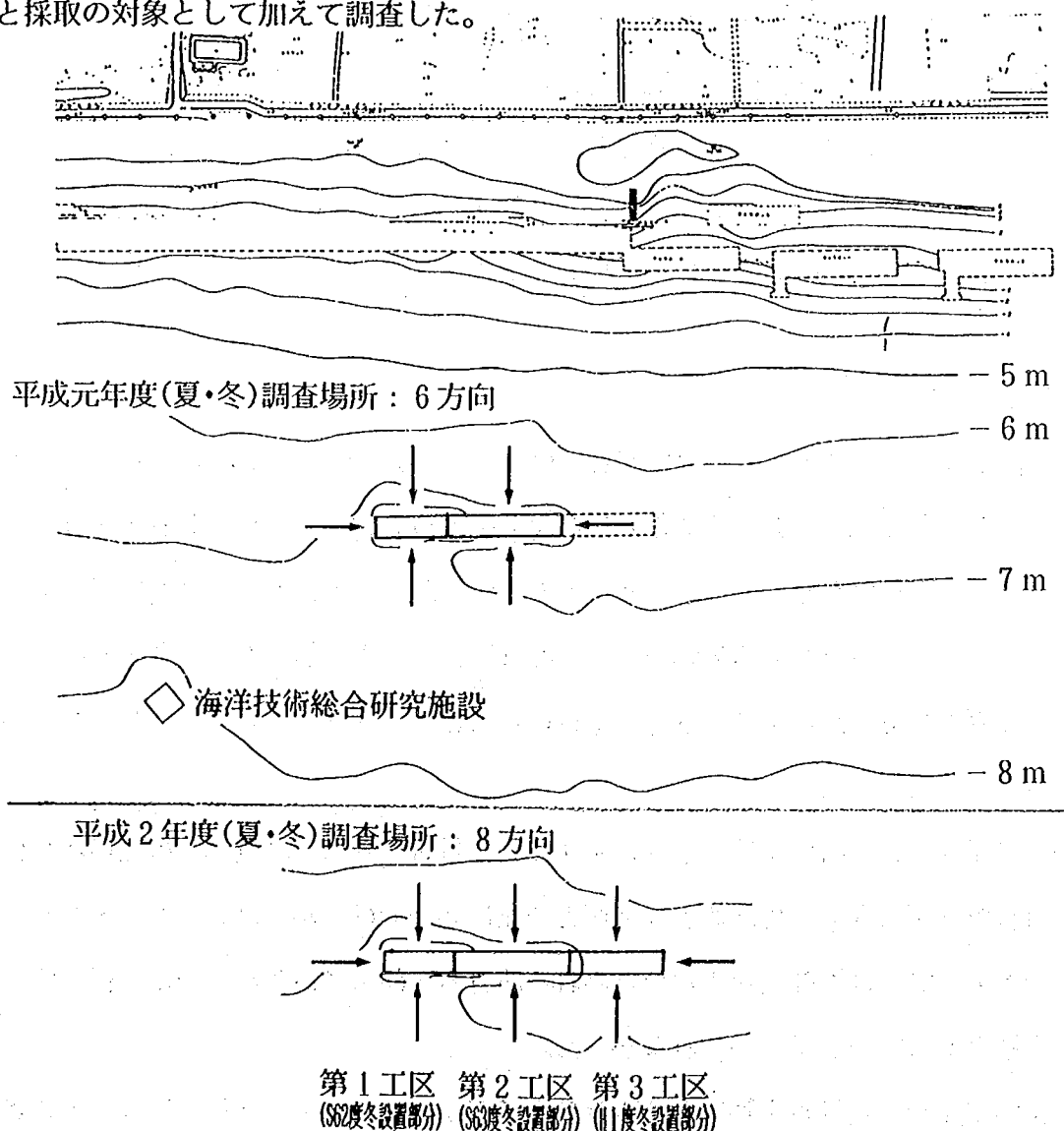
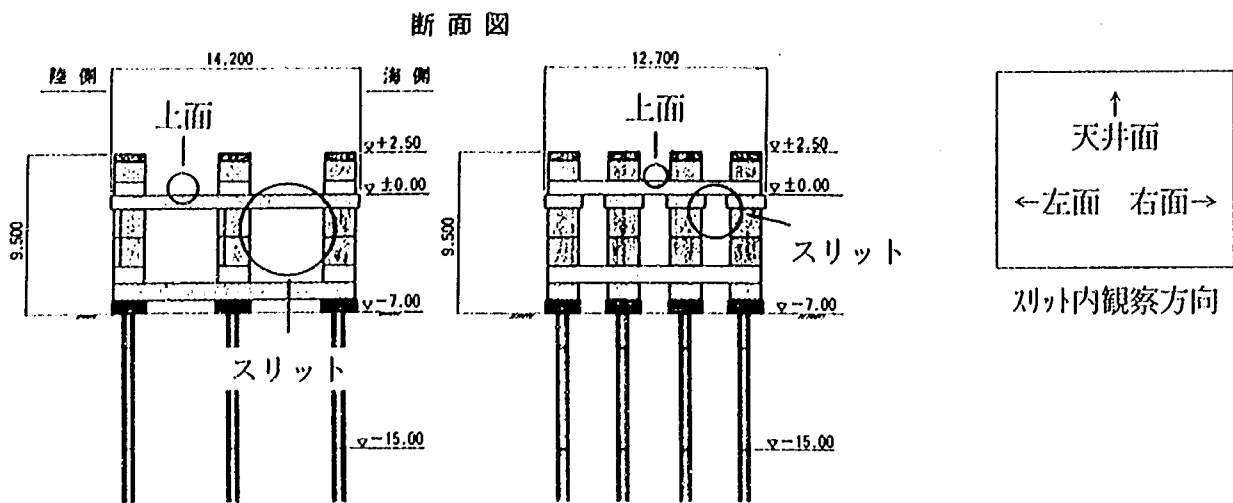


図-9 駿河海岸新型離岸堤の調査場所



(2) 調査方法

測点での調査は、前記海洋技術総合研究施設の既設杭と同様に、潜水作業員による付着厚さ測定と、水中写真撮影による生物種の構成とその状態観察を行った。さらに、各工区のそれぞれ陸側・海側の-3m部分と上面の各表面より生物採取を行い、実験室に持帰って生物種の同定とムラサキイガイの殻長測定を行った。ムラサキイガイの殻長は尖った先端から後端までの最大長で表示し、これはハマグリ型貝類の殻高に相当する。

(3) 調査結果

生物種は設置後経過年数の少ない部分では、上面がアオサ類（緑藻）・ムラサキイガイ・フジツボ類・マガキであり、アオサ類が大半を占めていた。スリット消波部分ではムラサキイガイとフジツボ類でありムラサキイガイが多かったが、生物の無着生部分も散見された。経過年数の多い部分の生物種は、上面は同様にアオサ類・ムラサキイガイ・フジツボ類・マガキであった。スリット部分ではほとんどがムラサキイガイであり、わずかにフジツボ類が観察された。

新型離岸堤の調査結果を表-15に示す。生物付着厚さは、設置からの経過年数に比例して付着厚さが大きく、外洋側と陸地側との差は顕著ではなかった。また、天井面と左右面との差については天井面が少ないとみれる部分も一部にはあるが、やはり付着厚さと付着生物種とも有意の差は認められなかった。

新型離岸堤の主要付着生物であるムラサキイガイの殻長は、構造物設置による稚貝の着生からの経過期間に応じて成長を続けている。

表-15 新型離岸堤の生物付着状況

単位 (mm)

表 13 利根川岸線の生物調査状況																									単位(個)																				
	第一期工事部分										第二期工事部分										第三期工事部分																								
	調査時経過年数										調査時経過年数										調査時経過年数																								
	西端面			陸側			海側				陸側			海側			東端面				陸側			海側			東端面																		
	左	天井	右	左	天井	右	左	天井	右	左	天井	右	左	天井	右	左	天井	右	左	天井	右	左	天井	右	左	天井	右																		
	ムラサキガイの殻長										ムラサキガイの殻長										ムラサキガイの殻長																								
陸側					上面					海側					陸側					上面					海側					陸側					上面					海側					
元年度夏調査	1年7カ月経過										7カ月経過										-																								
	80	80	80	70	90	90	80	80	80	60	60	60	60	60	60	70	70	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-																		
	-					-					-					-					-					-					-														
元年度冬調査	2年経過										1年経過										-																								
	120	125	85	70	70	60	90	100	120	40	30	50	55	50	60	50	60	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-																		
	59±9					52±4					60±10					37±8					付着を認めず					33±8					-					-									
	2年7カ月経過										1年7カ月経過										7カ月経過																								
2年度夏調査	10	15	15	70	70	60	80	70	70	70	50	50	70	70	70	-	-	-	60	60	70	50	50	60	30	40	30																		
	68±6					44±4					76±9					57±5					40±4					65±5					25±2					24±2					8±1				
	3年経過										2年経過										1年経過																								
2年度冬調査	70	40	70	20	40	50	50	30	60	70	30	70	60	30	60	-	-	-	60	70	40	70	30	60	70	30	40																		
	75±4					57±3					73±9					61±4					44±4					62±3					35±4					29±4					36±4				

(4) 考察

生物種について、観察結果を概念的にまとめたものが表-16である。

表-16 生物種変遷の概略

期 間	離岸堤上面				スリット部分	
短 … 長	◎フジツボ類	ムラサキガイ	フジツボ類	フジ	◎ムラサキガイ	○フジツボ類
	◎フジツボ類	○ムラサキガイ	フジツボ類	フジ	◎ムラサキガイ	フジツボ類

新型離岸堤の上面高さはおよそT.P. ± 0 mのため、日照量が多くアオサなどの藻類が繁殖成長しやすい。しかも部材の設置時期が冬期であったため動物類の浮游幼生が比較的少なく藻類の胞子が多く存在するため、これらの藻類が先に付着繁殖し、他の動物類が付着しにくい表面状態になったものと推測される。つまり、季節的な要因としてスリット供試体は前記のようにフジツボ類の幼生などが付着しやすい時期に設置したが、新型離岸堤コンクリート部材の設置は1～3月の冬季であり、フジツボ類の幼生などが海中を浮遊している時期を過ぎているため、藻類などが先に付着しておりフジツボ類やイガイ類が付着しにくい表面状態にあったと考えられる。今後時間が経過するにつれて、ムラサキガイが付着領域を拡大し優占順位が代わるのではないかとと思われる。

スリット消波部分については、設置時からムラサキガイが着生成長し、殻長の増大とともに付着厚さと付着領域を拡大している。ムラサキガイは、幼生の放出・浮遊期間が10月から4月（あるいは6月）といわれているように期間が長く初期付着において優位にたっており、また成長力が強く速度が速いため短期間に付着領域を拡大し他種を容易に被覆してしまう。本調査においても設置初期にはムラサキガイとフジツボ類が領域をわけて共棲している。ところが、既設杭やスリット供試体調査で観察されたように、少なくとも当海域においてはムラサキガイの死滅の期間があるものと思われ、今後ある程度優占付着を続けた後は脱落し、次第に多様な生物相へ変化してゆくものと予測できる。

付着厚は設置時から増加し、調査間隔が長いため数字に正確さはないがおおよそ1年強で、最大厚さ7～12cmまで成長し、その後7cm程度の厚さで安定する。経過期間の長いものは2年～2年半で生物脱落により付着厚が減少している部位もある。この期間は前述の各調査項目における期間とほぼ一致しており、ムラサキガイの成長と死滅によるものであると推測できる。つまり、既設杭やスリットの結果からわかるように、ムラサキガイの死滅脱落時期は着生開始から起算して2～3年であるため、新型離岸堤においても今後近い間に脱落が起こるのではないかと考えられる。

ムラサキイガイの殻長変化をプロットしたのが図-11, 12である。ただし、この図は同一部分の時間的变化を示したものではない。新型離岸堤が3工区にわけて1年おきにずれて設置されたため、各工区における平成元年冬から2年冬の調査における1年間の結果を、経過期間に応じた3年分として図示したものである。また個体差による殻長のバラツキの範囲を併せて表示してある。

各工区ごとの経過期間境界の値（設置から1年と2年の点）がほぼ一致しているのは、ムラサキイガイの成長量（殻長）が設置からの期間のみで決まるということであり、これはスリット供試体における初期の付着厚増加速度が等しいこと関連して説明できる。

