

沿岸の環境保全コンクリート研究

— 磯焼けを防ぎ藻場を造る —

研究発表会テキスト

北海道土木技術会 コンクリート研究委員会
沿岸の環境保全コンクリート研究小委員会

序

北海道土木技術会コンクリート研究委員会より、平成 15 年 8 月に小委員会として沿岸の環境保全コンクリート研究小委員会の発足が承認され、4 年にわたり下記の 5 つのワーキンググループによって活動を行ってきた。

WG 1－漁場造成のための構造物の歴史と展望

WG 2－藻場のニーズ・要求性能・設計基準

WG 3－増殖機能材料の開発の現状・可能性と展望

WG 4－バイオによるポーラスコンクリートの増殖機能

WG 5－試験施工

これらの 5 つのワーキンググループの研究成果をまとめ報告するシンポジウムを行い、その成果を報告書として編集したものである。

この小委員会の活動の目的は、磯焼けなどによる沿岸環境の悪化を生態系コンクリートによって改善することを試みたもので、基材としてコンクリートあるいはポーラスコンクリートなどを用い、数ナノから数ミリの空隙を有効に用いて、有用な微生物群あるいは微小動植物が共生するハビタットを形成させること、マトリックス中に肥料要素を封じこめ徐々に溶解させ施肥効果を発揮させること、食物連鎖のために有用な自然腐植土などによる微生物群を徐々に連続的に供給することなどの手法を用いて、藻場の改善効果を供試体の沿岸曝露によって調査したものである。

磯焼けの原因としては海流の変化、水温変化や流速の変化などによるウニなどの食圧の変化、栄養分の川からの供給の変化など多様であることがわかった。その中で栄養塩、自然腐植土などのバイオとポーラスコンクリートの併用が沿岸環境改善に有効である可能性があることなどがわかった。

今後ともさらに長期間の調査が必要であり、さらに研究が進むことを期待している。

平成 19 年 9 月

北海道土木技術会 コンクリート研究委員会
沿岸の環境保全コンクリート研究小委員会
委員長 佐 伯 昇

北海道土木技術会 コンクリート研究委員会

沿岸の環境保全コンクリート研究小委員会

委員長	佐伯 昇	北海道大学
幹事長	吉野 大仁	(株)ドーコン
幹 事	志村 和紀	北海道大学大学院工学研究科
幹 事	宮崎 信弘	(株)環境技建
幹 事	檜山 秀光	北海道ポラコン(株)
委 員	石井 剛	(株)旭ダンケ
	大塚 輝雄	(株)ダイキ
	小野寺豊彦	(株)北海道オーレス
	北村 直人	長香開発(株)
	渋谷 正信	渋谷潜水工業(株)
	田口 史雄	寒地土木研究所
	中塚 卓朗	中塚建設(株)
	中塚 徹朗	中塚建設(株)
	成田 義昭	共和コンクリート工業(株)
	鳴海日出人	日本データーサービス(株)
	堀口 敬	北海道大学大学院工学研究科
	三浦 弘志	大同舗道(株)
	山内 繁樹	北海道立中央水産試験場
	山下 俊彦	北海道大学大学院工学研究科
	山下 成治	北海道大学大学院水産学研究院
	横井 克則	高知工業高等専門学校

五十音順

資料提供

木村 克俊	室蘭工業大学
末岡 英二	東洋建設(株)
高橋 良輔	(独)港湾空港技術研究所
橋本 堅一	徳山工業高等専門学校
島袋 淳	〃

目 次

1. 漁場造成のための構造物の歴史と展望	1
1-1 はじめに	1
1-2 漁場造成の種類と目的・手法	1
1-3 漁場造成とコンクリート構造物	2
1-4 藻場環境コンクリートの役割と展望	7
1-5 おわりに	8
2. 藻場のニーズ・要求性能・設計基準	10
2-1 生態系コンクリートのニーズ	10
2-2 生態系コンクリートの要求性能	13
2-3 藻場コンクリートの設計基準と設計計算例	15
3. 増殖機能材料の開発の現状・可能性と展望	35
3-1 増殖機能材料	35
3-2 藻場の造成に適した素材について	38
3-3 岩礁性藻場造成用着生基盤材	45
3-4 副産物系固化体の可能性	50
3-5 その他の可能性	51
3-6 消波型高基混成堤	53
4. バイオによるポーラスコンクリートの増殖機能	56
4-1 はじめに	56
4-2 海藻の生育	56
4-3 海藻の生育基材の選定	56
4-4 微生物と腐植と栄養塩	57
4-5 BTソイルを保有するポーラスコンクリートの増殖機能	59
5. 試験施工	75
5-1 試験施工の経緯および計画	75
5-2 磯焼け漁場海域における環境ブロックの追跡調査（別荘海域）	86
5-3 防波堤被覆ブロックの有効利用による環境ブロックの追跡調査（臼谷漁港）	95

1. 漁場造成のための構造物の歴史と展望

1-1 はじめに

北海道の海岸域を行くと多くのコンクリート構造物を目にする。それは、海岸護岸であったり、漁港・港湾の構造物、地先には侵食防止の消波堤など目的用途は多様である。

このコンクリート構造物群とは別に、人の目にほとんど触れることのない海面下にも多様なコンクリート構造物群が存在する。その多くが水産基盤整備事業あるいは、かつての沿岸漁場整備開発事業による漁場造成事業として作製・設置されたコンクリート構造物である。

その作製・設置目的はアワビやウニの餌料あるいは食用として加工に向けられるコンブの着定基質（基盤）であったり、魚を集める魚礁用のブロックであったりする。

何れもが水産生物を人間がより有効に利用し、あるいは水産生物を保護するために工夫が凝らされている。そうした、水産増殖でのコンクリート利用に対する創意工夫の歴史について北海道を舞台として振り返るとともに今後の展望について考えてみたい。

1-2 漁場造成の種類と目的・手法

現在、北海道の漁場造成は水産基盤整備事業の一環である漁場整備事業として実施されている。

表 1-1 に示すように大きくは、魚礁、増殖場、養殖場、漁場保全に分けられ対象種と目的により内容が区分されている。

表 1-1 漁場整備事業の種類と目的

区分	内容	対象種	手法
魚 礁	魚 礁	魚類	魚礁ブロックを設置し魚類を蛸集する
増 殖 場	囲 い 礁	コンブ、ウニ、アワビ	自然石に海藻を着生繁茂させ目的種を採捕
	単 体 礁	フノリ、コンブ、ウニ	人工着生基質に海藻類を着生繁茂させ目的種を育成採捕
	産 卵 礁	ヤリイカ、ミズダコ、ヤナギダコ	産卵基質に対象種の産卵育成を促進する
	産卵藻場	ハタハタ	モク類、ホンダワラ類等を着生させ目的種の産卵を促進育成する
	離 岸 堤	ホッキ	離岸堤により水平循環流を発生させ稚貝の散逸を防止する
	人工干潟	アサリ	人工的に潮汐に応じた地盤高干潟を造成し対象生物の増殖を図る
養 殖 場	消 波 堤	魚類養殖等	静穏域を造成し養殖施設の設置・管理を可能とする
漁場保全	雑草駆除	コンブ	多年藻であるモク類・ホンダワラ類を駆除し二年藻のコンブ群落を育成する

北海道における第2次大戦後の漁場造成事業の制度は昭和24年からの北海道単費による浅海増殖事業に始まり、昭和27年からの国の補助事業である浅海増殖開発事業に引き継がれる。当時の

漁場造成は築磯事業と呼ばれ、海藻類を対象とした投石、岩礁爆破、岩面そう破、コンクリート塗付の現在で言う増殖場造成と「磯付け魚」を対象とした投石による魚礁が中心である。魚礁事業については、昭和29年以降、コンクリート構造物による実施とすることが国の方針として示され

ている。

さらに魚礁事業は昭和 33 年に漁協および市町村を補助対象とする並型魚礁と公共事業として道が実施する大型魚礁に充実されながら事業を拡大し、第 1 次・第 2 次の沿岸漁業構造改善事業を経て、昭和 51 年には公共事業である沿岸漁場整備開発事業による実施されるようになり、平成 14 年度からは漁港漁場整備法の制定により水産基盤整備事業として実施されるようになる。

沿岸漁場整備開発事業以降の漁場造成は、増殖場も含め対象種の拡大や造成手法の多様な展開など、その進展には目覚ましいものがある。その漁場造成の進展を支えたのは、漁場造成事業におけるコンクリートの利用やこれに伴う土木技術の適用とすることができる。

1-3 漁場造成とコンクリート構造物

1-3-1 コンクリート構造物との出会い

「それにしても、我々は全くコンクリートなるものを知らなかった」と北海道における漁場造成事業の草分けともいえる菊池¹⁾が言うとおり、水産関係者にとってコンクリートの使用は唐突と思えるでき事であった。

漁場造成、古くは築磯と呼ばれていたが、文化元年には淡路国津名郡万才村の有志が沈船を模して木枠を造り、土俵に竹、樹木を装備して海底 20 尋位に沈め、以前に倍する漁獲を得たという記録がある。北海道では小樽市祝津町地先に大正末期より昭和の初めに掛けて手繰船による操業防止と魚礁築磯を目的として石材を 1 カ所に数百個ずつ 6 カ所に投入したのが最初と言われている。

第二次大戦後の漁場造成事業は前述の通り昭和 24 年から始まるが、その手法は従来と大きな変化はなく投石と新規岩面造成する岩爆や岩盤面へのコンクリート塗付程度であって、漁業者の手で行われ採石、爆破作業の一部請負を除いて全て漁業協同組合の直営¹⁾の形で実施されてきた。

国から示された魚礁設置事業のコンクリート製耐久構造物による実施の方針は、事業のでき高を明確にすること、施設としての耐久性を確保することを目的としたものと思われるが、従来から築磯事業を実施してきた関係者にとっては菊池の言葉そのままに受け止められたものと思われる。

この方針が示された昭和 29 年前後は、北海道におけるニシン・ホッケ漁業の急激な衰退があり、沿岸域魚類資源の増大が緊急要件とされていた。資料は少し遅れるが、こうした背景を受け昭和 35 年 5 月に設置された北海道農林漁業基本問題審議会が示した「北海道漁業の基本問題とその基本対策」の中で「広範囲にわたって大規模に魚礁を設置することによる漁場造成を進めなければならない」⁴⁾と述べるように魚礁設置に対する官民の期待は大きいものがあつた。

こうした背景が「全く、コンクリートなるものを知らなかった」菊池らをコンクリート構造物による魚礁設置、さらには漁場造成に向かわせた大きな要因であつた。

しかし、結果的にみればこのことが人間側の自然生物に対して好適な形状を機能的に考案する端緒となり、後の沿岸漁場整備開発事業において漁場造成事業を大きく発展させる基礎となったと考えられる。

1-3-2 コンクリート構造物としての魚礁

(1) 北海道型円筒型ブロックの設計経緯

漁場造成事業に使用するコンクリート構造物として、先行して発展進化を見せているのは魚礁用のブロックである。

現在に至るまで北海道における魚礁設置事業の主要な魚礁用ブロックとして使用されている円筒型魚礁ブロックの開発経過は前出の菊池によると次のとおりである。

当時、漁場管理上、海の畠（漁場）は漁民が自ら作るものであって、他人に任せるべきではないという感覚が強く支配していた上、戦後不況の波をかぶった漁村経済を立て直すためにも「漁民の漁民による魚礁ブロック」を作ることが前提であった。

昭和 29 年、他県の事例に習い 1m 型魚礁ブロック 504 個が試験的にはあるが初めて小樽朝里に請負により製作・投入された。¹⁾⁵⁾

この結果、コンクリートの重量のため人力による魚礁ブロックの移動は難しい、舁による投入作業ではウィンチ吊り下げ時の振れにより投入に時間がかかる等の問題が明らかになった。このため、菊池らは漁業者の手による施工を可能にするための新しい魚礁ブロックの開発を迫られた。

当時、最も手間のかからない既存のコンクリート製品が円筒型の便壺であることを知り円筒型魚礁ブロックの原型とした。円筒型は漁村の婦女子による移動も可能でありウィンチによる吊り下げも必要としない。さらに、当時の 4～5 トン型トラックの荷台に効率的に積載可能な規格であること、素人が付き固め作業を行う上で適切な厚みがあることなどから、高さ 1 m、厚み 15 cm のブロックを開発した。このブロックには、3 方に窓が開いているが重量を軽減するとともに魚類の蟄集状況を考慮したものと思われる。この窓は、テコの応用によりブロックを移動させる際にも役立った。

1m 円筒型魚礁ブロックの登場により当初の方針どおり、沿岸漁業協同組合の直営事業として北海道沿岸全域にわたって魚礁が投入された。これは、漁場造成を全道に定着させる上で大きな意味があったと思われるが、昭和 33 年から大型魚礁事業が開始され事業規模が大きくなり始めると礁ブロックの製作・設置は漁業者の手に負えなくなり順次専門業者への請負に変わり始めた。

魚礁事業の全道展開に合わせ、魚礁の効果調査も継続的に実施されている。当初の調査は、魚礁の埋没などの安定に関する観察結果が多く報告され、施設の持続的な安定性が確認できた後はもっぱら魚礁の蟄集効果に精力が注がれる。この調査は平成元年に至るまで継続されている。