ムラサキイガイ成体の殻長は通常8 cm以下、最大でも10 cmとされている。今回の調査においては、陸側は増加を続け最大値に収束していないが、海側については6～9 cmで上限に達しているとみてよく、これに該当している。そして、2～3年でおこるムラサキイガイの脱落は、その成長（殻長変化）と関連性があり、一種の寿命といえるものではないだろうか。

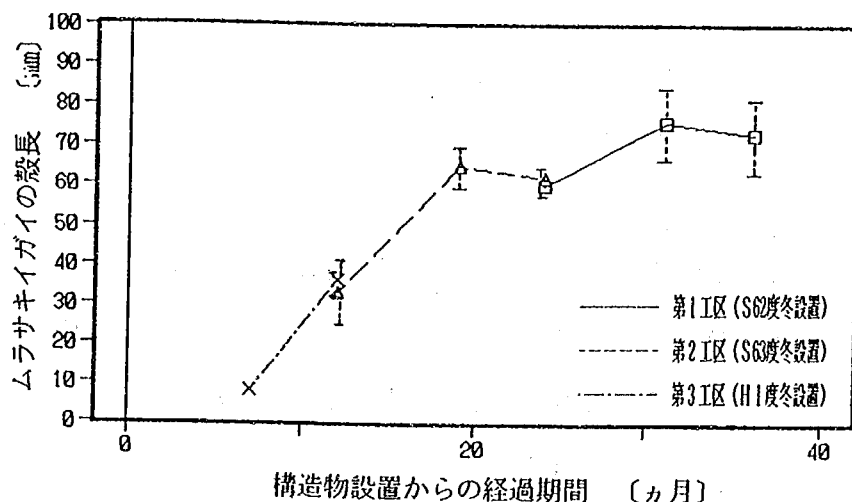


図-11 新型離岸堤海側におけるムラサキイガイの殻長変化

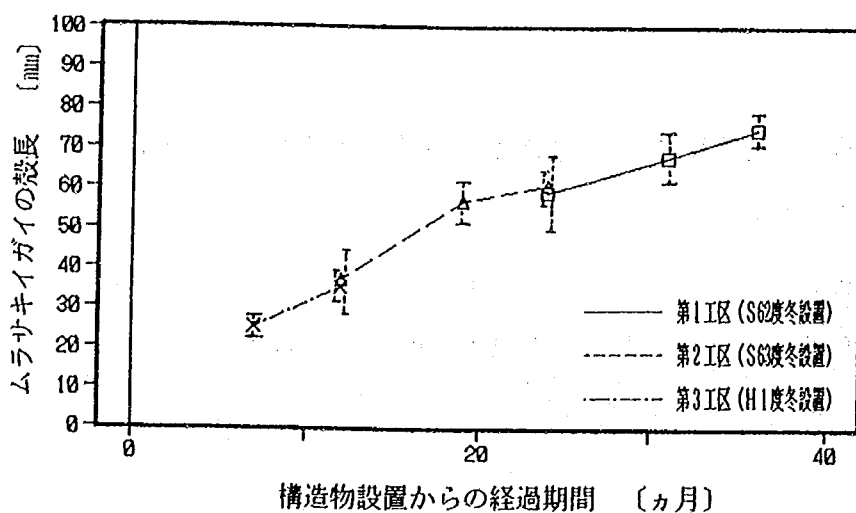


図-12 新型離岸堤陸側におけるムラサキイガイの殻長変化

(5) 海中生物の付着による波力の増大

駿河海岸新型離岸堤の場合に、海中生物の付着によって波浪強度がどの程度増加するか水平波力の試算を行った。海中生物の付着による波浪の増大については設計時に考慮されていない。そこで以下のような仮定に従って水平波力の試算を行った。

(仮定)

- ①海中生物の付着厚さは水深等に関係なく、離岸堤部材の全ての表面に均一に10 cm だけ付着したものとする。
- ②付着生物は、試算波浪時にも剥離せず波浪荷重を受けるものとする。

1. 計算方法

水平波力の計算は、新型離岸堤の設計に用いられた方法を準用する。具体的には、合田式に低減係数を乗じることにより波力を算定する。この低減係数とは、構造形状による低減効果と空隙による低減効果を総称したものであり、表-15に記述してあるので参照して頂きたい。

次に波力を受ける面積の考えかたについて、図-13に示す。図中の実線は、新型離岸堤を正面から見た投影面積（2，3枚目スリット）である。これに対し、破線は生物付着後の投影面積を示すものである。この図より空隙率を求めると以下ようになる。

生物付着前 25.0%

生物付着後 20.7%

2. 計算結果

海中生物付着前と付着後の波力の試算結果を表-17と表-18に示す。

要約すれば、その波力は、

生物付着前 35.22 [t/m]

生物付着後 37.28 [t/m] (5.8%増)

となり、約6%増大する結果となった。

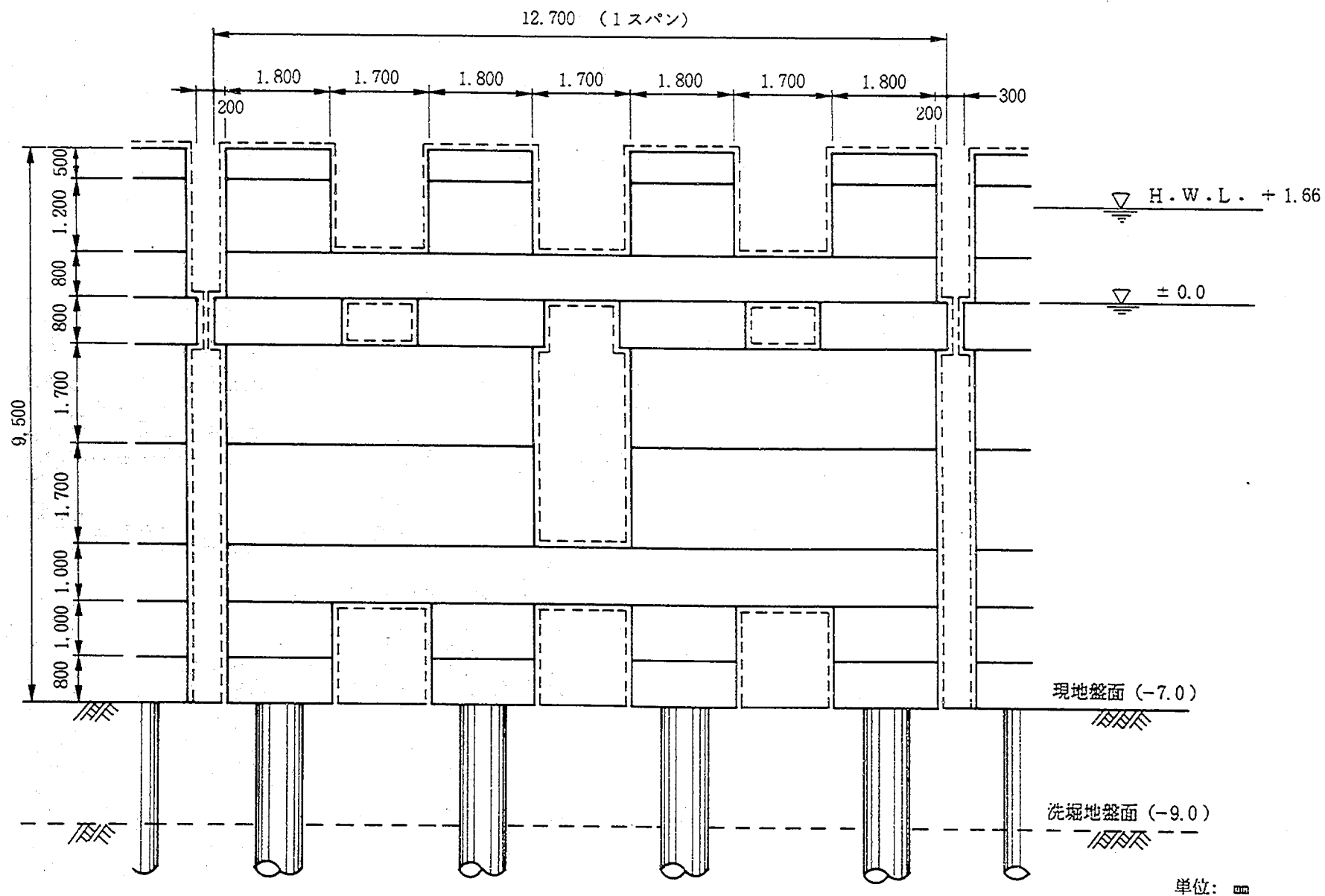


図-13 駿河海岸新型離岸堤の正面投影図 (2, 3 枚目スリット)

表-17 生物付着前の波力試算結果

《 合田式による設計波圧の算定 》

by Dr. Y. GODA
港湾構造物の耐波設計 (鹿島出版会)

〈設 計 条 件〉

1. 換算沖波波高 (有義波)	$HO' = 7.000$	(m)	} 試算のために設定
2. 沖波の有義波周期	$T1/3 = 10.000$	(sec)	
3. 設計波の入射角	$\beta = 0.00$	(deg)	
4. 海底勾配	$\tan \theta = 0.014$		} 現地の条件
5. 水深	$h = 7.00$	(m)	
6. 水面の水位	$W, L = 1.66$	(m)	
7. 構造物の前面水深	$h' = 7.00$	(m)	
8. マウンド上の水深	$d = 7.00$	(m)	
9. 天端高	$hc = 2.50$	(m)	

〈波高の略算結果〉

$$H1/3 = \begin{cases} KsHo' & : h/Lo \geq 0.2 \\ \min \{ (\beta_o Ho' + \beta_1 h), \beta_{max} Ho', KsHo' \} & : h/Lo < 0.2 \end{cases}$$

$$Hmax = \begin{cases} 1.8KsHo' & : h/Lo \geq 0.2 \\ \min \{ (\beta_o * Ho' + \beta_1 * h), \beta_{max} * Ho', 1.8KsHo' \} & : h/Lo < 0.2 \end{cases}$$

1. 有義波高 $H1/3 = 5.44$ (m) : $h/Lo = .0555128 < 0.2$
 浅水係数 $Ks = 1.087$: $h < h50$

$$\begin{cases} h30 = 14.65 \\ h50 = 11.50 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \beta_o Ho' + \beta_1 h = 5.44 \\ \beta_{max} Ho' = 6.44 \\ KsHo' = 7.61 \end{cases}$$

2. 最高波高 $Hmax = 7.24$ (m) : $h/Lo = .0580051 < 0.2$
 浅水係数 $Ks = 1.062$: $h < h50$

$$\begin{cases} h30 = 14.65 \\ h50 = 11.50 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \beta_o * Ho' + \beta_1 * h = 7.24 \\ \beta_{max} * Ho' = 11.55 \\ KsHo' = 13.38 \end{cases}$$

3. 沖波波長 $Lo = 156.00$ (m)
 波長 $L = 86.75$ (m)

〈合田波力の計算結果〉

[波力の低減係数 λ の選択]

$$\lambda = \lambda_1 \times (1 - \varepsilon)$$

λ : 波力の低減係数

λ_1 : 構造物の形状による低減効果

ε : 透過スリット壁の空隙率

構造物のタイプ : スリット型

低減係数 λ : 0.60

λ_1 : 0.80

ε : 0.25

1. 静水面での波力	$p_1 = 4.04$	(t/m ²)
2. 海底面での波力	$p_2 = 3.36$	(t/m ²)
3. 構造物底面の波力	$p_3 = 3.36$	(t/m ²)
4. 構造物天端の波力	$p_4 = 3.52$	(t/m ²)
	$\alpha_1 = 0.9034$	
	$\alpha_2 = 0.0000$	
	$\alpha_3 = 0.8311$	
	$hb = 9.0488$	
5. 波のはい上がり高さ	$\eta^* = 6.514$	(m)
6. 波圧合力	$P = 35.22$	(t/m)
7. 波圧によるモーメント	$M = 171.81$	(t*m/m)

表-18 生物付着後の波力試算結果（設計条件は表-17と同じ）

〈波高の略算結果〉

$$H1/3 = \begin{cases} KsHo' & : h/Lo \geq 0.2 \\ \min \{ (\beta oHo' + \beta 1h), \beta maxHo', KsHo' \} & : h/Lo < 0.2 \end{cases}$$

$$Hmax = \begin{cases} 1.8KsHo' & : h/Lo \geq 0.2 \\ \min \{ (\beta o*Ho' + \beta 1*h), \beta max*Ho', 1.8KsHo' \} & : h/Lo < 0.2 \end{cases}$$

1. 有義波高 浅水係数 $H1/3 = 5.44 \text{ (m)}$ $Ks = 1.087$ $: h/Lo = .0555128 < 0.2$
 $: h < h50$
 $\begin{cases} h30 = 14.65 \\ h50 = 11.50 \end{cases}$
 $\begin{cases} \beta oHo' + \beta 1h = 5.44 \\ \beta maxHo' = 6.44 \\ KsHo' = 7.61 \end{cases}$

2. 最高波高 浅水係数 $Hmax = 7.24 \text{ (m)}$ $Ks = 1.062$ $: h/Lo = .0580051 < 0.2$
 $: h < h50$
 $\begin{cases} h30 = 14.65 \\ h50 = 11.50 \end{cases}$
 $\begin{cases} \beta o*Ho' + \beta 1*h = 7.24 \\ \beta max*Ho' = 11.55 \\ KsHo' = 13.38 \end{cases}$

3. 沖波波長 波長 $Lo = 156.00 \text{ (m)}$
 $L = 86.75 \text{ (m)}$

〈合田波力の計算結果〉

[波力の低減係数 λ の選択]

$$\lambda = \lambda 1 \times (1 - \varepsilon)$$

λ : 波力の低減係数

$\lambda 1$: 構造物の形状による低減効果

ε : 透過スリット壁の空隙率

構造物のタイプ : スリット型

低減係数 λ : 0.63

$\lambda 1$: 0.80

ε : 0.21

1. 静水面での波力	$p1 = 4.28$	(t/m ²)
2. 海底面での波力	$p2 = 3.55$	(t/m ²)
3. 構造物底面の波力	$p3 = 3.55$	(t/m ²)
4. 構造物天端の波力	$p4 = 3.76$	(t/m ²)
	$\alpha 1 = 0.9034$	
	$\alpha 2 = 0.0000$	
	$\alpha 3 = 0.8311$	
	$hb = 9.0488$	
5. 波のはい上がり高さ	$\eta * = 6.893$	(m)
6. 波圧合力	$P = 37.28$	(t/m)
7. 波圧によるモーメント	$M = 181.93$	(t*m/m)

6. 材料別供試体における付着調査

海洋環境に構造物を設置する際には、部材の機能や防食、周辺景観との調和などの目的から様々な材料を用いる場合があり、このため部材には種々の材料表面が生じる。海中生物はその幼生や稚貝または孢子が着生する際に表面状態による選択性があるため、材料による生物付着の特性に注目して調べたものである。

(1) 調査場所

材料別供試体を製作し、平成元年8月に海洋技術総合研究施設の電気防食大型試験体上のスリットモデル供試体隣に設置し継続調査を開始した。

(2) 調査方法

材料別供試体は、材料の表面状態による生物付着量や種などの違いを調査するもので、海洋構造物において一般的に用いられる材料の中から表-19に挙げる材料構成を選定し、スリットモデル供試体と同じ大きさの試験板(30×60cm)を用いて、試験板の両面が東西方向を向くように設置した。(水平設置は上下方向)

表-19 試験板材料

		±0m	-1m	-2m	規 格	製 造 者
コンクリート		◎	◎	◎	W/C=49%, S/A=42%, 6φ鉄筋	誠 裕 コンクリート
鋼 板		○	○	○	JIS G 3101 SS41	中山製鋼所
塗 料	一般防錆	○	○	○	厚膜型エポキシ樹脂塗料	日本ペイント
	付着促進	○	○	○	硫安・硫酸鉄・珪砂いりエポキシ	日本ペイント
	特殊防錆	○	○	○	銅合金系塗料 (MF-200M1)	大日本塗料
そ の 他	ゴム被覆	○	○	○	クロロプレングム	横 浜 ゴ ム
	F R P 板	○	○	○	ガラス繊維強化変性ポリエステル	中川防蝕工業

◎：水平＋垂直設置 ○：垂直設置のみ

設置後の追跡調査はそれぞれ次のような内容で行った。

- (a)平成元年度冬(7ヶ月経過) : 付着状態観察、水中写真撮影
- (b)平成2年度夏(1年経過) : 付着状態観察、水中写真撮影
- (c)平成2年度冬(1年7カ月) : 付着状態観察、水中写真撮影、付着厚測定

(3) 調査結果

(a)平成元年度冬調査

設置から7ヶ月経過した平成2年度夏調査における、潜水士の観察と水中写真をもとにした観察所見を次に述べる。特殊防錆塗装鋼板はスライムが若干付着している程度で付着生物の着生はほとんどみられなかった。これ以外の全ての試験材料には生物が着生しており、付着量の最も多いのはコンクリート板（水平垂直とも）であり、次が電気防食鋼板と生物付着促進塗装であった。逆に比較的少ないのはFRP、ゴム、一般防錆塗装であった。

水深別の付着量は、コンクリート板では差はなかったが、その他では±0mが少なく、-1m、-2mと多くなっていた。付着生物種は、優占種がオオアカフジツボでその他にマガキ、フサコケムシ、チゴケムシ、管棲多毛類、カイメン類が観察された。コンクリート板水平設置では上面にマガキやフサコケムシが多く下面にフジツボが多かったが、垂直設置供試体では東西の付着種に差異は認められなかった。

調査時における材料・部位ごとの付着量と種類構成を表-20に示す。

表-20 材料別供試体の生物着生状況（平成2年度夏調査）

試 験 片	水深および設置方向						主なる付着生物の種類
	± 0 m		- 1 m		- 2 m		
	西	東	西	東	西	東	
①コンクリート板水平設置	A	A	B	A	B	B	オオアカツツボ 蚌類
②コンクリート板垂直設置	B	A	A	B	B	B	オオアカツツボ コケムシ類
③電気防食鋼板	D	C	B	B	B	B	オオアカツツボ 蚌類 コケムシ
④非電気防食鋼板	D	D	D	D	D	D	オオアカツツボ コケムシ類
⑤特殊防錆塗装鋼板	E	E	E	E	E	E	
⑥生物付着促進塗装	C	A	B	B	B	B	オオアカツツボ コケムシ類
⑦F R P 板	D	D	C	C	B	B	オオアカツツボ コケムシ 紅藻
⑧ゴムライニング鋼板	D	D	C	C	B	B	オオアカツツボ 蚌類
⑨一般防錆塗装鋼板	D	C	C	C	B	C	オオアカツツボ コケムシ 紅藻

付着量 : A.....B.....C.....D.....E
 最も多し 多し 少し付着 付着なし

※①コンクリート板水平は、西側＝上面側、東側＝下面側である。

(b)平成2年度夏調査

1年経過した平成2年度夏調査の結果として、各材料別の観察所見を以下に示す。また調査時における材料・部位ごとの付着量と種類構成を表-21に示す。

①コンクリート板水平設置

各水深の生物付着量に関して、どの供試体においても上面側が多く裏面側が少なかった。また付着種においては、フジツボ類は上面裏面側ともに見られたが、裏面側は上面側に比べカキ類が多かった。

②コンクリート板垂直設置

各水深の付着種の差異はないが、量的には±0mでフジツボ類が多く、それ以深ではカキ類が多かった。

③電気防食鋼板

各水深とも、付着量付着種ともに多く、フジツボ類、ムラサキガイ、カキ類などが目立った。

④非電気防食鋼板

③に比べると各水深とも付着量は少なく赤錆面がみられ、付着種はムラサキガイが比較的多かった。

⑤特殊防錆塗装鋼板

各水深ともカキが僅かに付着している他は、生物着生はほとんど見られなかった。

⑥生物付着促進塗装鋼板

③とはほとんど同じく、各水深ともに付着量、付着種とも多彩で、塗料の付着促進効果の発揮されている状況が認められた。

⑦FRP板

各水深とも付着量は比較的小さいが、付着種はフジツボ類などコンクリート板とほとんど同じであった。

⑧ゴムライニング鋼板

±0mでの付着量はやや少ないが、付着種は各水深とも変わらなかった。

⑨一般防錆塗装鋼板

付着種の水深別および方向変化は見られなかったが、各水深東側の付着量は研究施設の外側に面し波浪の影響を直接受けているためか、やや少なかった。

表-21 材料別供試体の生物着生状況(平成2年度夏調査)

試 験 片	水深および設置方向						主なる付着生物の種類
	± 0 m		- 1 m		- 2 m		
	西	東	西	東	西	東	
①コンクリート板水平設置	A	B	B	B	C	C	ムラサキガイ
②コンクリート板垂直設置	A	A	A	A	B	B	フジツボ類 千ガムシ
③電気防食鋼板	A	A	A	A	B	B	フジツボ類 千ガムシ ムラサキガイ
④非電気防食鋼板	B	B	C	C	C	C	ムラサキガイ
⑤特殊防錆塗装鋼板	E	E	E	E	E	E	
⑥生物付着促進塗装	A	A	A	A	B	B	フジツボ類 ムラサキガイ 千ガムシ
⑦F R P 板	D	B	D	C	D	C	フジツボ類 千ガムシ
⑧ゴムライニング鋼板	C	C	B	B	B	B	フジツボ類 千ガムシ
⑨一般防錆塗装鋼板	A	B	A	B	B	C	フジツボ類 千ガムシ

付着量 : A.....B.....C.....D.....E
 最も多し 多し 少し付着 付着なし

※①コンクリート板水平は、西側=上面側、東側=下面側である。

表-22 材料別供試体の生物付着厚さ(平成2年度冬調査)

(mm)

試 験 片	水深・設置方向ごとの最大付着厚						主なる付着生物の種類
	± 0 m		- 1 m		- 2 m		
	西	東	西	東	西	東	
①コンクリート板水平	100	90	70	110	60	80	ムササギガイ フツボ類 コケムシ類
②コンクリート板垂直	70	90	90	100	60	60	ムササギガイ フツボ類 コケムシ類 カイメン類
③電気防食鋼板	60	80	80	70	60	60	ムササギガイ コケムシ類 フツボ類
④非電気防食	40	80	80	70	70	80	ムササギガイ コケムシ類 フツボ類 紅藻類
⑤特殊防錆塗装	40	50	30	50	90	50	フツボ類 管棲多毛類
⑥付着促進塗装	120	80	80	100	50	70	ムササギガイ コケムシ類 フツボ類 カイメン類
⑦F R P 板	50	60	50	40	70	70	フツボ類 コケムシ類 紅藻類 ムササギガイ
⑧ゴムインゴ鋼板	60	50	70	80	70	70	フツボ類 コケムシ類 カイメン類
⑨一般防錆塗装	70	60	60	80	90	90	フツボ類 コケムシ類 カイメン類

※①コンクリート板水平は、西側＝上面側、東側＝下面側である。

(4) 考察

材料による生物付着の差異は、表面状態が生物種の構成に影響を与えるものではなく、生物相変化を含めた付着生物群の成長速度に影響するのが一般的と考えられる。ある材料を特に好んで付着する種が無いというわけではないが、今回の調査で付着群の成長速度がほぼ同じとみられる状態においては、生物種の構成にあまり差がみられないためである。当然ながら、生物群としての種の変遷や成長の程度が異なるため、一定期間経過後の材料個々の状態には明らかに差が生じる。なお、長期間経過後に生物相が安定し定期的増減を繰り返す時期における材料による特性は、今回の調査からはわからないが、構造物表面は堆積物がありしかも粗面になっているため大きな差異は生じないものと推測される。

生物相の変化は他の調査と同様に、まずフジツボ類やカキ類等が付着しその後ムラサキイガイが着生増加している。付着の遅い材料の場合は、初期の生物相変化速度も遅いためムラサキイガイが完全に優占をとらないうちに生物相が多様化してしまうようである。