写真 1-1
開発当初の 1m 円筒型魚礁ブロック

(2) 魚礁ブロックの変遷

魚類が魚礁に蟄集（多く寄り集まる）する理由は魚礁の面に対する魚の接触や隠れ場などの機能、海底からの立ち上がりによる音や影、流れの変化など多様な要素・形状に求められるが、コンクリートブロックによる魚礁設置が国の補助事業となった当初、補助対象となった魚礁形状は中空四角形と円筒型の 2 種だけであった。⁶⁾

北海道では、昭和 48 年に大型の組み立て魚礁であるジャンボ魚礁が苫小牧沖に設置される

まで一貫して円筒型魚礁が使用されていた。しかし、全国的に見れば昭和 33 年の大型魚礁設置事業の発足を契機として事業の規模が大きくなるにつれ、種々の材料、形状のものが多数試験開発され始めた。事例としては、廃バスを利用したバス魚礁、木造の廃船魚礁、土管魚礁、ポリエチレンコンクリート魚礁、プラスチック魚礁、鋼製魚礁、浮き魚礁など⁷⁾が試験された。

こうした形状や材質の多様化傾向により魚礁の大きさに共通した量的表示と一カ所に投入する量的規模検討の必要性は、各単体ブロックの外接面によって囲まれた内容積を「空 m^3 」(クウ・リウベ)と呼ぶ単位を作り出した。

コンクリート魚礁にも前述のジャンボ魚礁の他、多様な種類が開発され、実際の事業に使用されはじめた。当時、新魚礁の開発にあたったメーカーの共通認識は魚礁事業のめざましい伸びと、重要な蛸集要因とされながら従来の角型、円筒型では表現できない魚礁としての高さ、空 m^3 単価の低減であった。この認識傾向は、必然的に柱を極端に細くして容積を大きくする魚礁形態となって現れたが、作業性、安全性、集魚性などに疑問が生じ⁶⁾、空 m^3 を多くする骨構造、魚類の定位、逃避を助長する面構造などの比較議論が交わされ、これまでの傾向に修正が行われた。

このような経過の中で、一カ所に角型や円筒型を集中設置した最低限の魚礁規模を持つとする大型で 6m~10m 高さのピラミッド型魚礁、多段式魚礁などが次々と開発された。

この間、魚礁設置技術も進歩し、魚礁ブロックの海面投入からクレーンによる着底設置方式に変化し、位置決定技術も目視による山立てや三点両角法などから GPS によるものに変化している。海底設置技術の進歩は、魚礁の海底からの立ち上がりは魚礁構造物自体の高さに依存することなくブロックを積み上げるにより表現が可能となったことを意味する。

設置技術の進歩と、この間の面構造議論を背景として 3m 角型で内部に面と空間を表現した F P 魚礁が開発される。

北海道型円筒型も変化し、1m 型から沿岸漁場整備開発事業が開始された時期には 1.8m 型に、さらに、3m 型へと変化した。3m 規格への変化は面構造を維持しながら空 m^3 単価を低減すること、通常の陸上運搬において 3m が規制許容の範囲であることが要因となっている。

高さ表現が可能となったブロック型魚礁 (FP 型、円筒形) は、魚類の蛸集要因とされる面構成の複雑性など効果への配慮、施工の容易さから北海道の魚礁事業の中心的役割を果たすようになっている。



写真 1-2 組み立て魚礁（ピラミッド型）
高さ：10.8m 容積：209.91 空 m^3



写真 1-3 FP 魚礁（3.00 型）
高さ：3.00m 容積：27.0 空 m^3

一方、ピラミッド型魚礁を中心とする組み立て魚礁は積重ねが難しい水深の大きい海域で使用され、特に海底からの高さを求められる場合では 30m 程度の高さを持つ鋼製魚礁が使用されるなど機能による分化がみられる。

(3) 増殖場造成とコンクリートブロック

増殖場造成が築磯と呼ばれた時代の事業目的はそのほとんどがコンブの着生面の確保であった。その趣旨を昭和 26 年当時の木下⁸⁾は「コンブの増産とスガモの関係に就いて・・・中略・・・両者は生息場所を同じうして棲むべき地盤の占有をめぐる相対峙の姿にあり、・・・中略・・・コンブの二年生に対しスガモは多年生で、多年にわたって枯死せず・・・蔓延してコンブ場を奪う・・・」それ故に築磯により新規面を作ってコンブ場にする必要があると説明している。

木下が説明する築磯は投石であるが、岩盤そう破、コンクリート塗付も同じ原理である。同じくコンブについて言えばコンブ以外の藻類に被覆された岩面にあるいは着定面（着定基質）のない砂地に対象種の配偶子等が放出・浮遊する時期に新規着定面を設置するとコンブを繁茂させることができる。こうした事業は、コンブを中心とする大型有用藻類の衰退を回復させる意味では磯焼けあるいは磯焼け前段の状況に対する対応策であったといえる。

北海道でのコンブなどの海藻類を対象とする築磯、現在の増殖場造成事業にコンクリートが使用されたのは昭和 31 年度からで度浅海増殖事業報告書に投石、岩礁爆破とともにコンクリート面造成した旨の記載がある。コンクリート構造物については、同じく昭和 32 年度の報告書に虻田町海域で昭和 31 年度に試験設置した約 50 m³四角形のブロック、径約 60 cm、高さ約 45 cm の中空八角形および円筒型について効果の確認調査を実施したことが示されている。

自然石とコンクリートのコンブの付着性能についても調査されているが、優劣はないものと結論づけられた。着生効果の寿命についても環境によって著しく違うとの条件を付けながら、ブロック設置一年目に最も多くコンブが着き、3～4 年目には 1/10 位に減少することを指摘している。⁹⁾

設置後経年とともにコンブ着生量の減少が生じることは、その他の多年生藻類の付着などから当然のことと受け止められていたものと思われ、後年の報告では、その対応として遅くても設置 5 年目頃からブロックの磯掃除を始めなければならないと結論づけられている。¹⁰⁾

増殖場造成用のコンクリートブロック開発の時期を経て、昭和 37 年度の第 1 次沿岸漁業構造改善対策事業発足から 52 年まで間、50 年以降に一部自然石が使われるが、ほぼ全道でコンクリートブロックが投石材として使用された。形状は当初が 0.6m×0.6m×0.12（厚）、後半には 0.6×0.3 円筒型、0.45×0.8×0.8 H 型などが使われて



写真 1-4 コンブ着生用
八角型・円型コンクリートブロック



写真 1-5 投入 10 ヶ月
後のブロック
上部に横転し砂中に埋没した
痕跡が見える
(昭和 35 年 10 月戸井村)

いる。

昭和 51 年から沿岸漁場整備開発事業が発足し、事業規模も大きくなり、考え方も投石と言う概念から藻類の着定基質の設置と言う考え方に変化し工法も進歩する。

発足当初はコンクリート構造物やコンブを経年的に持続・着定させるために着定部を更新できるネトロンパイプを利用したものなど趣向を凝らせたものが比較的多く使用される。しかし、昭和 60 年以降、着定基質はほぼ自然石に切り替わりコンクリート構造物は、既成の消波ブロックを自然石の飛散を防ぐ目的で自然石を囲む形（囲い礁）で使用されるようになる。

1-3-3 磯焼けと増殖場造成

(1) 磯焼けの概観

増殖場造成事業の変遷を見る上で磯焼け問題を見過ごすことはできない。藻類の育成を基礎とする増殖場造成事業の変遷は、磯焼けとの闘いの歴史とすることができる。

磯焼けと増殖場造成の関係を判りやすくするため、先ず、磯焼けについて概観する。

富士¹¹⁾ は磯焼けを「大型海藻類の量的衰退に伴う退行的遷移により、構造下層に生息していた石灰藻類の顕在化した植生構造が比較的長期間にわたって維持される現象」と定義している。

北海道における磯焼けの中心である日本海には赤道付近で太陽熱に暖められ貧栄養状態にある表層水からなる北赤道海流に起源を持つ対馬暖流が流れ込んでいる。このため、日本海は対馬暖流域の貧栄養域と日本海固有の深層水の影響を受ける富栄養海域がある。

日本海域の磯焼けの原因については種々の見解があるが私見を含めて概観すれば、基本的要因は日本海に流入する対馬暖流の貧栄養にある。貧栄養は海藻類の生育を基本的に制限し、制限下の海藻群落は周辺のウニなどの生物を含めた環境に対して不安定な状態で均衡している。従って、ウニなどの食植動物の影響による磯焼け状態が、海水温低下時の食圧低下により回復するなどの不安定な生物相を作り出す。

こうした要因による磯焼け対策の技術を系統化した桑原¹²⁾ は対策の方向を海藻生産量の増加対策と摂食量の低下対策に大別している。

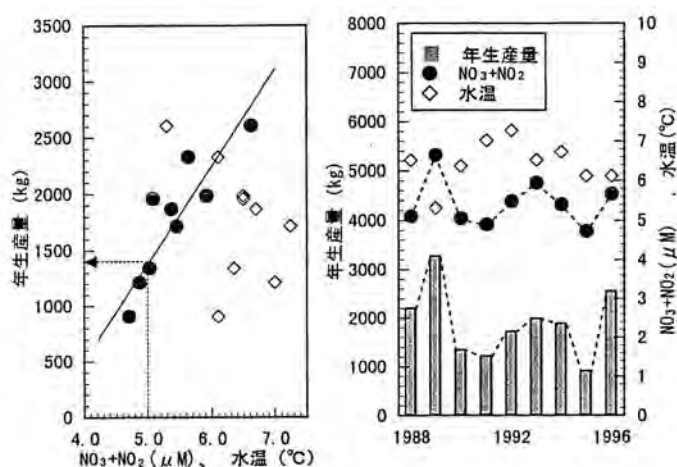


図 1-1 コンブ生産量と窒素濃度の時系列（岩内）
（瀬戸他，2001 年）

瀬戸は、日本海におけるコンブ生産量の変動を栄養塩類である窒素量と海水温との関係を比較検討し、日本海沿岸海水の窒素量の変動とコンブ生産量との間に正の相関、対馬暖流量の増加との間に負の相関を見いだしている。さらに、窒素濃度が $5.0 \mu\text{mol}$ を境にホソメコンブ配偶体の成長と非成長の領域が区分されることを示している。¹³⁾

¹⁴⁾

また、吾妻¹⁵⁾ は北海道日本海側の寿都湾においてウニの駆除による食圧の軽減でコンブ等の海藻群落が回復することを実験的に検証している。

こうしたことから、ほぼあらゆる定着基質が設置当初コンブ等海草類の優良な付着を見せながら、2～3年の後には再び磯焼け状態に回帰する原因は基質設置により結果的にウニが除去、退行するものの2～3年後には再び数量的な復活が認められることによると説明されている。

このような磯焼け研究の成果と日本海の貧栄養は地球規模の海流循環によるものとの認識から、磯焼け対策は局地的な食植動物への対応を中心として進められている。

(2) 増殖場造成でのコンクリート利用と磯焼けへの対応

増殖場造成を目的とした事業のコンクリート構造物から自然石への回帰は、磯焼けの状況が大きく影響していると思われる。日本海側では1965年頃から磯焼けがはっきりと認識され始め¹¹⁾、増殖場造成への期待が強まる中で沿岸漁場整備開発事業が本格化し始めた当時、一部で磯焼けの原因が海岸保全工事即ちコンクリートに求められるなどコンブ着定に関して否定的な感覚が出始める。コンブ着定に関して、自然石とコンクリートの間に差異が認められないことは既に示したとおりであるが、増殖場造成事業の規模が大きくなるに従って、同じ着定であれば単価の安い自然石へとする認識も加わり着生基質としての自然石が主流となり、コンクリート構造物は事業の境界区分、自然石の散乱防止を目的とする使用へと変化する。

消波ブロックで自然石を囲った増殖場は囲い礁と呼ばれるが、天端高や自然石の設置形状も藻類の着定や操業を考慮した配置が検討されるようになる。自然石の使用は場としての増殖場の形成する上で、造形の素材として利用しやすいという意味でもあったと思われる。

増殖場造成事業における磯焼け対策は、その持続要因がウニの海草類への食圧に依ると実証されているところから、ウニからの摂餌圧の軽減が中心となっている。ウニは一定以上の流速下では摂餌できないという知見から着定基質の天端を高くして波浪による振幅流速を早くするなどの手法が具体化している。

一方、貧栄養へ配慮した漁場造成も微視的な観点からアプローチされている。火力発電所から産出されるエコサンドとコンクリートを混合し、表面が多孔質で窒素塩が溶出するブロックなどが開発されている。このブロックはフクロフノリの増殖場に使用されているが多孔質による表面の小さな窪みに付着した果胞子、四分胞子は食害から保護されながら育成する。この際、表面から溶出する窒素塩により育生が促進されると考えられている。

1-4 藻場環境コンクリートの役割と展望

沿岸のコンクリート構造物は海岸保全など目的とする機能と外力に応じて設計され設置されている。これを生物側から見ればひとつの生態環境であり岩礁生態系として捉えることができる。岩礁帯には海藻やイガイなどが固着しこれらを巡る有機物収支が存在する。

この環境に果たす役割は、付着生物群が発達し水中から餌料を摂取して岩礁場に有機物を貯蔵することといえる。

岩礁帯の特質は基質が動かないことにある¹⁶⁾。沿岸コンクリート構造物は不動の基質としての十分な要素があり岩礁生態系を形成する上で基本的な機能を備えているといえることができる。

今ひとつ求められる重要な機能は同化の容易さである。同化には環境に対するものと景観に対するものがある。魚礁を例にとって環境に対する同化をみると、魚礁は設置後1年目から魚類を集める効果を発揮し始め4年目から5年目にかけてピークに達し、これ以降安定あるいは変動を繰り返す。¹⁷⁾ 設置から集魚機能がピークに達成する期間が魚礁にとっての同化のための時間ということ

ができる。この期間における魚礁の変化は動植物の付着であり、付着生物を巡る物質循環の増加である。

景観に対する同化も動植物の付着が不可欠である。コンクリート構造物は構造物自体のデザイン的な同化が必要であるとともに時間経過による生物的变化を前提として考える必要がある。

沿岸のコンクリート構造物を異物と見るか景観としてみるかは、素材としてのコンクリートが持つ文化性の問題であるとも考えられる。建築材として利用される石材や木材は時間を経るほどに歴史を経るほどに環境と一体化した景観を創り出す。そこには素材としての強度と変化に耐えうる強靱さがある。これは沿岸コンクリート構造物が機能として求めてきた重要な部分と一致するのではないだろうか。常に変化する生物からみた強度とは、景観の中にすっぽりと同化した構造デザインとは何かを考えることが沿岸コンクリートを扱う技術者として求められていることではなかろうか。

1-5 おわりに

コンクリート構造物は生物を取り扱う人間からは異物としてみられがちである。コンクリート技術を利用して漁場造成に関わってきた人間にとってコンクリート構造物は自然環境の一構成物である。水中にあるコンクリート塊が年月を経るとともに環境に順化していくことは水中を長年にわたって観察するダイバーからよく聞くことができる。コンクリートのさらなる進化を期待する。

海岸の構造物に自然環境の一形態としての機能と認識を持たせたとき、海岸行きに行く私たちはまた違った風景を見いだすことができるのではなかろうか。

沿岸での事業に携わる技術者が自らの技術を環境の一部を構成するための技術として認識できることを期待したい。

【参考文献】

- 1) 菊池健三：北海道型円筒型魚礁ブロック設計の経緯，水産土木，15(2) p. 13-18, 1979(3)
- 2) 普及の頁：北水試月報，15(8) p. 13-17, 1958(8)
- 3) 北海道：昭和31年度 浅海増殖事業（効果調査）報告書，1957(11)
- 4) 北海道農林漁業基本問題審議会：北海道漁業の基本問題とその基本対策
ー特に沿岸漁業を中心としてー，1956(2)
- 5) 川合豊太郎，横山善勝：魚礁効果確認調査，昭和31年度 浅海増殖事業（効果調査）報告書，p. 59, 1957(11)
- 6) 佐藤修：単位魚礁の構造，人工魚礁 恒星社厚生閣，pp. 53-64, 1984(10)
- 7) 小川良徳：魚礁形態と使用例，人工魚礁の理論と実際（Ⅱ） 実際編，魚礁総合研究会，日本水産資源保護協会，pp. 86-126, 1976
- 8) 木下虎一郎：茅部郡森町地先の浅海増殖に就いて，北水試月報，8. 10, 1951(10)
- 9) 中村義輝：コンクリート・ブロックの投石効果調査報告，昭和34年度 浅海増殖事業（効果調査）報告書，北海道，pp. 17-25, 1960(11)
- 10) 船野隆・石川政雄・佐藤巳之吉：投石事業効果認定特別調査（昭和41年度） コンクリートブロックによるコンブ礁造成調査 調査地 伊達町 北黄金地先，昭和41年度 漁場改良造成事業・大型魚礁設置事業効果調査報告書，pp. 1-13, 1967(4)

- 11) 富士昭：世界の磯焼け現象－その現状と問題点，地球環境シンポジウム 磯焼けの現状と課題，株式会社 エコニクス，pp. 5-30, 1995(3)
- 12) 桑原久実・綿貫啓・青田徹・安藤亘・川井唯史・寺脇利信・藤田大介：磯焼け対策技術の系統樹，平成 18 年度 日本水産工学会 学術講演会 講演論文集、2006(6).
- 13) 瀬戸雅文・川井唯史・巻口範人：海洋深層水の放水による岩礁性藻場造成に関する基礎的研究：海洋開発論文集，第 17 巻，pp. 123-128, 2001 (6)
- 14) 瀬戸雅文・山下克己・佐藤達明：対馬暖流の長期変動が北部日本海のコンブ生産量に及ぼす影響，平成 18 年度 日本水産工学会 学術講演会 講演論文集, pp. 1-2, 2006
- 15) 吾妻行雄：北海道日本海沿岸における藻場修復，水産学シリーズ 120 磯焼けの機構と藻場修復 谷口和也編，恒星社厚生閣，pp. 84-97, 1999
- 16) 土屋誠：河口・海岸域の生態学とエコロジー，栗原康編 1988, 11, 141P
- 17) 北海道：昭和 58 年度 魚礁効果解析報告書，コピー，1983 年

【文責】山内 繁樹

2. 藻場のニーズ・要求性能・設計基準

2-1 生態系コンクリートのニーズ

我々は、遠い昔から天然に生育した水産生物を食料などに利用してきた。

これに人為の手を加え、魚類を池などに囲い込んで飼育したり海苔を竹や木の枝に着けてこれを環境のよいところに置いたり、あるいは浅海に石を投じて海藻の附着面を増やしたり、魚介類の産卵を保護する養殖や増殖によってその計画的な生産を図るようになったのは比較的最近のことである。

しかし、その技術は戦後急速に発達し、これによって今日では各種魚介藻類の養殖だけで百万トン以上に及ぶ生産をあげて、多様化した人々の需要にこたえている。

漁民が独自の生産意欲と経験に基づいて開発し、石材・木材・土俵などを沈設させて好漁場造りを行い、コンブ増殖のための石の投入や投石による小規模な藻場造成で効果をあげてきた。

このことから、やがて国の沿岸漁業振興対策の一環として、築磯の名で人工魚礁事業がとり上げられるようになったのは、昭和7年頃からといわれている。それが昭和10年頃になるとコンクリート製魚礁が一部で試験的に使われるようになり、昭和20年以降の食糧難時代に入ると多くの地方公共団体が造形容易で耐久性のあるコンクリート製魚礁を始め多種の構造物を試験的に設置するようになる。

昭和27年からは、築磯事業が「浅海増殖開発事業」国庫補助事業の対象として取り上げられ、魚類を対象としたものが独立して人工魚礁という名で事業が始まるのは昭和29年以降である。

それ以降、藻場造成が普及した。とりわけ昭和50年に発足した「沿岸漁場整備開発事業（沿整事業）」以降は飛躍的に藻場造成事業が増大することとなる。これら事業の目的は、最終的に効率的な漁獲をめざすことにある。

海洋において水産資源の分布は一様でなく、産業的にペイするだけの量がまとまって存在する場所は限られており、その発見にはかなりの労力を費やしている。

この場所がいわゆる「漁場」で、「瀬」、「場」、「礁」などと呼ばれ、それぞれ固有の名称がついており、その多くは海底の起伏が激しい場所である。また、沈没船もよい漁場となっていることが少なくない。そこで、海底に構造物を設置して人工的に起伏を作ればそこは漁場となり、効率的な漁獲ができるであろうことは容易に想像できる。これが人工魚礁と呼ばれているものである。

造成に使用される「物」の材質はさまざまで、古くは自然石、材木、土管、廃船などであったが、近年はコンクリート、強化プラスチック（FRP）、鋼製が多い。また、形状も集めたい魚の種類や漁業の操業実態にあわせて数え切れないぐらい種類が多い。

これら人工魚礁に蟬集するのは、陰影説、過流説、本能説、逃避説、餌料説等々数多くの説があるが、これらは各構造物の材料の質および形の形態によって、この説の比重はおのずから異なってくるが、魚種によってはおおむね次のようなことが言われている。¹⁾

アイナメ、ヒラメ、カジカなどは体の一部分あるいは全部を固形物に接触されている「定座型」といわれる魚種である。メバル、クロソイ、イシダイ、マダイなどは体を固形物に接触させないが、ごく至近距離に固形物の存在が必要であり、一般に岩礁性魚といわれるものがこれに属する。

一方、表層近くを回遊するアジ、サバ、ブリなどは、固形物は必ずしも必要としないが、あればこれに集まる習性がある。マグロやシイラもしばしば魚礁付近で見かけられるが、これらは生活の上で固形物を全く必要とせず、魚礁に集まった小魚を餌にするために礁近辺に滞留していると考え

られる。

これら、魚礁で一定期間生活した魚群もある期間の後には水塊の交代や魚自身の生理的要求に応じて、深浅移動や南北回遊という形で他の海域へ移動していく。これらの魚群は魚礁がなければその場所を単に通過するだけであり、一定期間滞留することによって漁獲の機会が増え、漁場として機能することになる。

さらに人工魚礁にはもうひとつ大きな役割がある。それは新たな「すみか」と「成長の場」の提供である。ある魚種などは、稚魚のうちはホンダワラなどの流れ藻に付随して表層で生活し、潮流などで広範囲に移動する。その後、流れ藻から離脱してごく沿岸部の浅い岩礁域に着底するが、このときに砂の海底であっても人工魚礁があれば定着することが明らかになっている。また、これらの魚種は成長とともに生息水深が深くなる。したがって、成長段階の水深帯に人工魚礁を設置することは、これらに「すみか」と「成長の場」を提供し、水産資源の安定に大きく寄与することにつながる。

一方、藻場に関する役割についても記述する。

沿岸の0～15m位までの浅い海で、海藻が密に茂っている場所は「藻場」と呼ばれている。図2-1に日本周辺の海流と藻場の分布の特長を示す。²⁾

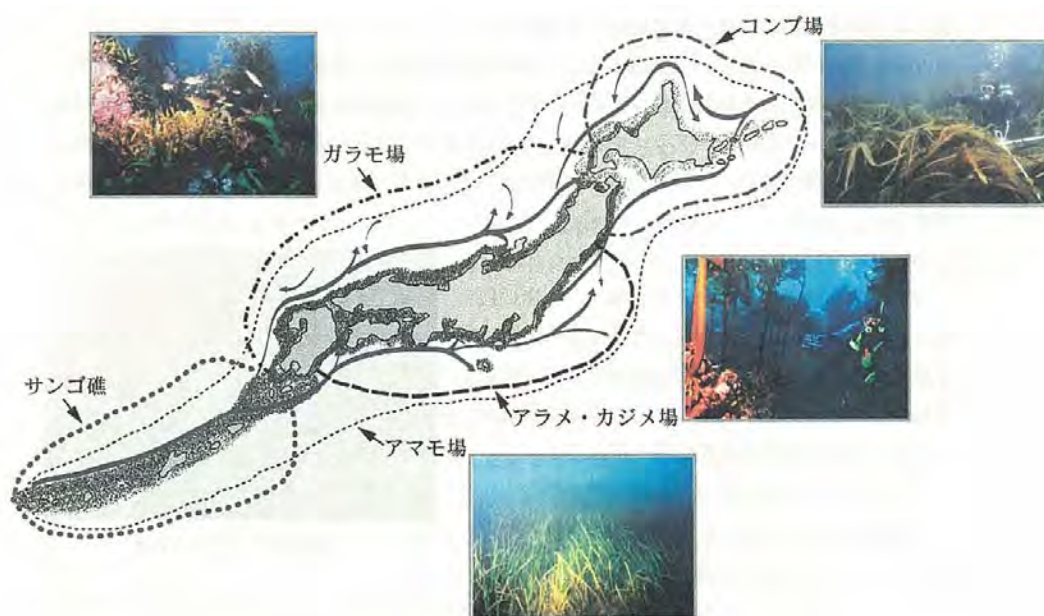


図 2-1 日本周辺の海流と藻場の分布の特長

藻場は生えている海藻の種類によりいくつかのタイプに分けられる。アマモは水中に生育する顕花植物で、水深10m位までの潮通しのよい砂地に「アマモ場」を形成する。外海に面したやや波静かな湾などには、ホンダワラ科の海藻が作る「ガラモ場」が見られる。ガラモ場よりもやや波当たりの強い外海に面した沿岸には、コンブ科の海藻が大規模な藻場を形成し、この藻場は景観が海の中の森林のように見えることから「海中林」と呼ばれている。

三陸沿岸から北海道沿岸ではマコンブやホソメコンブなどの食用となるコンブ科の海藻が海中林を形成し、本州の中部から南部の沿岸や四国の太平洋岸では、同じコンブ科であるが暖海性のアラメやカジメが海中林を作る。これら藻場を構成する主な植物の生育条件をまとめたものを表2-1に示す。³⁾

表 2-1 藻場を構成する主な植物の生育条件

藻場の種類	植物の種類	生育場所	生育水深	群落の安定度	成熟期	孢子等・種子の拡散範囲
コンブ場	コンブ類	波当たりの比較的強い場所の露出した岩礁やコンクリート	0～30mただし、海域によってかなり異なる	低い	遊走子（ $5\mu\text{m}$ ）の放出時期は夏から秋	広い
アラメ・カジメ場	アラメ	波当たりの比較的強い場所の露出した岩礁やコンクリート	潮間帯下部～5m程	比較的高い	遊走子（ $5\mu\text{m}$ ）の放出時期は秋	広い
	カジメ		低潮線～20m程			
	クロメ		潮間帯下部～20m程			
ガラモ場	ホンダワラ類	波当たりの比較的弱い場所の露出した岩礁やコンクリート	種類によって異なるおおむね 0～20m	比較的高い	幼胚（200～300 μm ）の放出時期は春または秋	狭い
アマモ場	海藻類	アマモは内湾の波静かな砂泥域、スガモは外洋に面した岩礁で波が比較的遮蔽された場所	1～10m程	低い	種子（3～4mm）の放出時期は春から夏	狭い