試験材料のうち付着の速い材料は、コンクリート、電気防食された鋼板、生物付着促進塗装であり、付着成長の遅い材料は、特殊防錆塗装、電気防食のない鋼板、FRP、ゴムであった。銅合金を含む特殊防錆塗装では、スライムがわずかに付着しているだけで生物付着は1年間起きていないが、効果の持続期間によりいずれは着生成長が起こるものと考えられる。電気防食は、鋼材の表面が還元状態となりまた浮き錆が生じにくいため生物付着が盛んになるといわれており、今回の調査結果においてもそれが確かめられている。また、生物による被覆は防食面積を小さくし犠牲陽極の消耗を低減するものと思われる。

7. 海域別の実態調査

海中生物は、水温や海流など様々な環境要因によって付着種・成長量等の違いが大きいとされている。駿河湾一海域の調査にとどまらず、各海域の生物付着の実態を把握して実構造物の生物付着調査に反映させるため、海域の違いによる生物付着の実態調査を実施した。

(1) 調査場所

日本沿岸における代表海域としては、駿河湾における前述の各項目調査を黒潮系・関東東海亜区の駿河湾において実施した。そこで、日本海沿岸系として新潟県大潟町、および黒潮系南海亜区の鹿児島県鹿児島市を調査地点として選定し実態調査を実施した。各調査地点の詳細を次頁に示す。

(2) 調査方法

観察および測定は、前記駿河湾施設における既設杭調査と同じ方法とした。東西南北の各方向について、満潮線付近の水面から1 mおきに海底までを測点とし、水中写真撮影と付着厚測定を行い、さらに付近からの生物採取により生物種の同定を行った。

(3) 調査結果

表-23, 25に新潟における調査結果を、表-24, 26に鹿児島における調査結果を示す。なお新潟冬期調査における付着の最大厚みは海藻類の繁茂している場合は伸びた状態で測定したため、海藻類の付着状況によりばらついた値になっている。また鹿児島における調査結果は-6 mまでのものを表にあげた。

主な付着生物種として、新潟ではカキ類とコケムシ類が多く付着しており、夏期にフジツボ類とムラサキイガイが、冬期にハバノリなどの種が多くなっている。鹿児島においては全体的にフジツボ類が多いが、夏期にコケムシ類、冬期にホヤ類とウミウチワ等の海藻類が増えている。生物相については、鹿児島のほうが種の数が多く複雑である。

両地点の夏期と冬期における、代表的な付着状態を写真集に示した。いずれも夏期にコケムシ類が、冬期に海藻類が増加しているのがわかる。また、鹿児島ではガンガゼやウミウチワなどの南洋系生物種の付着がみられる。

〔調査場所：新潟〕

新潟海岸における調査対象は、新潟県中頸城郡大潟町に設置されている波浪観測栈橋で昭和60年設置のポリエチレン被覆鋼管杭（直杭・斜杭）である。図-14, 15に設置位置と、栈橋の構造を示す。



図-14 構造物設置位置

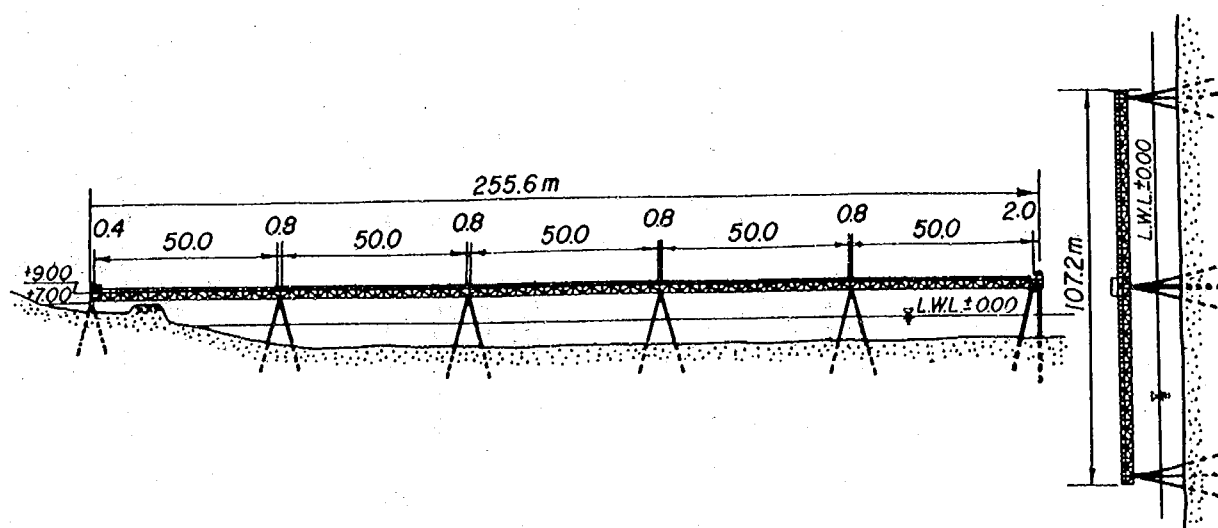


図-15 栈橋の構造

鹿児島海岸における調査対象は、鹿児島県鹿児島市鴨池に設置されている海釣り公園棧で、昭和60年度設置のポリエチレン被覆鋼管杭およびP B S 構造によるコンクリート被杭である。図-16, 17に設置位置と棧橋の構造を示す。

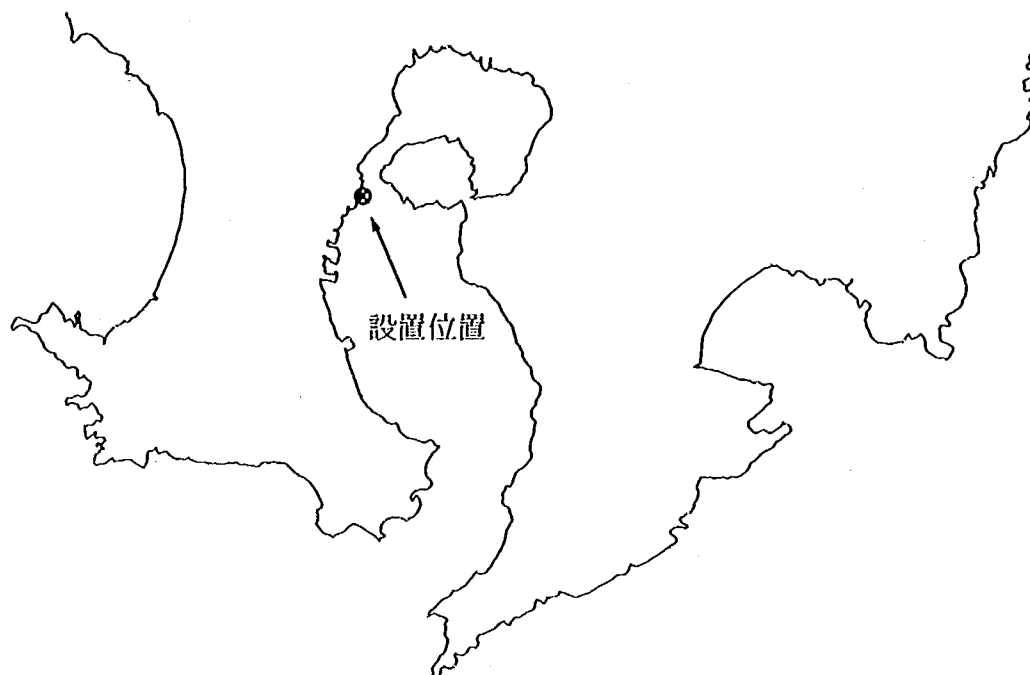


図-16 構造物設置位置

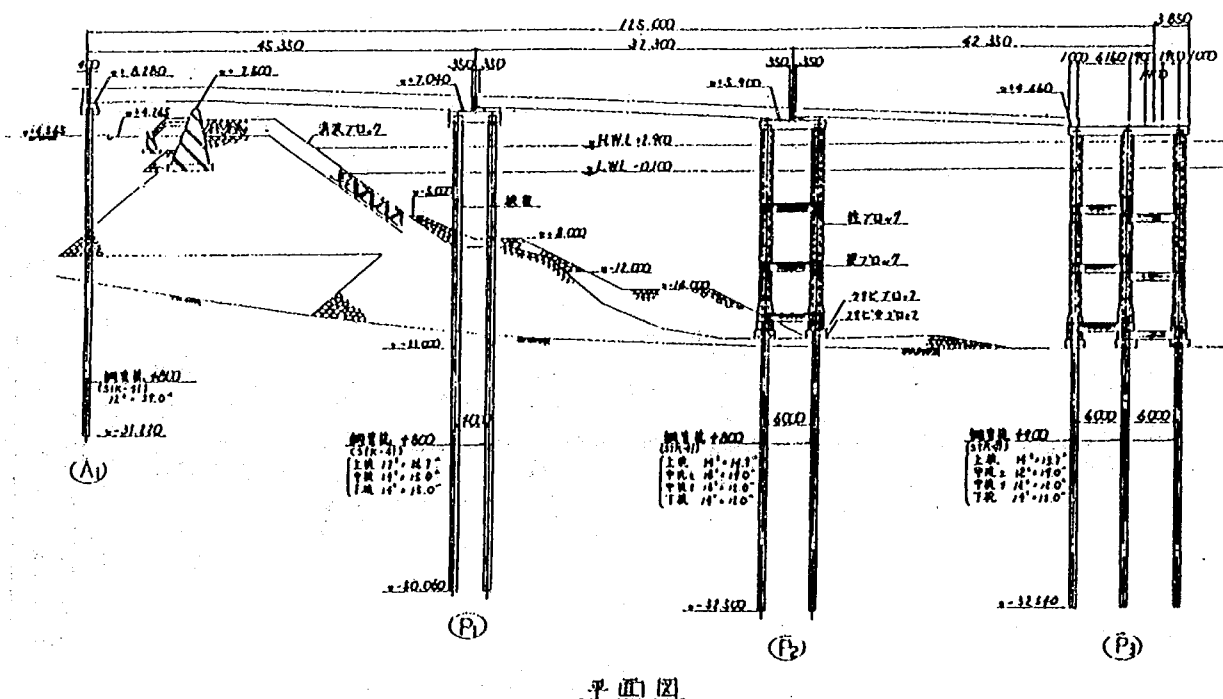


図-17 栈橋の構造

表-23 新潟海岸既設杭における生物付着状況(平成元年3月)

水深	最薄値(mm)	直杭(1200φ)				斜杭(600φ)			
(m)	最厚値(mm)	A北	B東	C南	D西	A北	B東	C南	D西
0	t T	10 30	40 40	40 50	40 70	3 25	0 45	5 45	0 55
-1	t T	30 40	60 80	10 55	30 45	5 75	0 80	10 40	10 70
-2	t T	15 65	30 75	15 60	10 75	10 65	15 75	20 55	10 65
-3	t T	10 70	10 60	15 90	10 140	15 100	5 40	15 75	20 95
-4	t T	10 80	20 90	15 65	20 90	10 55	15 130	10 75	10 105
-5	t T	10 105	10 100	50 90	10 70	0 150	5 100	5 80	5 60

主な付着 水深……0……-1……-2……-3……-4……-5
 生物種 (←フジツボ類→←イガイ類→) ←イワガキ→
 ←コケムシ類(広範囲に分布)→
 ←フトイギス→
 ←ハバノリ→

表-24 鹿児島海岸既設杭における生物付着状況(平成元年3月)

水深	最薄値(mm)	被覆鋼管杭				コンクリート杭			
(m)	最厚値(mm)	北	東	南	西	北	東	南	西
+2	t T	4 30	6 40	3 35	5 40	70 180	20 50	10 30	30 80
+1	t T	4 115	4 90	3 45	3 70	15 80	30 170	20 110	20 60
0	t T	5 60	6 75	10 35	10 45	25 60	10 65	10 30	20 70
-1	t T	3 60	10 50	8 50	20 50	15 70	5 65	15 50	10 45
-2	t T	7 55	15 45	10 40	8 70	30 70	15 60	15 75	30 45
-3	t T	10 60	7 50	10 30	15 70	17 90	25 80	10 60	20 70
-4	t T	5 60	10 25	13 55	10 25	10 110	20 60	15 60	30 50
-5	t T	2 20	2 30	6 75	5 40	10 30	20 80	30 50	20 105
-6	t T	3 80	5 50	3 30	5 50	15 100	15 90	10 40	5 50

主な付着 水深…+2…+1…0…-1…-2…-3…-4…-5…-6…
 生物種 ←フジツボ類→←フジツボ(北側のみ)→←フジツボ類→
 ←ケガキ→
 ←緑藻類・紅藻類→
 ←ウミウチワ(東側南側のみ)→
 ←ホヤ類→ ←ホヤ類→