これらの藻場の葉上・葉間あるいは海底には幼稚仔魚の餌となる生物が豊富で外敵から身を守る隠れ場所でもあり、マダイやクロダイなど多くの幼稚仔魚の生育に適した環境となっている。

また、アワビやサザエ、ウニなど海藻を食べる生物に餌を供給する場として、あるいはサンマやサヨリ、ハタハタ、トビウオなどの産卵場でもあり、ブリの幼稚魚（モジャコ）の生育場である流れ藻の供給源としても重要な役割を果たしている。

近年、日本各地の沿岸で問題となっている「磯焼け」と呼ばれる大型海藻が生息できなくなる現象は、ほとんどの場合この海中林の消失を意味する。また、日本沿岸各地で藻場造成事業が進められているが、多くはこの海中林の造成を目的としている。

一方、水産の立場からみた生物の増産だけでなく、藻場は海の草原であり、森林でもあることから陸上の緑化と同じように海の景観を作り、より多くの生物が住める環境を作るための藻場造成も社会的なニーズとなりつつある。

いままで海に魚礁などを投入する社会的ニーズに触れてきたが、次にその際の要求性能や基準等について記載する。

参考となる基準については、以下のとおりである。

- ・「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」 海岸保全施設技術研究会編
- ・「沿岸漁場整備開発事業施設設計指針」（社）全国沿岸漁業振興開発協会

また、水産基盤整備事業の技術基準としては、

- ・「漁港・漁場の施設の設計の手引」（2003年版 （社）全国漁港漁場協会）
- ・「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（社）日本港湾協会

があり、計画等については

- ・「沿岸漁場整備開発事業人工礁漁場造成計画指針」（社）全国沿岸漁港振興開発協会

があるので参照されたい。

さらに、水産基盤整備事業（漁場）において、魚礁の設置、水産動植物の増殖場の造成等により新規構造物を使用する場合には、次に述べる検討内容について新規構造物の適格性の判断をすることとしている。

2-2 生態系コンクリートの要求性能

2-2-1 検討内容

(1) 安全性

生物や環境に対する化学的、物理的悪影響^{注1}がないこと。また、製作・設置作業中の人に対して労働・衛生上安全^{注2}であること。

(2) 耐久性

構造的に 30 年以上の耐久性を有すること。

(3) 機能性

水産動植物の増殖上の造成等に係る新規構造物にあつては、増殖機能を有する構造であること（「効果調査要領」に基づき、効果調査を実施していること）。魚礁の設置に係る新規構造物にあつては、有用水産物が蛸集する構造であること（「蛸集効果調査要領」に基づき、蛸集効果調査を実施していること）。

(4) 経済性

新規構造物によって造成される面積（㎡）または空㎡当たりの製作費等が機能性も考慮した上で従来から利用されている構造物との比較において相応の額であること。

(5) 実行性

開発メーカー等が新規構造物の設計、製作、施工等の実施または技術の供与について、専門技術者を有し、これらの業務を円滑に行うことができること。

注1 水産基盤整備事業において、コンクリート以外の素材については環境基本法第 16 条第 1 項に基づく水質汚濁に関する基準（昭和 46 年 12 月 28 日環境庁告示第 59 号）の安全基準に定める測定方法による材料成分の溶出試験を実施する（カドミニウム、シアン、六価クロム、ヒ素、・・・、PCB）こととしている。

また、実際の漁場への設置に際しては網がかり・周辺地形等への影響や生態系への影響等に十分留意することや必要に応じて撤去できるような構造、施工方法を採用することなども考慮する必要がある。

注2 製作～沈設までの転置、移動時の吊り下げに対する安全性、沈設時の海底面または沈設済み魚礁への着底時に生じる着底衝撃力に対する安全性、沈設後の波・流れなどの外力に対しての滑動・転倒に対する安全性の確認

表 2-2 人の健康の保護に関する環境基準(28 項目)(昭和 46 年 12 月 28 日 環境庁告示第 59 号)

項目	基準値	測定方法
カドミウム	0.01mg/L以下	日本工業規格K0102(以下この表において「規格」という。)55.2, 55.3若しくは55.4に定める方法又は付表1に掲げる方法
全シアン	検出されないこと。	規格38.1.2及び38.2に定める方法又は規格38.1.2及び38.3に定める方法
鉛	0.01mg/L以下	規格54.2, 54.3若しくは54.4に定める方法又は付表1に掲げる方法
六価クロム	0.05mg/L以下	規格65.2に定める方法又は付表1に掲げる方法
砒素	0.01mg/L以下	規格61.2に定める方法又は付表2に掲げる方法
総水銀	0.005mg/L以下	付表3に掲げる方法
アルキル水銀	検出されないこと。	付表4に掲げる方法
PCB	検出されないこと。	付表5に掲げる方法
ジクロロメタン	0.02mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2又は5.3.2に定める方法
四塩化炭素	0.002mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2, 5.3.1, 5.4.1又は5.5に定める方法
1, 2-ジクロロエタン	0.004mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2, 5.3.1又は5.3.2に定める方法
1, 1-ジクロロエチレン	0.02mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2又は5.3.2に定める方法
シス-1, 2-ジクロロエチレン	0.04mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2又は5.3.2に定める方法
1, 1, 1-トリクロロエタン	1mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2, 5.3.1, 5.4.1又は5.5に定める方法
1, 1, 2-トリクロロエタン	0.006mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2, 5.3.1, 5.4.1又は5.5に定める方法
トリクロロエチレン	0.03mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2, 5.3.1, 5.4.1又は5.5に定める方法
テトラクロロエチレン	0.01mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2, 5.3.1, 5.4.1又は5.5に定める方法
1, 3-ジクロロプロペン	0.002mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2又は5.3.1に定める方法
チウラム	0.006mg/L以下	付表6に掲げる方法
シマジン	0.003mg/L以下	付表7の第1又は第2に掲げる方法
チオベンカルブ	0.02mg/L以下	付表7の第1又は第2に掲げる方法
ベンゼン	0.01mg/L以下	日本工業規格K0125の5.1, 5.2又は5.3.2に定める方法
セレン	0.01mg/L以下	規格67.2に定める方法又は付表2に掲げる方法
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10mg/L以下	硝酸性窒素にあっては規格43.2.1, 43.2.3又は43.2.5に定める方法, 亜硝酸性窒素にあっては規格43.1に定める方法
ふっ素	0.8mg/L以下	規格34.1に定める方法又は付表6に掲げる方法
ほう素	1mg/L以下	規格47.1若しくは47.3に定める方法又は付表7に掲げる方法
備考		
1 基準値は年間平均値とする。ただし、全シアンに係る基準値については、最高値とする。		
2 「検出されないこと」とは、測定方法の欄に掲げる方法により測定した場合において、その結果が当該方法の定量限界を下回ることをいう。		

2-3 藻場コンクリートの設計基準と設計計算例

ここでは、上述の安全性の確認や具体的な構造物の設計における基準および検討内容の計算例を掲載する。

計算例では、最初に藻礁における滑動や転倒の安全性および限界水深を算出した例を示し、次に魚礁沈設における着底衝撃力に対する安全性の検証をした計算例を掲載した。

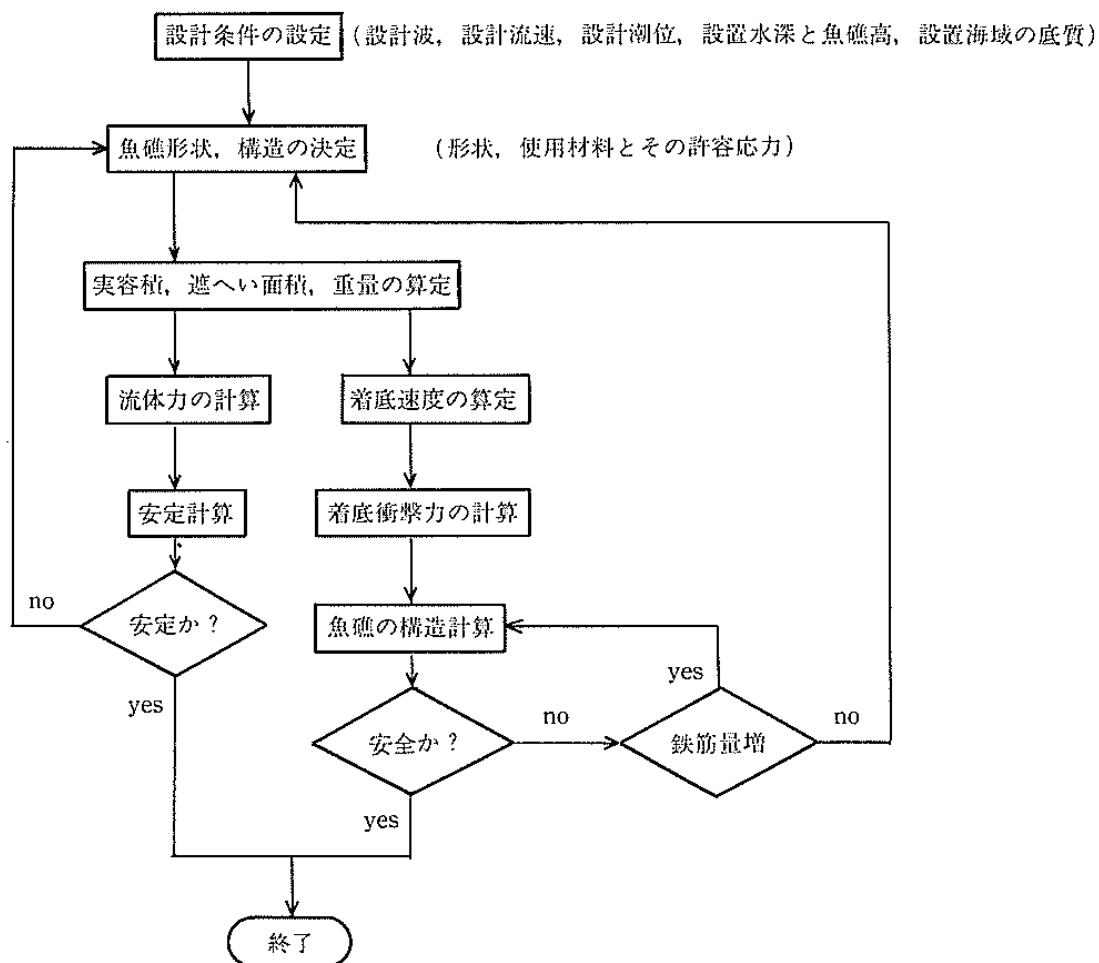
2-3-1 魚礁の設計法の概要

魚礁は、沿岸漁場整備開発事業施設設計指針（pp125-134 参照）を用いて、次のフローチャートによって設計される。

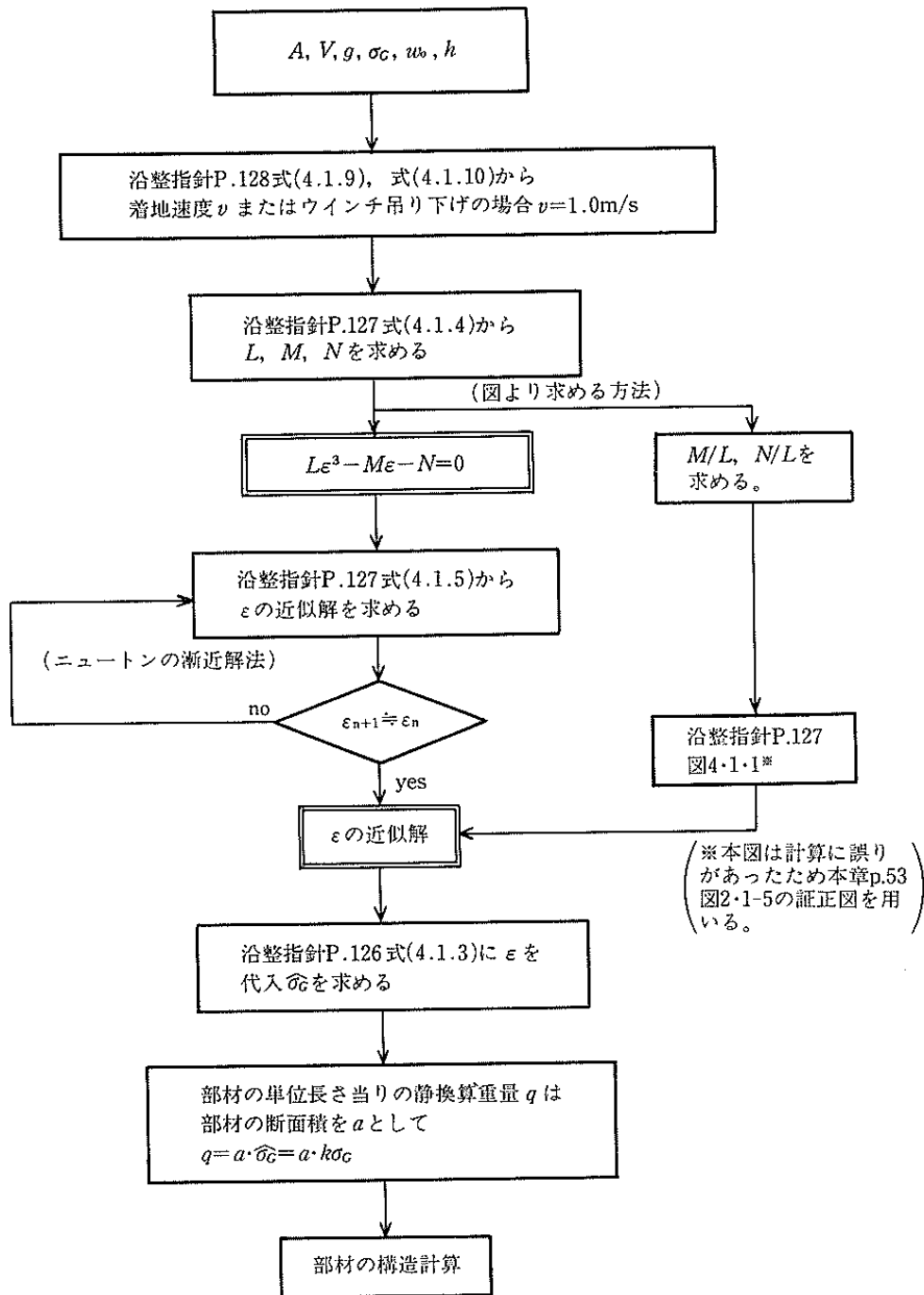
(1) 内容

人工魚礁は、魚類の集魚、培養および幼稚仔保育を目的として、海底、海中（海表面を含む）に設置される構造物である。海底に設置されるものを沈設礁、海中に設置されるものを浮魚礁と呼び区別されている。設置目的の検討は、魚類の生理・生態によって検討されるため、人工魚礁漁場造成計画指針によるものとし、ここでは沈設魚礁の構造設計法について述べる。

1) 設計のフローチャート



2) 着底衝撃時の静換算重量を求めるフローチャート



2-3-2 消波堤の設計法の概要

(沿整指針 pp227-259 参照)

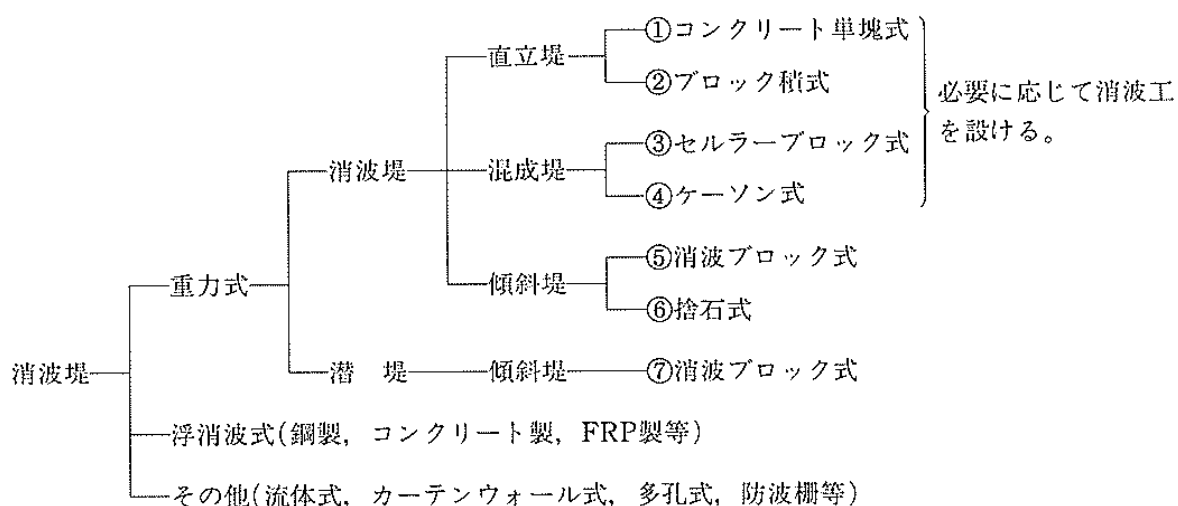
(1) 内容

増養殖場の波浪環境を改善することを目的とする防波堤は、波浪をより確実に遮断する防波堤と区別して消波堤^{注1}と呼ばれ、その機能上の特長は次のとおりである。

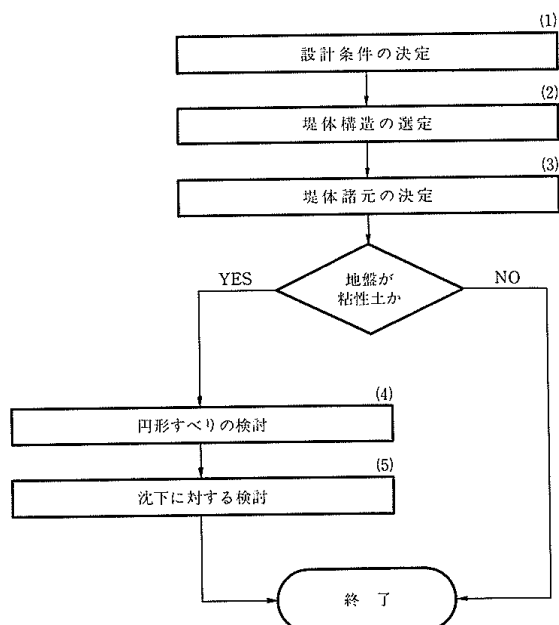
- ① 漁場管理が容易なように作られたものであること。
- ② 増養殖場施設の保護または、それぞれの対象生物の生理生態に適した消波機能を有ること。
- ③ 漁場の海水交流・交換の阻害、内部潮汐の破壊などにより、水質環境を悪化させないとともに底質環境を悪化させない構造、配置であること。

注1 港湾、海岸工学の分野では、消波ブロック等で堤体からの反射波を少なくする構造の防波堤を消波堤（消波工付防波堤）と呼ぶが、増養殖場造成では、利用海域の波を消波する堤防を消波堤と慣習的に呼んでいる。

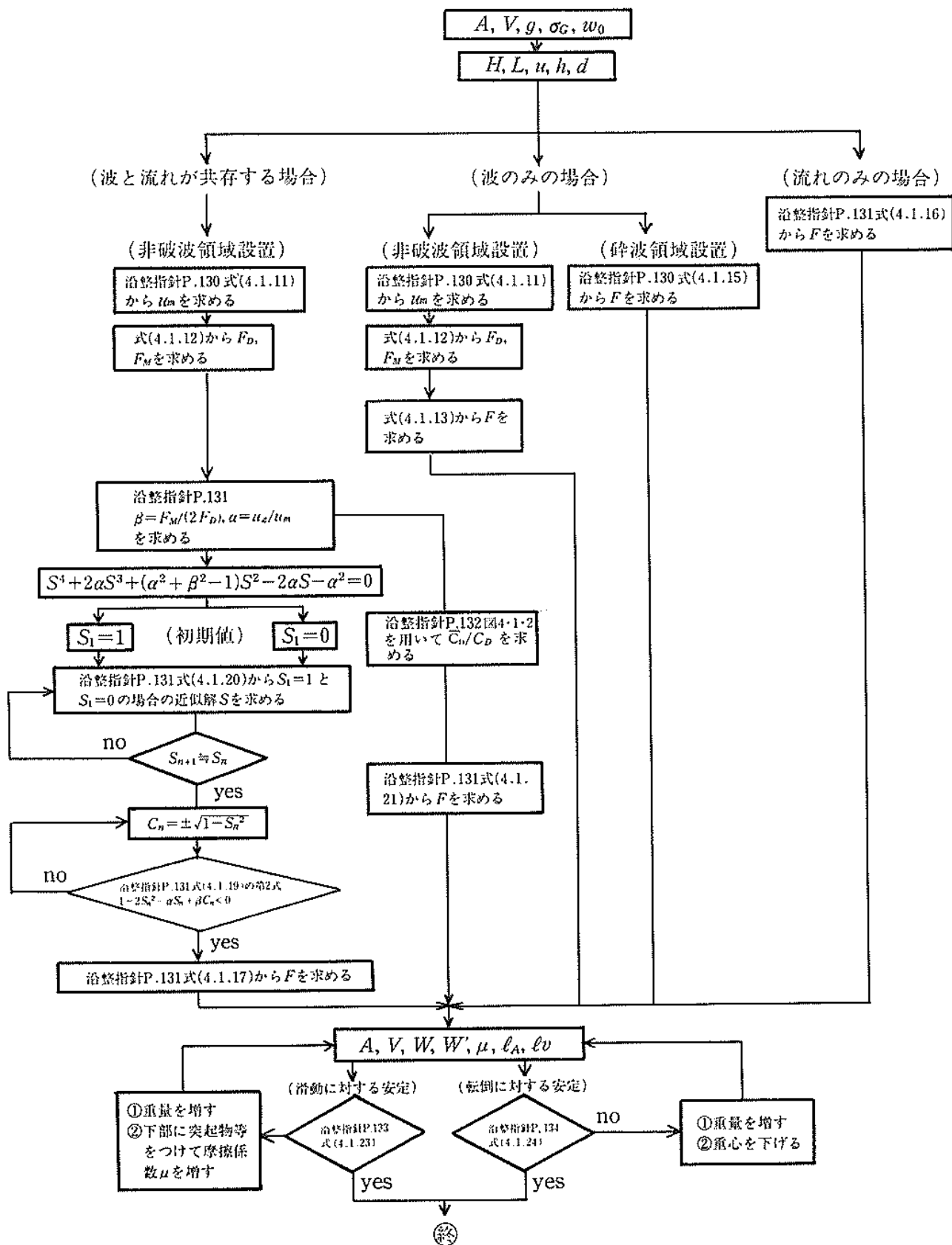
(2) 形式・構造



(3) 設計計算フローチャート



(4) 安定計算のフローチャート



2-3-3 藻礁におけるの滑動や転倒の安全性および限界水深の算出例

1. 設計条件

換算沖波波高	$H_o' = 5.3 \text{ (m)}$
沖波周期	$T_o = 14.8 \text{ (sec)}$
沖波波長	$L_o = 1.56 T_o^2 = 1.56 \times 14.8^2 = 341.7 \text{ (m)}$
波形勾配	$H_o' / L_o = 5.3 / 341.7 = 0.016$
海底勾配	$i = 1/10$
設置水深	$h = 12.0 \text{ (m)}$

2. 設計波の算定

$$h / H_o' = 12.0 / 5.3 = 2.3$$

図-1 より設計波Hを算定する。

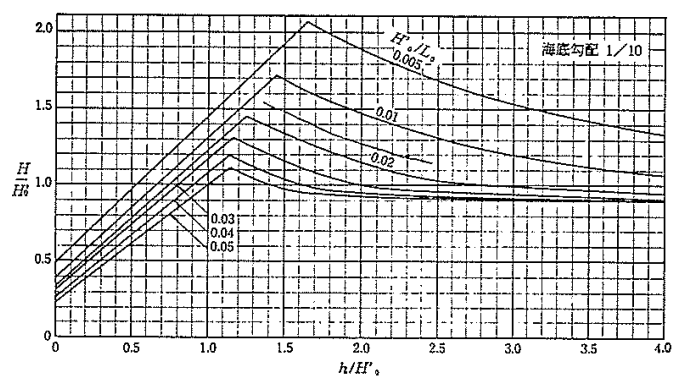


図-1 水深による波高変化 海底勾配 1/10

$$H / H_o' = 1.2$$

$$\therefore H = 1.2 \times 5.3 = 6.36 \text{ (m)}$$

3. 流体力の算定

I) マリノプランテーション

1) 設計流速 u_o

海面流速 $u_H = 0.500$ (m/sec)

ブロック天端の流速 $u_o = K u_H (D/h)^{1/7}$

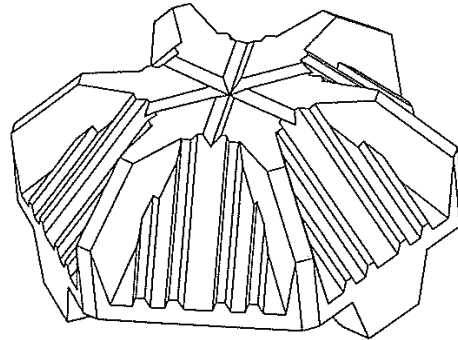
h : 水深 (m)

u_H : 海面流速 (m/sec)

K : 1.6

D : ブロック高さ (= 1.1m)

$$\begin{aligned} u_o &= 1.6 \times 0.5 \times (1.1/12.0)^{1/7} \\ &= 0.569 \text{ (m/sec)} \end{aligned}$$



2) 流体力 F

波と流れが混在するとして計算

波の最大水粒子速度 u_m

$$\begin{aligned} u_m &= \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh 2\pi D/L}{\sinh 2\pi h/L} \\ &= \frac{\pi \times 6.36}{14.8} \times \frac{\cosh (2\pi \times 1.1/154.6)}{\sinh (2\pi \times 12.0/154.6)} \\ &= 2.664 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

抵抗力 $F_D = C_D \cdot A \cdot \omega_o = u_m^2 / 2g$

C_D : 抵抗力係数 (= 1.1)

A : 流れに当る全遮影面積 (= 2.28m²)

w_o : 海水の単位体積重量 (= 1.03 t/m³)

$$\begin{aligned} F_D &= 1.1 \times 2.28 \times 1.03 \times \frac{2.664^2}{2 \times 9.8} \\ &= 0.935 \text{ (t)} \end{aligned}$$

$$\text{仮想質量力 } F_M = C_M V \frac{w_o}{g} \cdot \frac{2\pi}{T} u_m$$

C_M : 仮想質量力係数 (=1.0)