表-25 新潟海岸既設杭における生物付着状況(平成2年10月)

水深 (m)	最薄値(mm)	直杭(1200φ)				斜杭(600φ)			
		A北	B東	C南	D西	A北	B東	C南	D西
0	t	5	10	5	5	0	0	5	0
	T	15	30	10	10	8	10	55	40
-1	t	5	5	5	5	10	5	5	5
	T	33	53	20	12	35	10	30	30
-2	t	10	10	5	30	10	20	30	20
	T	32	35	25	50	40	65	65	55
-3	t	20	10	5	5	10	30	30	10
	T	43	75	43	10	35	50	60	50
-4	t	40	10	10	50	40	80	30	50
	T	55	75	55	60	60	120	60	95
-5	t	30	50	20	50	20	10	20	30
	T	75	77	65	63	40	85	85	40

主な付着生物種 水深……0……-1……-2……-3……-4……-5
 ←フジツボ類(優占種)→ ←フジツボ類→
 ←イガイ類→ ←イワガキ→
 ←コケムシ類→
 ←紅藻類→ ←ヒドロ虫類→

表-26 鹿児島海岸既設杭における生物付着状況(平成2年9月)

水深 (m)	最薄値(mm)	被覆鋼管杭				コンクリート杭			
		北	東	南	西	北	東	南	西
+2	t	3	2	3	2	0	0	0	0
	T	31	45	31	12	40	35	25	35
+1	t	5	2	1	6	1	1	2	1
	T	65	65	45	65	40	45	27	33
0	t	7	8	6	2	1	1	1	1
	T	70	75	70	60	120	78	80	82
-1	t	6	9	12	6	5	1	1	2
	T	45	40	35	50	50	40	38	60
-2	t	3	6	3	5	5	6	1	1
	T	30	45	25	25	30	35	35	50
-3	t	2	5	3	5	5	4	10	2
	T	20	40	15	50	45	30	55	45
-4	t	2	2	2	2	5	6	6	5
	T	55	20	20	25	40	45	40	45
-5	t	1	3	3	1	8	7	5	5
	T	60	60	60	40	30	30	40	40
-6	t	1	1	1	1	2	5	7	3
	T	55	40	25	25	50	30	45	35

主な付着生物種 水深…+2…+1…0…-1…-2…-3…-4…-5…-6…
 ←フジツボ類→
 ←マガキ→ ←ウミヒドラ類→
 ←優占種→ ←コケムシ類→
 ←アオサ→ ←管棲多毛類→
 ←緑藻類・紅藻類→

(4) 考察

新潟海岸においては夏期にヒドロ虫類、冬期にフトイギスと紅藻類が選択的に付着している。

鹿児島海岸における元年度3月の調査では、静岡や新潟ではみられなかったウミウチワやガンガゼなどの生物が観察された。当海域は外洋の波浪を直接受けないため、表面積が大きな藻類であるウミウチワが成長しやすかったものと思われる。2年度9月の調査では藻類やホヤ類などの生物群の付着がほとんどなくなっていた。通常、藻類は冬のあいだに成長をするため、またシロボヤなどは初夏の産卵期をむかえた後は死滅し分解剥落するためであると考えられる。

生物の最大付着厚さについては、鹿児島海域では駿河海岸とほぼ同じで10～15cm、新潟海域においてはやや小さく5～10cmであった。構造物壁面への生物付着は底への堆積などと異なり、生物あるいは死後堆積物の付着強度からきまる限界があることは容易に考えられ、各海域の環境等により付着が極端に少ない海域はあるが、多い場合は考えにくいのではないか。

8. 海中付着生物の地域区分および付着群生態と生物種分類

(1) 日本沿岸の生物区分

日本の海洋生物相は黒潮系生物（南方系）と親潮系生物（北方系）に大別される。

太平洋沿岸では、犬吠岬を境に黒潮系と親潮系とに分かれている。しかし、種によっては犬吠岬以北にも生息範囲を拡げているものもあり、犬吠岬～襟裳岬の間は南北両要素の混合区となる。

日本海沿岸では、北上するにしたがって南方系要素が減少し、能登半島が一つの区切り点となる。日本海は大きな湾であるため、主として内湾の種類でありその分布は北海道沿岸からサハリンの西岸にまで及ぶ種類もある。この現象は、太平洋沿岸は外洋に面しており海流の影響が顕著であるため、区切りがはっきりしている種が多く、日本海沿岸は内湾のため海流の影響が少ないからである。また、日本海沿岸では、日本海が現在の形に出来上がるまでの地理的変貌が、生物の生息範囲を特殊にし、生物区を複雑にしている。

図-18は、内海富士夫氏による蔓脚類(フツボ)をもとにした生物分布図であるが、同じ海域においても海流の強く当たる場所、反転流の影響を受ける場所、河川の押し出しの影響を受ける場所などのさまざまな要因によって付着生物種、付着厚さが異なる。

駿河湾は、黒潮の影響を受ける暖流系生物帯であるが、駿河船状海盆が深く入り込み海底地形は他の沿岸にはない急傾斜となっている。このため冷水性深海生物が沿岸浅所まで侵入し生物相は複雑である。

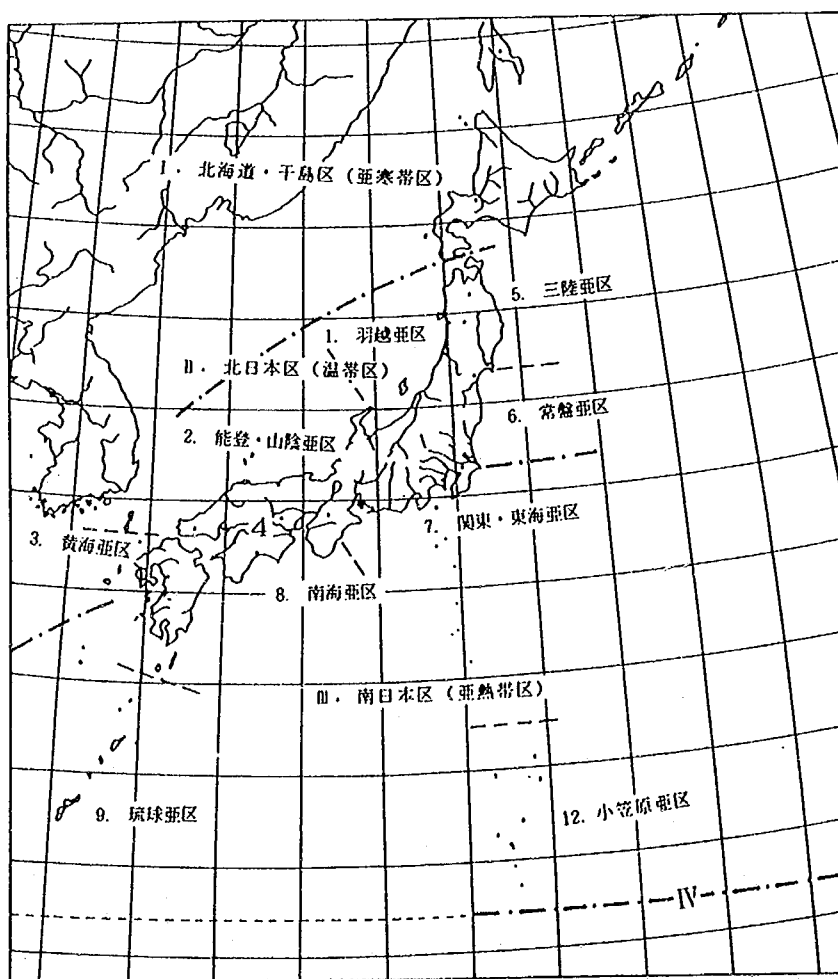


図-18 日本近海の動物分布区系

(2) 付着生物群の形成と変遷

付着生物と呼べるもののなかには、構造物表面に完全に固着しているものとこれらの上を移動しながら生活しているもの（第2次付着動物と呼ばれる）があるが、構造物へ直接影響するのは前者であり、ここでは主にこれらを対象として述べる。

海中に構造物を設置すると、部材表面にはまずスライムによる被膜が形成される。その後、産卵期間にある付着動物の幼生や藻類の胞子が付着する。これら幼生等の付着形態は固着強度、表面材質、表面形状、日照等に左右され、この生物種構成がその後の付着群生物相の変化に影響をもつ。そして着生した生物の成長においては、水温変化、塩分濃度、汚染度、給餌状態、波浪、流れなどの環境要因のほか、生物種間の被覆作用の強弱、付着機構、成長速度、世代維持などの優劣により群の構成員が変遷を続け、次第に安定生物相へと変化してゆく。安定生物相に落ち着いた後は、季節的な環境変化による周期的な変動を続けるが、この安定状態自体も付着群構成と環境変化に応じてゆっくりと遷移してゆく。急激かつ大きな環境変化や強力な侵略生物によりこの安定が崩れた場合には、ある程度の期間の後にその状況に適応した別の生物相へと向かう。

新規表面への生物の付着開始においては、設置時に幼生あるいは胞子が浮遊している生物種が付着の対象となることから、部材の設置時期が重要な要因となる。その他の要因としては、部材表面材質、部材表面形状、日照や色彩と、先に付着した同種に集まって付着する群居性などがあげられる。次にそれぞれの要因について概説する。

表面材料による付着への影響は、幼生着生時に与える効果のほうが固着後の成長過程に与える場合より大きい。金属材料においては、防汚性を持つ材料（主に銅と有機スズ系物質）の表面には付着が起こりにくい。また表面電位などの状態により幼生の付着は阻害され、電気分解等が起こり塩素の生成がある場合には付着は大きく抑えられる。有機材料や無機材料では、成分などの材質としての影響よりは、表面粗さや硬度による影響のほうが大きい場合が多い。

幼生が着生するためには部材表面流がある一定の流速以下である必要があり、たとえばフジツボ類の幼生が付着可能な流速は1 m/sec以下とされている。付着においてはボルト部分やコンクリート片枠継目等で生じる局所的な凹面から付着が始まり、さらには部材表面の仕上形状によって、フジツボ類とイガイ類等の付着機構が相違する（平面的か否か）種間の選択付着がおこる。幼生の浮遊時期における部材表面の流れが予測できるような構造物の設計計画が可能であれば、ある程度の付着制御が可能となるであろう。

また日照の影響は、幼生の走光性によって着生に差が生じるためであり、部材設置時における表面明度により付着状態に差ができる。この現象としては一般的に水深と方角による初期の付着分布があるが、表面の色彩選定によっても初期付着群の生物相に変化を生じる場合がある。

付着した生物群の成長は、水温変化、塩分濃度、汚染度などの化学的環境要因のほか、波浪流れや構造部材変形などの物理的要因により左右され、これらの要因が、付着機構、被覆作用の強弱、給餌状態と摂餌法、成長速度、世代維持機構の優劣などの生物間競合とからんで個体維持を支配する。この場合、先に存在している生物による時系列的なつながりにより一概に種の強弱が決まらないことが多い。

(3) 海洋構造物に影響を及ぼす海中生物種

付着生物種は構造物や環境への影響別に大きく分けると以下の様になる。

- (a) フジツボ類・イガイ類・カキ類・カンザシガイ類などの硬殻を持ち付着強度の大きなもの
- (b) コケムシ類・カイメン類・ホヤ類・イソギンチャク類・ヒドロ虫類などの動物
- (c) 緑藻類・紅藻類・褐藻類などの海藻類

消波堤等の海洋構造物への影響としての生物付着調査では、付着強度が強く硬い殻を持ち群体で層状に付着する種類と、死後に堆積物を形成する種類が影響すると考えられる。構造物の形状により生物が付着して目詰まりを起こすため、波浪荷重を増大させ安定性を損なう原因となる。これらは、(a)種のようなある程度厚みを持つ生物群(hard fouling)に分類される生物である。このような生物は元来岩礁等に生息していたものが移住してきたものであり、概して波浪に強い。例としてフジツボ類、イガイ類、カキ類、カンザシガイ類、サンゴ類などがあげられ、付着挙動について調べておく必要がある。またこれらの生物種が付着する場合、防食や美観のため構造物に施された被覆層にくいこむことが多く、剥離の際にこれを破損してしまう場合がある。