V : 実容積 (=2.257m³)

$$F_M = 1.0 \times 2.257 \times \frac{1.03}{9.8} \times \frac{2\pi}{14.8} \times 2.664$$

$$= 0.268 \text{ (t)}$$

$$\alpha = u_o / u_m = 0.569 / 2.664 = 0.214$$

$$F = F_D (\sin \theta + \alpha)^2 - F_M \cdot \cos \theta = 0.935 (\sin \theta + 0.214)^2 - 0.268 \times \cos \theta$$

$$\theta = 97.0^\circ \text{ の時 } F_{\max} = 1.394 \text{ (t) となる。}$$

II) エビスII

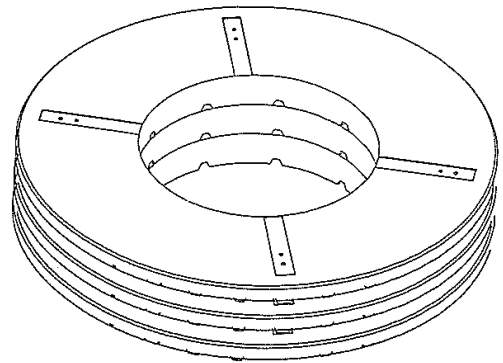
1) 設計流速 u_o

$$\text{海面流速 } u_H = 0.500 \text{ (m/sec)}$$

$$\text{ブロック天端の流速 } u_o = K u_H (D/h)^{1/7}$$

$$D : \text{ブロック高さ } (=0.68\text{m})$$

$$u_o = 1.6 \times 0.5 \times (0.68/12.0)^{1/7} \\ = 0.531 \text{ (m/sec)}$$



2) 流体力

波と流れが混在するとして計算

波の最大水粒子速度 u_m

$$u_m = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh 2\pi D/L}{\sinh 2\pi h/L} \\ = \frac{\pi \times 6.36}{14.8} \cdot \frac{\cosh (2 \times \pi \times 0.68/154.6)}{\sinh (2 \times \pi \times 12.0/154.6)} \\ = 2.662 \text{ (m/sec)}$$

$$\text{抗 力} \quad F_D = C_D \cdot A \cdot \omega_o \cdot u_m^2 / 2g$$

C_D : 抗力係数 (=1.2)

A : 流れに当る全遮影面積 (=2.04m²)

$$F_D = 1.2 \times 2.04 \times 1.03 \times \frac{2.662^2}{2 \times 9.8}$$

$$= 0.956 \text{ (t)}$$

$$\text{仮想質量力} \quad F_M = C_M V \frac{w_o}{g} \frac{2\pi}{T} u_m$$

C_M : 仮想質量力係数 (=1.0)

V : 実容積 (=2.028m³)

$$F_M = 1.0 \times 2.028 \times \frac{1.03}{9.8} \times \frac{2\pi}{14.8} \times 2.662$$

$$= 0.241 \text{ (t)}$$

$$\alpha = u_o / u_m^2 = 0.531 / 2.662 = 0.199$$

$$F = F_D (\sin \theta + \alpha)^2 - F_M \cdot \cos \theta = 0.935 \times (\sin \theta + 0.199)^2 - 0.241 \times \cos \theta$$

$\theta = 96.0^\circ$ の時 $F_{\max} = 1.357 \text{ (t)}$ となる。

4. 流体力に対する安定検討

(1)昭和59年度版 沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針（沿整指針）によると、付着基質の安定検討は魚礁に準じて行なうとの記述があるため、魚礁に対する計算法で検討する。

a) マリノプランテーション

・滑動に関する検討

$$\text{滑動に対する安全率 } S_{FS} = \frac{W \mu (1 - \omega_o / \sigma_g)}{F}$$

W : ブロックの空中重量 (= 5.191 t)
 $\sigma_g \cdot \omega_o$: ブロックおよび海水の単位体積重量
 μ : ブロックと地盤との摩擦係数 (= 0.6 砂礫)

$$S_{FS} = \frac{5.191 \times 0.6 \times (1 - 1.03 / 2.3)}{1.394}$$
$$= 1.234 > 1.2 \quad \text{O K.}$$

・転倒に関する検討

$$S_{FS} = \frac{W (1 - \omega_o / \sigma_g)}{F} \cdot \frac{\ell_v}{\ell_A}$$

ℓ_A : ブロックの正射影面の図心までの高さ (= 0.572m)
 ℓ_v : ブロック重心から転倒の中心までの距離 (= 1.083m)

$$S_{FS} = \frac{5.191 \times (1 - 1.03 / 2.3)}{1.394} \times \frac{1.083}{0.572}$$
$$= 3.893 > 1.2 \quad \text{O K.}$$

b) エビスⅡ

・滑動に関する検討

$$\begin{aligned}
 S_{FS} &= \frac{W \mu (1 - \omega_o / \sigma_g)}{F} \\
 &= \frac{4.666 \times 0.6 \times (1 - 1.03 / 2.3)}{1.357} \\
 &= 1.139 > 1.2 \quad \text{NG.}
 \end{aligned}$$

5. 限界水深の算定

流体力に対して安定する限界の設置水深を求める。2. ～ 4. と同様の方法で求める。

a) マリノプランテーション

$h = 11.0\text{m}$ の時

設計波	$H = 6.98 \text{ (m)}$
設計流速	$u_o = 0.576 \text{ (m/sec)}$
波 長	$L = 148.5 \text{ (m)}$
波の最大粒子速度	$u_m = 3.035 \text{ (m)}$
抗 力	$F_D = 1.214 \text{ (t)}$
仮想質量力	$F_M = 0.306 \text{ (t)}$
$\theta = 96.0^\circ$ の時	$F_{max} = 1.735 \text{ (t)}$

以上より滑動に対する安全率 S_{FS} を求める。

$$\begin{aligned}
 \therefore S_{FS} &= \frac{W \mu (1 - w_o / \sigma_g)}{F} \\
 &= \frac{5.191 \times 0.6 \times (1 - 1.03 / 2.3)}{1.735} \\
 &= 0.991 < 1.2 \quad \text{NG}
 \end{aligned}$$

以上より限界水深は $h = 12.0 \text{ (m)}$ である。

b) エビスⅡ

$h = 13.0$ (m) の時

設計波	$H = 6.25$ (m)
設計流速	$u_o = 0.525$ (m/sec)
波 長	$L = 160.4$ (m)
波の最大粒子速度	$u_m = 2.497$ (m)
抗 力	$F_D = 0.802$ (t)
仮想質量力	$F_M = 0.226$ (t)
$\theta = 96.0^\circ$ の時	$F_{max} = 1.187$ (t)

以上より滑動に対する安全率 S_{FS} を求める。

$$\begin{aligned} \therefore S_{FS} &= \frac{W \mu (1 - w_o / \sigma_g)}{F} \\ &= \frac{4.666 \times 0.6 \times (1 - 1.03 / 2.3)}{1.187} \\ &= 1.302 > 1.2 \quad \text{O K} \end{aligned}$$

転倒について検討する。

$$\begin{aligned} S_{FS} &= \frac{W \mu (1 - w_o / \sigma_g)}{F} \frac{\ell_v}{\ell_A} \\ &= \frac{4.666 \times 0.6 \times (1 - 1.03 / 2.3)}{1.187} \times \frac{1.50}{0.34} \\ &= 9.576 > 1.2 \quad \text{O K} \end{aligned}$$

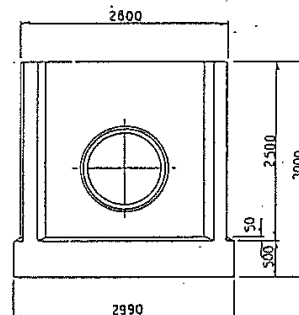
以上より限界水深は $h = 13.0$ (m) である。

2-3-4 魚礁沈設における着底衝撃力に対する安全性の計算例

(1) 一層積みのケース

1. 魚礁諸元

形状寸法	円筒形	$\phi 2.99 \times 3.0\text{m}$
実容積		4.643 m^3
空中重量		10.83 ton
重心位置 (高さ)		1.393 m



2-1 魚礁への衝撃力の算定 (モデル1 海底に着底する場合)

1) 着底衝撃力 (静換算重量 $\hat{\sigma}_G$)

魚礁が海底に着地するときの衝撃力を次式より求める。

$$\hat{\sigma}_G = \frac{K}{V} \varepsilon^2$$

$$\varepsilon \text{ は } L \varepsilon^3 - M \varepsilon - N = 0$$

$$L = \frac{g K}{3 w_o V}$$

$$M = g \left(\frac{\sigma_G}{w_o} - 1 \right) - \frac{C_D A}{4 V} v^2$$

$$N = \left(\frac{\sigma_G}{w_o} + C_{MA} \right) \frac{v^2}{2} \quad \text{の解である。}$$

ε : 地盤変位

K : 地盤反力係数

C_D : 抗力係数

C_{MA} : 付加質量係数

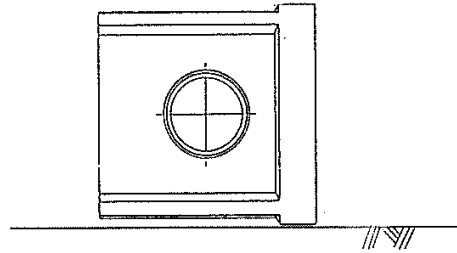
v : 落下速度

σ_G : 魚礁の単位重量

w_o : 海水の単位重量

A : 流れに当る魚礁の遮影面積

図に示すように横向きで着地する場合について検討する。



$$C_D = 0.63, v = 1.0 \text{ (m/sec)} \quad K = 5000 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$$w_o = 1.03 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad , \quad C_{MA} = 1.0 \quad , \quad \sigma_G = 2.35 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$$A = 8.5 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$L = \frac{g K}{3 w_o V} = \frac{9.8 \times 5000}{3 \times 1.03 \times 4.643} = 3415.4$$

$$M = g \left(\frac{\sigma_G}{w_o} - 1 \right) - \frac{C_D A}{4 V} v^2$$

$$= 9.8 \left(\frac{2.35}{1.03} - 1 \right) - \frac{0.63 \times 8.5}{4 \times 4.643} \times 1.0^2 = 12.271$$

$$N = \left(\frac{\sigma_G}{w_o} + C_{MA} \right) \frac{v^2}{2}$$

$$= \left(\frac{2.35}{1.03} + 1.0 \right) \times \frac{1.0^2}{2}$$

$$= 1.6408$$

$$3415.4 \varepsilon^3 - 12.271 \varepsilon - 1.6408 = 0$$

$$\therefore \varepsilon = 0.0935$$

$$\hat{\sigma}_G = \frac{K}{V} \varepsilon^2 = \frac{5000}{4.643} \times 0.0935^2 = 9.414$$

$$\frac{\hat{\sigma}_G}{\sigma_G} = \frac{9.414}{2.35} = 4.01$$

従って、着底時の衝撃力は陸上静置時の4.01倍となる。

3. 魚礁部材の応力

1) 使用材料の許容応力

コンクリート

$$\text{設計基準強度} \quad f'_{ck} = 240 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\text{許容曲げ圧縮応力度} \quad \sigma'_{ca} = 90 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\text{衝撃許容圧縮応力} \quad \sigma_{ci} = 165 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

鉄筋 (SD295A)

$$\text{許容引張応力} \quad \sigma_{sa} = 1800 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\text{衝撃許容引張応力} \quad \sigma_{si} = \frac{1800 + 4500}{2} = 3150 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

2) モーメントの算定

長方形断面をもつ円環として応力を算定する。

・ 分布荷重 (自重) q

$$q = \frac{W}{2\pi r} \times 4.01 = \frac{10.83}{2\pi \times 1.31} \times 4.01 = 5.28 \text{ (tf/m)}$$

・ 最大曲げモーメント M_{max}

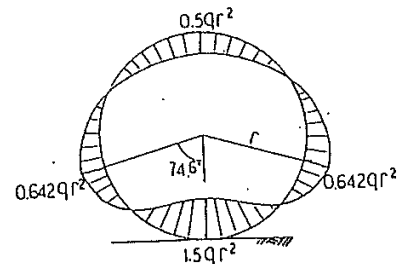
最大曲げモーメント M_{max} は支持点 ($\theta = 0^\circ$) に生じる。

$$M_{max} = \frac{3}{2} q r^2 = \frac{3}{2} \times 5.28 \times 1.31^2 = 13.59 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

・ 最小曲げモーメント M_{min}

最小曲げモーメント M_{min} は、 $\theta = 74.6^\circ$ に生じる。

$$M_{min} = 0.642 q r^2 = 0.642 \times 5.28 \times 1.31^2 = 5.82 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$



3) 応力算定に用いるモーメントについて

$$M_{max}(0^\circ) = 13.59 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

$$M_{max}(42.98^\circ) = 9.70 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

上数値の比 $t = 13.59 / 9.70 = 1.40$ より

有限要素法を用いて応力算定をした際に用いた最大モーメントを割増して応力算定を行なう。

$$\therefore M = 12.288 \times 1.40 = 17.20 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

4) 所要鉄筋量

所要鉄筋量 A_s 、鉄筋引張応力 σ_s は以下の式から求める。

$$A_s = \frac{M}{\sigma_{si} \cdot j \cdot d} \quad \left\{ \begin{array}{l} M : \text{モーメント (kgf}\cdot\text{cm)} \\ j : 7/8 \\ d : \text{有効高 (cm)} \end{array} \right.$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot j \cdot d}$$

$$p = A_s / b d$$

$$k = \sqrt{2 n p + (p n)^2} - p n, \quad j = 1 - 1/3$$

また、コンクリートの圧縮応力 σ_c は

$$\sigma_c = \frac{2 M}{k \cdot j \cdot b \cdot d^2} \quad \text{より求まる。}$$

モーメント M は 1.40 の割増をして、結果は表のようになる。

モ デ ル	1			
接 地 角	0°			
要 素 番 号	1、34、67	34、37	101	101、103
方 向	外 周	縦	外 周	縦
位置（外、内面）	内 面	外 面	内 面	外 面
M t・m/m	-17.203	4.190	-2.510	1.799
部材厚 cm	27.5	27.5	18.0	18.0
かぶり cm	7.0	7.0	7.0	9.5
有効高 cm	20.5	20.5	11.0	8.5
幅 cm	50	25	21.6	25
A _s cm ²	15.22	1.85	1.79	1.92
配筋計画	D 16 N = 9 本	D 16 N = 1 本	D 16 N = 1 本	D 16 N = 1 本
A _s cm ²	17.874	1.986	1.986	1.986
p	0.0174	0.00388	0.008	0.00935
k	0.507	0.288	0.391	0.408
j	0.831	0.904	0.870	0.864
σ _s	2825 OK	2846 OK	2853 OK	3084 OK
σ _c	194 N G	77 OK	122 OK	141 OK

(2) 二層積みのケース

1. 魚礁への衝撃力の算定

1) 着定衝撃力（二層の場合～下図）

二層積の場合は、以下の式より衝撃力を求める。

$$K_1 = K \cdot \varepsilon$$

K_1 : 地盤反力係数

$$K_2 = \frac{192 E I}{\ell^3}$$

K_2 : 魚礁の反力係数

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}}$$

K_3 : 合成反力係数

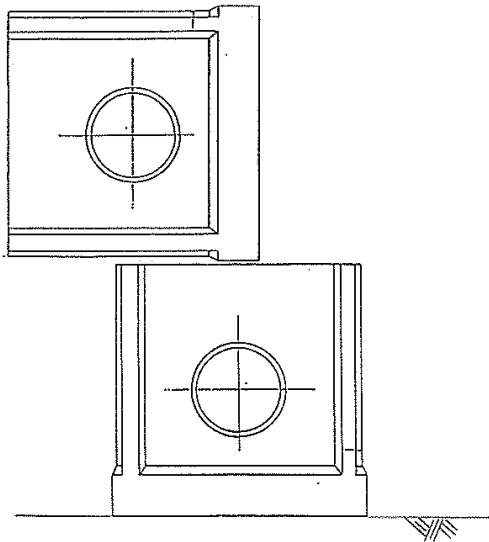
I : 断面 2 次モーメント

ℓ : スパン

$$\sigma_G = L + \sqrt{L^2 + M}$$

$$L = (\sigma_G - \omega_o) - \frac{C_D A \omega_o v^2}{4 g V}$$

$$M = \frac{K_L v^2}{g V} (\sigma_G + C_{MA} \cdot \omega_o)$$



反力係数

$$\begin{aligned}
 K_R &= \frac{1}{92} \frac{EI}{l^3} \\
 &= \frac{192 \times 1.4 \times 10^5 \times \frac{18 \times 82.3^3}{12}}{116^3} \\
 &= 1.44 \times 10^6 \text{ tf/m}
 \end{aligned}$$

$$K_1 = K \cdot \varepsilon = 5000 \times 0.0928 = 464 \text{ tf/m}$$

$$K_2 = K_R = 1.44 \times 10^6 \text{ tf/m}$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}} = \frac{1}{\frac{1}{464} + \frac{1}{1.44 \times 10^6}} = 464 \text{ tf/m}$$

$$\begin{aligned}
 L &= (\sigma_g - \omega_o) - \frac{C_D A \omega_o v^2}{4 g V} \\
 &= (2.35 - 1.03) - \frac{0.63 \times 8.5 \times 1.03 \times 1.0^2}{4 \times 9.8 \times 4.643} \\
 &= 1.290
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{K_L v^2}{g V} (\sigma_g + C_{MA} \cdot \omega_o) \\
 &= \frac{464 \times 1.0^2}{9.8 \times 4.643} \times (2.35 + 1.0 \times 1.03) \\
 &= 34.468
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \hat{\sigma}_g &= L + \sqrt{L^2 + M} \\
 &= 1.290 + \sqrt{1.290^2 + 34.468} = 7.30
 \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{\hat{\sigma}_g}{\sigma_g} = \frac{7.30}{2.35} = 3.11$$

2. 魚礁部材の応力検討

1) 使用材料の許容応力

コンクリート

$$\text{設計基準強度} \quad f'_{ck} = 240 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\text{許容曲げ圧縮応力度} \quad \sigma'_{ca} = 90 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\text{衝撃許容圧縮応力} \quad \sigma_{ci} = 165 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

鉄筋 (SD295A)

$$\text{許容引張応力} \quad \sigma_{sa} = 1800 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\text{衝撃許容引張応力} \quad \sigma_{si} = \frac{1800 + 4500}{2} = 3150 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

2) モーメントの算定

長方形断面をもつ円環として応力を算定する。

・分布荷重 (自重) q

$$q = \frac{W}{2\pi r} \times 3.11 = \frac{10.83}{2\pi \times 1.31} \times 3.11 = 4.09 \text{ (tf/m)}$$

・最大曲げモーメント M_{max}

最大曲げモーメント M_{max} は支持点 ($\theta = 0^\circ$) に生じる。

$$M_{max} = \frac{3}{2} q r^2 = \frac{3}{2} \times 4.09 \times 1.31^2 = 10.53 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

・最小曲げモーメント M_{min}

最小曲げモーメント M_{min} は、 $\theta = 74.6^\circ$ に生じる。

$$M_{min} = 0.642 q r^2 = 0.642 \times 4.09 \times 1.31^2 = 4.51 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

3) 応力算定に用いるモーメントについて

$$M_{max}(0^\circ) = 10.53 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

$$M_{max}(42.98^\circ) = 9.70 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

上数値の比 $M_{max}(0^\circ) / M_{max}(42.98^\circ) = 10.53 / 9.70 = 1.09$ より

有限要素法を用いて応力算定をした際に用いた最大モーメントを割増して応力算定を行なう。

$$\therefore M = 12.288 \times 1.09 = 13.39 \text{ (tf}\cdot\text{m)}$$

4) 所要鉄筋量

所要鉄筋量 A_s 、鉄筋引張応力 σ_s は以下の式から求める。

$$A_s = \frac{M}{\sigma_{si} \cdot j \cdot d} \quad \left\{ \begin{array}{l} M : \text{モーメント (kgf}\cdot\text{cm)} \\ j : 7/8 \\ d : \text{有効高 (cm)} \end{array} \right.$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot j \cdot d}$$

$$p = A_s / b d$$

$$k = \sqrt{2 n p + (p n)^2} - p n, \quad j = 1 - k/3$$

また、コンクリートの圧縮応力 σ_c は

$$\sigma_c = \frac{2 M}{k \cdot j \cdot b \cdot d^2} \quad \text{より求まる。}$$

モーメント M は 1.09 の割増をして、結果は表のようになる。

モ デ ル	1			
接 地 角	0°			
要 素 番 号	1, 34, 67	34, 37	101	101, 103
方 向	外 周	縦	外 周	縦
位置 (外、内面)	内 面	外 面	内 面	外 面
M t・m/m	-13.394	3.262	-1.954	1.401
部材厚 cm	27.5	27.5	18.0	18.0
かぶり cm	7.0	7.0	7.0	9.5
有効高 cm	20.5	20.5	11.0	8.5
幅 cm	50	25	21.6	25
A_s cm ²	11.85	1.44	1.39	1.50
配筋計画	D 16 N = 7 本	D 16 N = 1 本	D 16 N = 1 本	D 16 N = 1 本
A_s cm ²	13.900	1.986	1.986	1.986
p	0.0136	0.00388	0.00836	0.00935
k	0.467	0.288	0.391	0.408
j	0.844	0.904	0.870	0.864
σ_s kgf/cm ²	2785 OK	2195 OK	2221 OK	2401 OK
σ_c kgf/cm ²	162 OK	60 OK	95 OK	110 OK

(3) まとめ

横転による着堤で検討した結果、鉄筋量は一層積みの場合、現行の 248.1 kg に対して 399.05 kg となり、二層積みの場合 337.21 kg となる。また一層積みについては、圧縮応力が NG となるため設計基準強度 f'_{ck} を現行 240 kg から 300 kg にする必要がある。下式のように圧縮応力が ok となる。

$$\text{設計基準強度} \quad f'_{ck} = 300 \text{ (kg f/cm}^2\text{)}$$

$$\text{許容曲げ圧縮応力度} \quad \sigma'_{ca} = 110 \text{ (kg f/cm}^2\text{)}$$

$$\text{衝撃許容圧縮応力} \quad \sigma_{ci} = (300 + 100) / 2 = 205 \text{ (kg f/cm}^2\text{)} > 194 \text{ (kg f/cm}^2\text{)} \quad \text{ok}$$

2-3-5 藻場ブロック設計計画における留意点

第1章において磯焼けと増殖場造成についての記載されていて、磯焼けを解消するための対策の全体像が判る。ここでは、さらに設計計画に対する留意点の一端を示す。桑原ら⁴⁾は岩内港西防波堤沖に広がる海藻群落に注目して、次のことを明らかにしている。

ウニ摂食圧の低い領域は、主に水温よりも底面波浪流速によって決まり流速の大きい領域にあたること(水温7~24℃の範囲)。ウニ摂食圧の低い領域とコンブ群落の分布、また摂食圧の高い領域と無節サンゴモの分布は良い一致が認められ、磯焼けの要因として言われているウニの食害説を理論的に説明することができたこと。シールズ数が大きく底質の比較的不安定な地点はコンブ現存量が多く、ウニが少ない。逆に、シールズ数が小さく安定な地点はコンブ現存量が少なく、ウニが多くなっており、底質の安定性とコンブ、ウニの現存量は明確な関係が認められたこと。

また同研究者ら⁵⁾の北海道南西部航空写真による磯焼けの特性は、キタムラサキウニの生態的な知見を踏まえて検討した結果、次のことを明らかにしている。

海藻は、海岸の岸沖方向が北西で海底勾配が急な波当たりの強い海域に群落を形成し、この逆に磯焼けは、岸沖方向が北西から離れ、海底勾配が緩やかな波当たりの弱い海域に形成する傾向がある。これは、ウニの摂食圧が波当たりが弱いと大きく、強いと小さいことがわかった。

磯焼けは、河川や砂の影響の強い海域では生じにくい傾向が表れた。これは、ウニが淡水や砂を嫌うためと考えられる。海藻と河川や砂との間には明確な関係が現れなかったことなどである。

漂砂の影響について山下ら⁶⁾は次のことを明らかにしている。

砂のない岩礁域では、水深が深く波動流速が弱くなるとウニの摂食圧が強くなるため、摂食に強いケウルシグサや無節サンゴモのみの海域となるが、砂のある砂浜域中の岩などでは漂砂効果によりウニが少なく、海藻が繁茂しやすいこと。海藻への直接的な漂砂効果としては、海藻の剥ぎ取りによる岩肌の露出というマイナスの影響と1年生海藻の繁茂を可能にする適度な着底基質の更新というプラスの影響があること。

これらの事項を考慮することで設計計画の参考となる。

【参考文献】

- 1) 海洋科学別冊 7 水産海洋科学研究 海洋科学編集部編より
- 2) 中村 充：浮養殖施設的设计法, FAO 水産増殖国際会議論文集 (I), 水産庁, 1976, pp126
- 3) 漁港・魚場の施設の設計の手引 2003 年版 [下] p. 66
- 4) 桑原久実, 赤池章一, 林久哲, 山下俊彦 “磯焼け地帯における海藻群落の生育要因に関する研究”, 海岸工学論文集 44 巻 1997, pp1181-1185
- 5) 桑原久実, 川畑勝嗣, 山下俊彦 “航空写真による北海道南西部磯焼け海域の海藻分布特性”, 海岸工学論文集, 第 45 巻, 1998, pp1106-1110
- 6) 山下俊彦, 高橋和實, 田畑真一, 斎藤二郎 “岩礁域と砂浜域中の岩の海藻比較による海藻繁茂への漂砂の影響”, 海岸工学論文集第 47 巻, 2000, pp116-1170

【文責】 成田 義昭

3. 増殖機能材料の開発の現状・可能性と展望

3-1 増殖機能材料

3-1-1 はじめに

従来の魚礁や磯根礁は、コンクリート構造物や自然石を沈設して海藻類の増殖や魚介類の蛸集環境を整備することを目的としている。海の構造物に魚介類が蛸集するのは、前にも述べたように陰影説、過流説、本能説、逃避説、餌料説等々数多くの説があるが、これらは各構造物の材料の質および形の様態によってこの説の比重はおのずから異なってくる。

渦流による流速の変化や陰影を造りだす構造としての円筒タイプ魚礁や製造の容易性、沈設後の安定性、空立米が大きい等の点での方型タイプ（立法タイプ）の骨組み構造等が多用、供用されている。一方、海藻の育成を目的とした場合、日光および材料の質からの影響が極めて大きいと判断される。