(b)(c)などの生物群(soft fouling)については、固い殻を持たない、堆積物を残さない、付着厚が大きくなりにくい、強い波浪により剥離脱落しやすいなどの要因から、構造物の安定性へ直接影響することは考えられないが、初期付着による優占種序列への影響や、魚礁効果などの海洋環境への影響としての視点から捉えておく必要があるだろう。これらの生物には、コケムシ類、カイメン類、ホヤ類、イソギンチャク類、緑藻類、紅藻類、褐藻類など数多くの種類がある。

①フジツボ類

節足動物 甲殻綱 蔓脚（まんきゃく）亜綱 完胸目 フジツボ科に属する。一般的には山形をなし石灰質の殻で包まれている。その形が円錐形に近く殻を壺にみたててフジツボ（富士壺）の名が付いたと言われる。

付着力が強く、その形状から波浪に対して安定であり、石灰質の殻を残すため、その上に新たなフジツボが付着し厚さを増してゆく。古くから船底や養殖施設等の汚損生物として知られており、スリットなどの複雑な形状をもつ構造物には最大の敵といえる。

フジツボの仲間は貝類ではなくエビカニと同じ種類に属する。他の甲殻類と著しく異なり、見掛けが貝類と類似しているので軟体動物に分類されていたこともあるが、幼生の生態の研究から、甲殻類であることがわかった。

卵生で、ナウプリス幼生で孵化し、次に蔓脚類に特有な二枚の殻を持つキプリス幼生となりさらに変態してフジツボとなる。

蔓脚亜綱完胸目は622種におよび、日本近海には194種類産する。すべて海産で、終生岩や浮遊物その他のものに付着している。

日本近海では、大型のものではオオアカフジツボ、クロフジツボ、小型のものではサンカクフジツボ、イワフジツボが一般的に知られている

(a) オオアカフジツボ

直径4 cm、高さ5 cmを越えるものもまれではない、広い殻口を上にした円筒に近い円錐形で、周殻表面には不明瞭な縦肋と下向した小棘が下半部にある。

全体に淡赤色を呈するも個体によって一様ではない。相模湾および福井県東尋坊以南の南日本暖流水域に分布し、外洋に面した低潮線付近の岩礁に群棲する。

(b) クロフジツボ

周殻は直径3～4 cm、高さ2.5～3.5 cm位の大型種、殻口は円形、周囲は4枚の殻よりなり、咬合線は外見状しばしば不明瞭となる。一般に急円錐形をなし、幼若なものは殻口は小さいが老成すれば口縁は浸食されて広がる。

殻表は暗紫灰色で内部の鞘面は暗紫黒色。潮間帯岩礁に生息し、本州北部より種子島まで分布する。

(c) サンカクフジツボ

周殻は円錐形で、殻口はつねに三角形を呈する。直径1.5 cm内外が普通、殻表には白色の細い縦走肋が多数走り、それらの間は淡紅色ないし紫紅色を呈する。殻底は石灰質

で上縁はほとんど水平。

一般には船底浮標や底棲動物の殻や骨格等に付着し、岩石に付着することは比較的少ない。本邦沿岸では、最も普通に見られ、世界的に分布し、低潮線下 3,000 m の深さに及ぶ。

(d) イワフジツボ

日本近海でごく一般的に見られる種であるが、直径が 1 cm 以下の小型種であり、付着量からみて消波堤への影響は少ないと思われる。

②イガイ類

軟体動物 二枚貝綱 翼形目 イガイ科に属するくさび形の黒い二枚貝。防波堤などの干満帯部分に黒い塊りとなって付着しているのがイガイ類である。

産卵期は 3～6 月が多く、腹側殻頂近くから足糸を出して岩礁などに付着する。最近海洋バイオの研究が盛んだが、このイガイ類の足糸の強力な付着力が注目され、新しい接着剤を開発する研究もなされている。低酸素海水中でも十数日生きることが確認されており水質の変化による影響を受けにくい。イガイ科にはイガイとムラサキイガイの他ヒバリガイ、コケガラスガイ、エゾイガイなどがある。特に、ムラサキイガイは最近になって日本へ侵入してきた種類であり、フジツボ類とならんで汚損動物とされ養殖場や導水管などの浅海域における付着被害が問題となっている種類である。

(a) イガイ

殻長 15 cm、殻幅 5 cm、高さ 7 cm くらいになる。殻は厚く、細長い三角形で腹線側はまっすぐで後背側は湾曲している。地方名が多く、セトガイ、シュウリガイ、カラスガイなどとも呼ばれている。

北海道南部から九州、朝鮮、中国北部に分布する。潮流の急な深さ 1～20 m くらいの岩礁に付着する。

(b) ムラサキイガイ

1920 年代に日本へ侵入してきた種類で、これにより日本沿岸域の付着生物相は大きく変化した。イガイに似ているが、殻長 9 cm、殻高 5 cm とやや小型で殻が薄く殻質もイガイより弱く色も紫がかっている。分布もイガイと同じであるが、生息場所はやや浅い所にかぎられている。港湾の岸壁や栈橋の杭などに着生するほか、真珠やカキの養殖筏などに付着し、養殖場では害敵である。

③カキ類

軟体動物 斧足類 翼形目に属するイタボカキ科の二枚貝で、カキ類は左殻で岩などに付着し付着生活をおくる。殻型は長卵形、円板形など種類によってことなるが、固着場所の状態に影響され不規則なのが普通である。外洋にも内湾域にも分布し、潮間帯ないしは浅海底帯に生息する。岩礁などに付着する左殻は深く膨らみ、右殻は膨らみが弱くやや小さい。産卵期は6月～7月、マガキでは水温22～25度が適温で産卵後ベリジャー幼生期が20日前後あり（イタボガキは幼生期28日）その後付着生活を送る。

種類によって住み場所が異なり、主に塩分濃度によって左右される。マガキは湾奥の塩分11～32%の比較的塩分濃度の低い所の潮間帯に付着する、ケガキやオハグログキは塩分濃度26～34%の外洋の潮間帯に住み、イタボガキは塩分濃度27～34%の内海の浅底の岩に付着する。従って消波堤へ付着するカキ類はイタボカキ、ケガキなどが対象となる。カキ類はこのほかにも、トリカギ、ワカギ、ツノガキなど、日本には約15種が知られている。

(a) マガキ

食用として美味であり、養殖され市場に出荷されているのはマガキである。岩礁や磯に付着するため、殻形は一定しないが、やや丸く、大きさは 殻長50mm、殻高100mm、殻幅50mmのものから殻長80mm、殻高350mm、殻幅100mmのものまでである。短小の型をシカメ、長大の型をナガガキと言う。

(b) ケガキ

殻形は付着生活のため一定しないが、垂円形で、殻高殻長とも40mm内外、殻幅は18mmで、殻の膨らみは弱く右殻は平らで、縁部は紫黒色で黒い管状の刺を多数生じる、内面は緑黒色。陸奥湾～九州、沖縄から南方諸島に広く分布する。

(c) オハグログキ

殻長30mm、殻高40mm内外となり、左殻は殻幅10mm位で右殻は平らで右殻の上にある、殻頂の方に尖り半円形にひろがった形をしている、殻表は灰紫色で縁部が黒褐色、16条内外の太いやや不規則な放射肋が出る。本州（紀伊半島）以南、インド、太平洋に広く分布し、外洋に面した潮間帯岩礁に分布する。

(d) イタボガキ

殻長130mm殻高120mm殻幅40mm、類円形～丸みある四角形で殻は厚く堅固で、殻頂部で付着する。殻表は栓皮蕨状の脆い殻片で被われ、約50条の放射肋がある。殻片は剝落し成長線のある白色膚となる。本州から朝鮮、中国沿岸の内海内湾に分布。

④サンゴ類

腔腸動物 花虫綱に属する石灰質または角質の共肉を作る群体をいう。このうち八放サンゴ亜目に属する数種は装飾用として珍重されているサンゴである。八放サンゴは水深50～200mくらいまでの深いところに生息しているため深海サンゴと呼ばれている。これに対し六放サンゴ亜目中のイシサンゴ目は、大部分が造礁サンゴ（または石サンゴ）で熱帯海域に大規模な珊瑚礁を形成する。ここでは、水深の浅い所で生息する六放サンゴを対象とする。

六放サンゴ類は、5亜目18科あり、炭酸カルシウムの強固な外骨格を持ち、イソギンチャクに似たポリプの触手は単生で杯状の穴の中に収縮することが出来る。生時では共肉部分は赤、青、かっ色などであるが肉質部を除去した骨格は白色である。

塩分の濃い、温度の高い、澄んだ浅い海をこのんで付着し、生活条件は非常に限定されている。

(a) アミメサンゴ

アストロセニア亜目中日本近海で普通に見られる種類で、表面に瘤状の突起のある塊状になり、広い基部で着生し、群体は30cm以上に達する。相模湾より以南の浅海から珊瑚礁地方に広く分布する。

(b) シロサンゴ

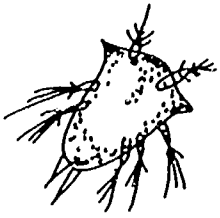
クサビライシ亜目アガシリア科、珊瑚体サボテンに似た葉状または板状群体の格子状に組み合わさった特異な外見を呈す。駿河湾以南の暖海の浅処に普通に見られ、日本近海でも6種が知られる。

(c) カワラサンゴ

クサビライシ亜目クサビライシ科、生きている時は褐色で、珊瑚体は浅い大盃状で薄い、中央下部で着生する群体。薄い周辺はしばしば薄葉状に褶曲し、またはリボン様に重なる。30cm以上に達する。駿河湾の奥、江ノ浦湾以南の暖海湾入浅海に特に多く紀州、九州などで変異種がとくに多い。太平洋・インド洋の珊瑚礁地方に分布する。

(d) キクメイシ

キクメイシ亜目 キクメイシ科、珊瑚体は群体性、径2～3mに達するものがある。相模湾、駿河湾以南の黒潮沿岸に最も普通の種で、夜間にポリプを開張し、口盤は普通青緑色を呈する。インド・太平洋の珊瑚礁に多い。



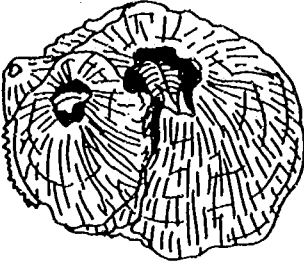
ナウプリス幼生



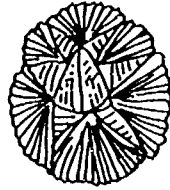
シプリス幼生



オオアカフジツボ



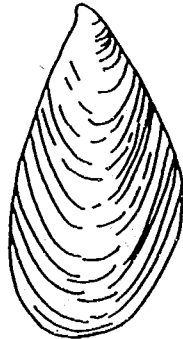
クロフジツボ



サンカクフジツボ



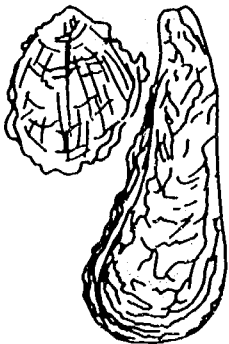
イワフジツボ



イガイ



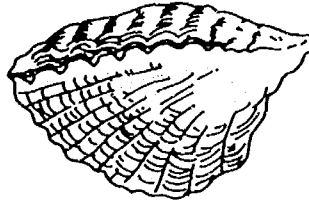
ムラサキイガイ



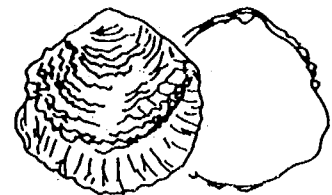
マガキ



ケガキ



オハグロガキ



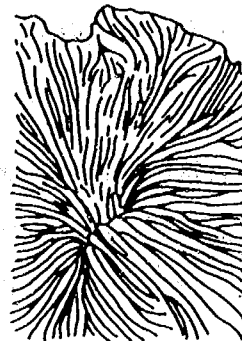
イタボガキ



アミメサンゴ



シロサンゴ



カワラサンゴ



キクメイシ

図-19 hard fouling に分類される生物群の例

9. まとめ

(1) 海中生物の着生と、その付着群の成長・安定の形態

構造物設置直後における初期の着生状況は、設置時期の産卵・幼生浮遊種の構成が主な要因となるが、今回の駿河海域における調査においては、初期付着は、春～夏設置の場合は主にオオアカフジツボ、冬設置の場合には藻類とムラサキイガイなどであった。

安定生物相はムラサキイガイ、フジツボ類、コケムシ類、カイメン類、藻類などが水深によって棲み分けされている状態となっていた。付着している生物群は、季節変化、海水温度、水質、波浪などの環境要因のほかに、付着種間における初期付着における時系列的順序、付着機構、摂餌法、世代維持機構の優劣、付着面への幼生の再付着性などに応じて安定な状態をとる生物相を構成し、周期的な変動を続けるものと思われる。

最大付着厚さはムラサキイガイの着脱周期（おおよそ2～2.5年）に起因し、5～15 cmのあいだを周期的に変動していた。

(2) 生物付着厚さの部材形状依存性

構造物部材のスリット配置や隅角部が海中生物の付着に与える影響について調べるために、駿河海岸においてスリットモデル供試体と新型離岸堤の調査を行った。部材面が40 cm以下に近接しているスリットについて付着厚さの変化を調べた結果から、付着群の初期成長段階において片面約20 cmまでは付着する可能性のあることが確認された。しかし、脱落等の生物相変化によってこの差はなくなり、また、新型離岸堤のように1 m以上の間隔がある場合には、連結部等の隅の部分を除いては杭状部材と同様に10～15 cmが最大値となることがわかった。

(3) 材料や海域による付着群の特徴

構造物材料は、種の構成へ関与するよりは、付着群全体の着生成長速度に大きな影響を与えることがわかった。

海域による条件は、付着種の構成へ大きな影響を与え、特に南方ほど種は多様化する。付着厚さは最大の場合でも20 cm以下であった。

(4) 付着群の測定法について

今回の調査では、付着状態は10～20 cm四方の範囲における最大厚さを主要な評価項目としたが、最大値の他に面的な平均付着厚や付着強度を加味した評価を行うことが望ましいであろう。方位については2～3方向でよいのではないと思われる。水深方向は、付着の認められる気中部（通常は満潮線付近）から海底までの調査が必要である。

構造物への影響としての生物種の同定は、わが国沿岸域に出現する海産付着生物の海綿類、ヒドロ虫類、管棲多毛類、コケムシ類、ホヤ類、二枚貝類（特にムラサキイガイ）の7動物群および海藻類までの類別をすればよいと考えられる。

参考文献

青木・伊藤信夫：生物付着の防止及び除去技術の開発，海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究（第Ⅱ期）成果報告書

伊藤信夫・梶原武：横須賀港におけるムサシキガイの生態，付着生物研究（1981）

伊藤信夫・梶原武：海洋構造物における生物付着，海洋科学技術センター報告No.14，（1985）

岩城俊明：本邦で一般的なフジツボ数種の繁殖生態，付着生物研究，3（1）

内海富士夫：日本産蔓脚類の研究Ⅱ，地理的分布，日本生物地理学会報，16－19（日本動物相の研究）113－123（1955）

沖山宗雄・鈴木克美編：日本の海洋生物－侵略と攪乱の生態学，東海大学出版会

梶原武：海洋汚損付着動物の生態学的研究，長大水産研報，No.16、1－138

梶原武・松宮義晴：統一調査（フジツボ、ムサシキガイの生態）昭和51年、52年
文部省科学研究費補助金総合研究（A）海産付着動物の生態と防除に
関する研究－研究成果報告書－，3－7（1978）

合田良實：港湾構造物の耐波設計 鹿島出版会（1977）

小坂昌也・石橋公：清水港における輸入種アメリカフジツボの性能分布，付着生物研究1（1）（1979）

小坂昌也・石橋公：清水港岸壁上でのタテジマフジツボの成熟、成長、死亡の付着層間の比較，生物付着研究，2（1）（1980）

付着生物研究会編：付着生物研究法－種類査定・調査法－，恒星社厚生閣

宮地傳三郎・黒田徳来・渡部忠重：日本近海の生物地理区について，生物科学，5（4）（1954）

山口寿之：付着動物の種類査定法（2）日本の海岸にすむフジツボ類について，付着生物研究，1（1）（1979）

新日本動物図鑑1981版、北隆館

世界大百科事典1981版、平凡社

大日本百科事典1972版、小学館

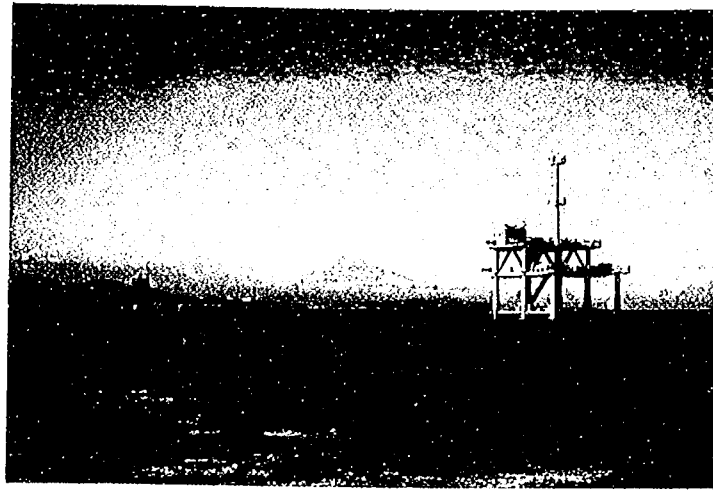
世界科学大辞典1977版、講談社

あとがき

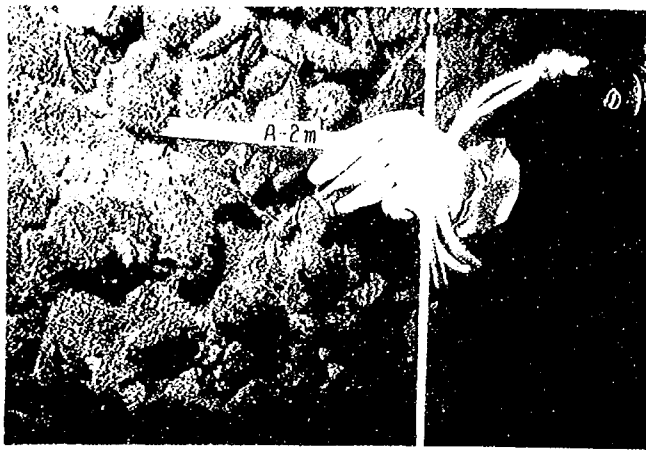
本研究は、MMZ計画における海域制御構造物への海中生物付着の問題として、生物生態学などの手法をもとにしながら、土木工学的な構造物からの見地に立って調査を行ったものである。本研究の調査方法とその結果が、海域制御構造物を含めた海洋構造物の設計施工やリゾート開発としての海洋環境問題を検討するうえで、有益な資料となることを期待し、また各方面の方々より御批判や御教示を頂ければ幸いである。

本調査においては、海洋科学技術センター伊藤信夫氏、京都大学防災研究所土屋義人教授、同白井亨助教授、鹿児島市役所古田義朗係長ほか多数の諸氏にたいへん御世話になった。また生物付着による波浪荷重の増大は、海岸研究室の小俣篤、川村哲也両氏によって作成したものである。ここに記して謝意を表する次第である。

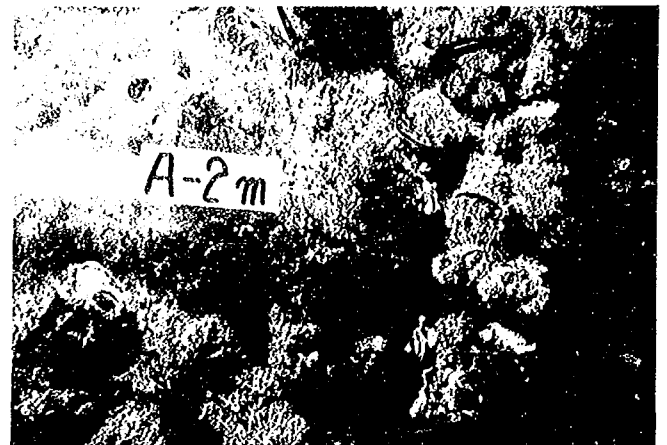
写真集



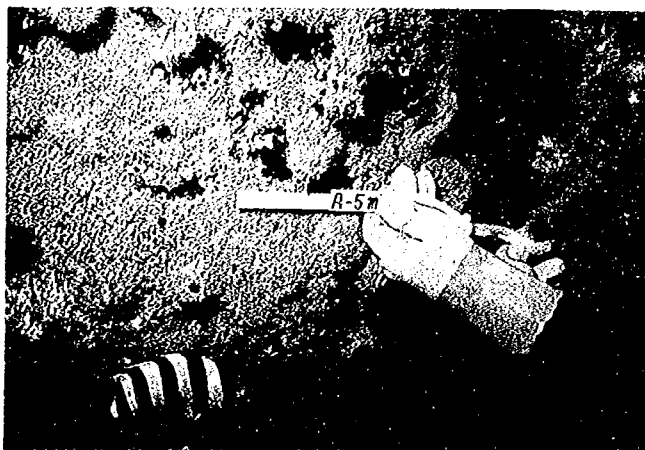
海洋技術総合研究施設 (a)と駿河海岸新型離岸堤 (b)



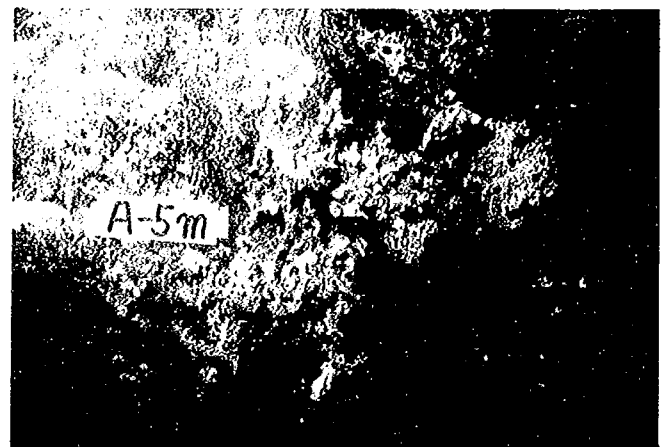
夏 (2年度) -2m
〔付着種：ムラサキガイ、チゴケムシ、フジツボ類〕



冬 (2年度) -2m
〔付着種：フジツボ類、ムラサキガイ、チゴケムシ、
フサコケムシ、ダイダイイソカイメン〕

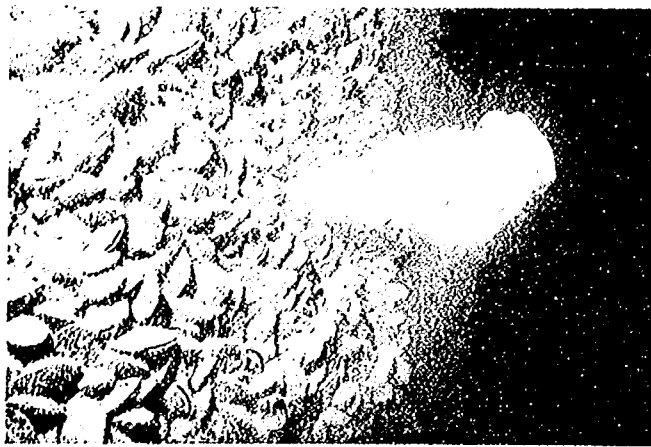


夏 (2年度) -5m
〔付着種：チゴケムシ、ムラサキガイ、フジツボ類〕

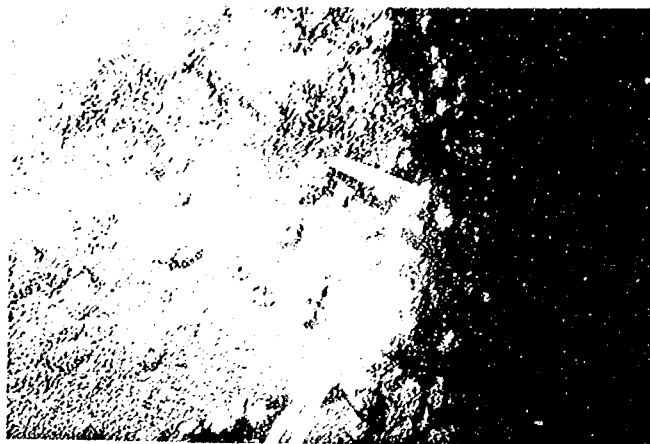


冬 (2年度) -5m
〔付着種：チゴケムシ、フサコケムシ、紅藻類〕

海洋技術総合研究施設の既設杭東側 (3 A 杭東方向) における生物付着状況

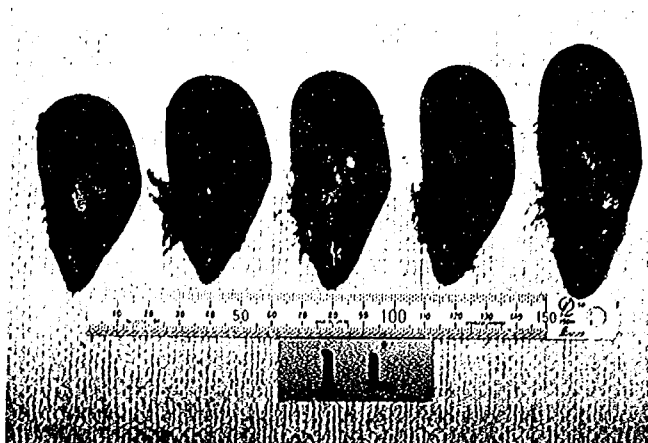


1工区 陸側 (31ヵ月経過)



3工区 陸側 (7ヵ月経過)

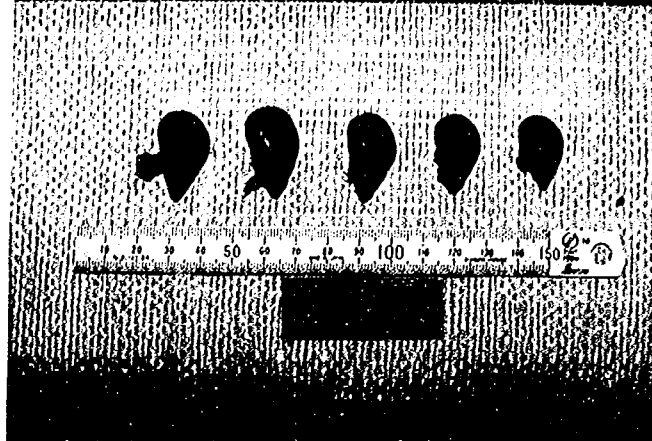
駿河海岸新型離岸堤の生物付着状況 (平成2年度 夏調査)



1工区 陸側 (31ヵ月経過)
殻長 $67.8 \pm 6.3(\text{mm})$

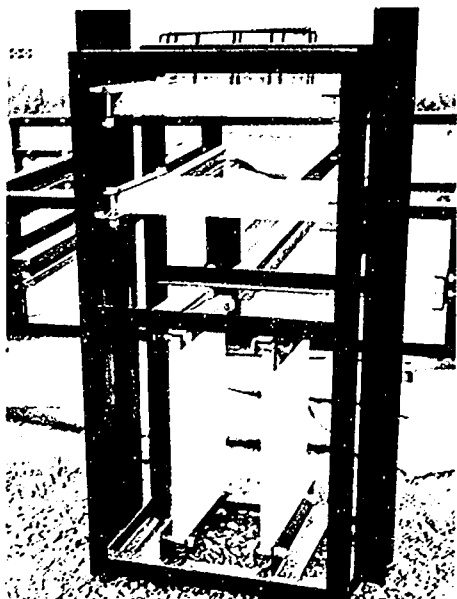


2工区 陸側 (19ヵ月経過)
殻長 $57.2 \pm 4.8(\text{mm})$

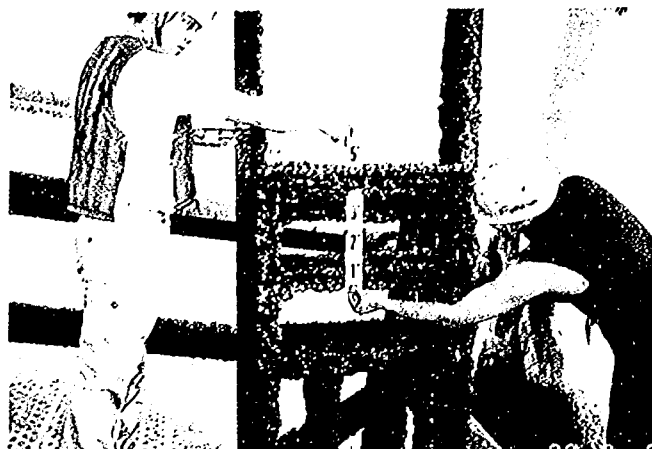


3工区 陸側 (7ヵ月経過)
殻長 $24.9 \pm 2.3(\text{mm})$

駿河海岸新型離岸堤におけるムラサキガイの形状 (平成2年度 夏調査)



スリットモデル供試体 (20cm幅)



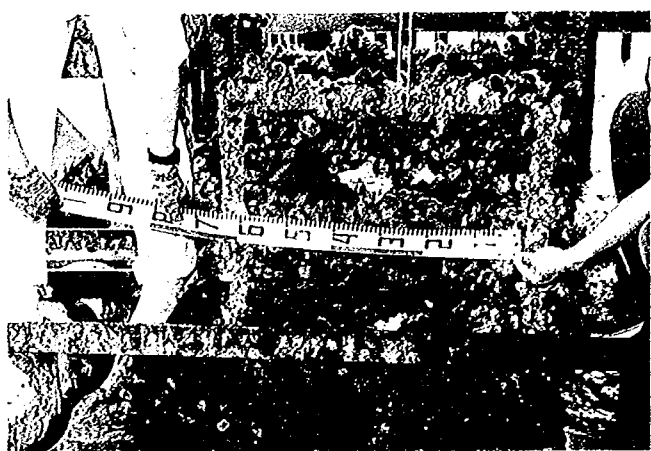
63年度 夏 (3ヵ月経過)



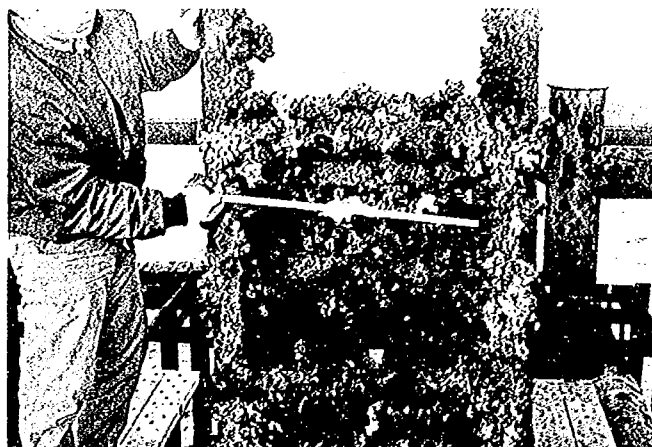
63年度 冬 (7ヵ月経過)



元年度 夏 (15ヵ月経過)

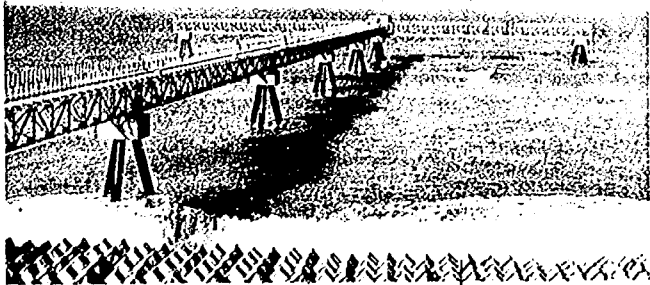


2年度 夏 (27ヵ月経過)



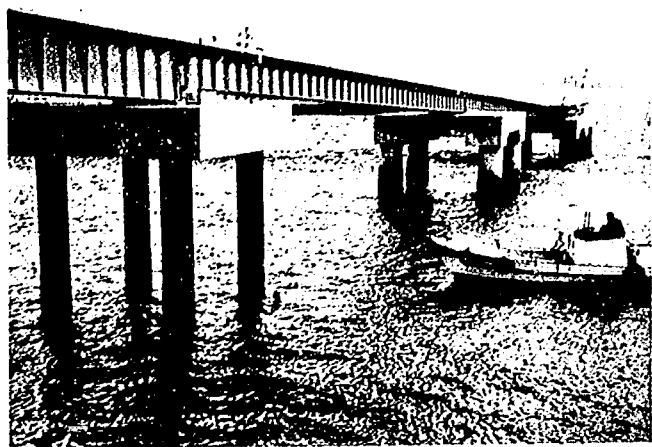
2年度 冬 (32ヵ月経過)

スリットモデル供試体 (20cm幅) の生物付着状況



栈橋（新潟）

〔調査対象は、分岐部直下の直杭と斜杭〕



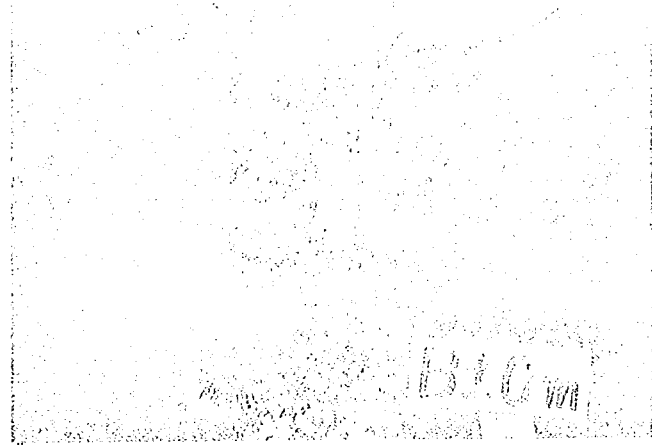
栈橋（鹿児島）

〔調査対象は、ポリエチレン被覆杭(左手前)と
PBS構造コンクリート杭(右奥)〕



新潟：元年度3月の調査

〔付着種：フトイギス、ハバノリ、アオサ類、ムラ
サキイガイ、コケムシ類〕



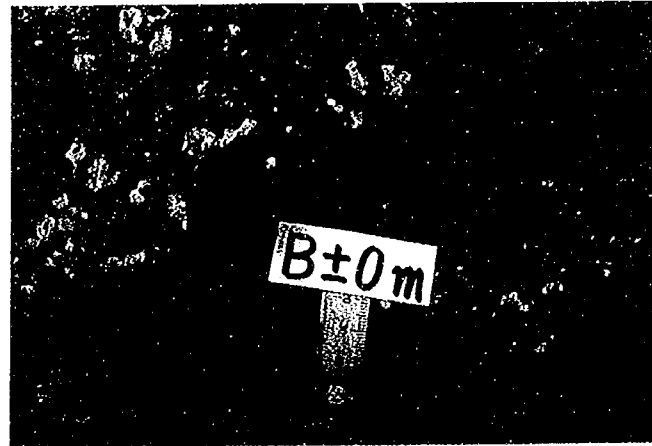
鹿児島：元年度3月の調査

〔付着種：ウミウチワ、フジツボ類、ホヤ類、ガン
ガゼ〕



新潟：2年度10月の調査

〔付着種：フジツボ類、ムラサキイガイ、紅藻類〕



鹿児島：2年度9月の調査

〔付着種：チゴケムシ、フジツボ類〕

海域別調査における生物付着状況（杭の東側、±0 m）

消波構造物への生物の付着挙動に
関する研究報告書

I S S N 0386-5878
土 研 資 料 第2985号
平成3年2月 (1991)

片 脇 清, 西 島 高 秀
佐々木 巖

要 旨 本報告書は、消波堤等の海洋構造物への海中生物付着挙動を明らかにするため、駿河湾における既設杭・スリットモデル供試体・材料別供試体・新型離岸堤などの各調査結果や、新潟および鹿児島
の各海域における既設杭の生物付着調査を行って、その結果をとり
まとめたものである。

キーワード：海洋構造物, 海域制御構造物, 消波構造物, 消波堤, 生物付着

郵便はがき

郵便切手
は
つ
て
下
さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
地質化学部化学研究室
行

No. 003

No. 003

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2985号
「消波構造物への生物の付着挙動に
関する研究報告書」 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印