近年の地球環境問題への関心が高まるに従い、生態系の保全や生態系における物質環境・食物連鎖の重要性が再認識されるようになり、コンクリート自体にも生物付着性等の機能の付与が求められるようになってきている。生物付着性では、神奈川県での事例で試験礁¹⁾として砂地の海底に設置したアラメ・カジメ藻場造成で表層のコンクリートブロックにケルプ・リブという逆三角形の突起をつけて胞子の着生と仮根の固着を高めた試みを行い、効果をあげている。さらに各地からブロック基盤の表面に突起物や溝部を設けることによって海藻の胞子とその稜角部に着生することが報告されている。こうした試みから既設消波構造物に凹凸や溝部を設けたものが一部に供用されるに至っている。

一方、藻場礁を兼用する形で種を限定した蛸集環境をつくり、礁として役割を果たしているものもある。例えば、「ヤリイカ産卵礁」として自然環境に類似した棚面・壁などの間隙陰影部をつくり、ヤリイカの棲息場所・産卵場所を造ったものや「イセエビ礁」として好適な棲息場所となる適当な間隙や暗所の多い構造で高い蛸集効果が確認されているものもある。また、食物連鎖の考え方からバイオの活用あるいはポーラスコンクリートの適用が考えられている。

3-1-2 新たな素材の探求

現在、生物付着性の付与に関する技術はコンクリート構造物あるいは特長ある素材の表面に凹凸や間隙を設け、生物が定着・生息する場所を確保する。すなわち、表面改質や構造形態を変えることによる技術が主流となっており、材料化学の側面からの検討はわずかである。

今後、本格的に生物付着性等の機能をコンクリート等に付与するためには、表面改質や構造形態を変える等の生態系の自立的構成能力に頼る方法では限界があり、海藻類の遊走子の定着や発芽・生成を促進させる微量元素の供給や栄養塩類の除放などが可能な材料化学的な側面からの検討が不可欠となってきた。

材料化学的側面から藻礁としての機能を基礎的に評価する場合は、基盤の表面にいかにより生物が付着し、成長し易いか評価することが重要であり、大型藻礁の定着・成長も放出された遊走子、卵細胞あるいは種子がまずは基盤に付着し発芽することから始まり、遊走子等は周りに粘液層を有し付着性を高めているが、基盤に形成される生物膜も遊走子、卵細胞、種子の付着に重要な役割を果たしていると予想される。

このような考え方にに基づき、次に示す特長ある素材を用いた藻場造成ブロックについて今後の藻場造成に新たな知見が加わることを期待する。これらの藻場造成ブロックを分類してみる。

(1) 木炭ブロック

粗粒木炭を用いて炭の持つ多孔質と吸着性を損うことなく成型した藻場環境ブロック。木炭の大きな表面積により微生物やプランクトンが吸着し良好な藻場環境が期待できる。

(2) EMO ブロック

ポーラスコンクリートに有用微生物群（バイオ）を添加した藻場環境ブロック。有用な働きをする微生物 80 余種を添加することで良好な藻場環境が期待できる。

(3) 石炭灰ブロック

石炭灰を低アルカリ型の多孔質な固化物とした藻場環境ブロック。多孔質な性状により微生物の吸着が期待できるとともに栄養塩類も含んでいるため、良好な藻場環境が期待できる。

(4) ソイル固化ブロック

ソイルミックスという土砂まじり土を固化物とした藻場環境ブロック。これに含まれる多量の灰分には、カルシウム、マンガン、酸化鉄、マグネシウム等のミネラル分を含んでおり、またバイオ効果もあるため、良好な藻場環境が期待できる。

(5) バイオブロック

BT ソイルという腐食物質に有効微生物を固定共生させたものをポーラスコンクリートに注入した藻場環境ブロック。微生物の働きで有機物を無機化し栄養塩類を添加できるため良好な藻場環境が期待できる。

(6) マサ土ブロック

ポーラスコンクリート製品内部に有効微生物群（バイオ）を固定・共生した腐植土を充填し、ポーラスコンクリートの連続した内部空隙に生物膜層を形成させる。これにより胞子などの着生成を促す。

(7) 栄養塩ブロック

N、P、K を含む栄養塩を生コンに混練し、栄養塩が徐々に溶出し、海藻類の成長を促すもので栄養塩付加型コンクリート用骨材として開発したもの²⁾ などがある。

(8) 着生ブロック

コンクリートブロックにケルプ・リブ（逆三角形突起）をつけたり、ブロック上部にエッジをつけたり、ポーラスコンクリートを用いたり、混合素材を変えたりして着生を改善した着生基盤材（3.3 章参照）として開発されたものなどがある。

表 3-1 に増殖機能ブロックを分類する。

表 3-1 増殖機能ブロックの分類

分類	タイプ	事例
ブロック形状	円筒型 組立て型 FP 型 八角型 円型	写真 1-1 写真 1-2 写真 1-3 写真 1-4
有機質施肥ブロック	魚カスブロック	図 5-5, 6 シンボ論文 9
無機系施肥ブロック (普通コンクリート またはポーラスコン クリート)	木炭ブロック, 炭礁 石炭灰ブロック 栄養塩ブロック (M) 栄養塩ブロック	3-1-2(1), 表 5-1, 図 5-4, 写真 5-1~4, 写真 5-5~10 3-1-2(3), 表 5-1, 図 5-4, 写真 5-1~4, 写真 5-5~10 3-1-2(7), 図 5-5, 6, シンボ論文 6 シンボ論文 8
バイオ系ブロック (普通コンクリート またはポーラスコン クリート)	BT ソイルブロック EMO ブロック ソイル固化ブロック マサ土ブロック	3-1-2(5), 4-5, 表 5-1, 写真 5-5~10, シンボ論文 1 3-1-2(2), 表 5-1, 図 5-4, 写真 5-1~4, 写真 5-5~10 3-1-2(4), 表 5-1, 図 5-4, 写真 5-1~4, 写真 5-5~10 3-1-2(6), 表 5-1, 図 5-12, 写真 5-12
着生ブロック	ケルプ・リブブロック 着生基盤材ブロック (R ブロック) 二層コンクリートブロック	3-1-2(8), 参考文献 1) 3-3, 図 3-6, 表 3-7 3-2-3 3), 写真 3-1, 表 3-3
副産物系 固化体ブロック	廃ガラスリサイクルブロック 鉄鋼スラグ水和固化体ブロック 硫黄固化体ブロック	3-2-3 2), 写真 3.1~2 3-4-1, シンボ論文 5, 11 3-4-2, シンボ論文 5
被覆ブロック	防波堤被覆ブロック 消波型高基混成堤被覆ブロック	5-1-2 3-6

【参考文献】

- 1) 電中研レビュー, “原子力発電所の人工島式海上立地”, 第 42 号, 2001 年 2 月
- 2) 週刊ブロック通信, “藻場造成などに最適なモバール”, 第 2139 号, 平成 14. 7. 29

【文責】 成田 義昭

3-2 藻場の造成に適した素材について

3-2-1 はじめに

平成 17 年 2 月に京都議定書がようやく発効された。世界をリードする米国、世界一の人口をもつ中国等が対象外であるなど、多くの問題も抱えているが、地球温暖化については国際的な枠組みとしての重要な第一歩として評価される。しかし地球環境問題は温暖化ばかりではなく、オゾン層、酸性雨、異常気象、砂漠化、森林破壊等、挙げればいくらでも出てくるような状況にある。

近年、藻場の減少・消失が確認されており、漁業生産などに関連してこれらが重要視されている。これらの原因は埋め立て等による環境の直接改変、富栄養化、河川からの汚濁水流入、異常気象などが挙げられ、人為的におこなわれた多くの産物が影響を与えている。

藻場の造成は全国的には成功例もあるが、失敗例も多いのが現状である。また一旦、磯焼けした海域で藻場造成をするのはきわめて困難である。本報告では、これまで行われて実績のある藻場造成技術および藻場造成に用いられる資材、素材を紹介し、試作している資材、素材の藻場造成への対応性について考察する。

3-2-2 藻場の造成技術と造成のための素材

藻場造成技術には大きく分類すると母藻移植、種苗移植¹⁾、自然帯植（自然対応型資材）がある。これらのベースになるものとして、マウンド・根詰めブロック、コンクリート系ブロック・プレート、ネット、ロープ、木材そしてそれらの組み合わせ等が挙げられる。

(1) マウンド・根詰めブロック

大掛かりな藻場造成技術として生態系移植型藻場造成システムと呼ばれている方法²⁾がある。これは消波ブロックと建材ブロックの部分を捨石やコンクリートブロックで施工したマウンドに種苗ネット、種苗ロープ、スポアバック等で藻類を移植する方法である。この方法では付着動物は少ないが、一次生産物である海藻等が着きやすいのが特徴である³⁾。

(2) コンクリート系ブロック・プレート

コンクリート系ブロックには多くの種類があるので、その一例を紹介する。小規模なものとして栄養強化したポーラスコンクリートブロック⁴⁾が挙げられる。このタイプのブロックは直接海藻の着生を期待するものであり、生物付着等にも実績を残している。しかし、固定する方法を検討する必要がある、全体的な施工設計を考えていかなければならない。

藻場造成工法の一環として付着基質となる藻礁コンクリートブロックが開発されている⁵⁾。ブロック形状に変化があり、海藻の付着や成長に適しているほか、下部に柱が設けてあり砂質地盤で埋没しない構造になっている。また V 字溝を設けているため、アワビやサザエなどの生息場所が提供できる。また、試験施工された水生生物協調ブロックがある⁶⁾。これらのブロックは海藻類が着生しやすいように凹凸を多くし、自然石や、円柱を配置した 7 種類のブロックを試作・据え付けて追跡調査を実施している。

(3) ネット、ロープ等

種苗ネットや種苗ねん糸が藻場造成に多大な貢献をしている²⁾。麻のロープそのものも海藻が付着しやすい性質があり、ロープだけでも特許になっている。

(4) その他

間伐材を用いた多くの試みがある。しかし、魚礁に使用した場合の木材の耐用年数は5年程度と考えられ、その後のことを考える必要があるため、コンクリートや鋼製フレームなどの組み合わせで考えることが多い。また、貝殻や珊瑚の主成分と同じ炭酸カルシウムでできたブロックが開発されている⁷⁾。これらのブロックの開発に関連して、高炉スラグを用いた潜堤や覆砂でマウンドを築く技術も提供されている。これらの材料はすべて100%リサイクル材で環境に配慮した藻場造成をめざしている。さらに、表面に溝をつけたコンクリートブロックのほか炭プレートやクリンカーアッシュ（石炭灰）プレートを開発して藻場造成を行っている⁸⁾。

群馬県榛名湖では数年前ワカサギが激減するという危機的な状況を迎えていた。この状況を改善したのが炭素繊維による人工藻場システムである⁹⁾。長年の炭素材料研究の過程で炭素繊維にバクテリアのような微生物を集める効果があることを発見された。この優れた能力が水質浄化につながりやがて動植物の育成や生態系の維持にも大きな効果を発揮した。

3-2-3 環境を考慮した素材の適用の一例

(1) 適用資材

ここで、主に取り組んでいる素材を挙げると、ポーラスコンクリート、廃ガラスリサイクル材、カルシウム系固化材の3つであり、それぞれについて説明を加えると次のようになる。

1) ポーラスコンクリート

ポーラスコンクリートはすでに幅広く利用されており^{10) 11)}、その利用形態は「環境負荷低減型」と「生物共生型」の二つに分けられる。環境負荷低減型ポーラスコンクリートは、道路舗装に代表され、舗装表面に水がたまらないため水はねの防止、自動車が走行する際の騒音の吸収、夏期の照り返し軽減の役目などを果たすことから、走行性や歩行性に優れ、アスファルト舗装に比べて耐久性や耐油性に優れている。また空隙つぶれが起こりにくく、透水機能が長く持続し、保水性があることから地下水の枯渇による地盤沈下の防止も可能である。生物共生型ポーラスコンクリートは緑化・植生や水質浄化、藻場造成やハビタット(生物の生息圏、生育空間)の働きがあり、ポーラスコンクリートの植生機能を付加できるという性能を河川護岸工法に用いた場合、治水のみならず、微生物を含んだ動植物の生息、生育場所としての機能が成り立つことによって自然生態系の保全、河川景観の向上などをねらいとする多自然型川づくりができる。

ポーラスコンクリートは、ほぼ粒径の等しい骨材を用いて、その周りに結合材をまぶし、粗骨材同士を接点に近い状態で結び付けたものである。したがってポーラスコンクリート中には、結合材によって接合された骨材の相と空隙の相が、連続して存在することになり、一般のコンクリートに比べ、明らかな強度低下を引き起こすことが考えられる。

2) 廃ガラスリサイクル材

廃ガラスリサイクル材は多くの施工実績を残している¹²⁾。廃ガラスリサイクル材は多孔質

間隙構造を有する新素材であり、軽量かつ強固な特性を持っている。製造条件により 0.3～1.5 の比重および吸水・非吸水が調整可能である。吸水性のものは岩盤を含めた斜面緑化、屋上・屋外庭園などの保水材として、非吸水性のものは軽量盛土材、軽量コンクリート二次製品の骨材、軽量コンクリート吹付け工、地盤改良材、雑草防止材等に利用されている。今回、その廃ガラスリサイクル材をポーラスコンクリートの骨材として用いて、その有効性を検討した。

3) カルシウム系固化材

カルシウム系固化材の特長として次のことが挙げられる¹³⁾。

- ① 天然の土がベースであり、茶色系であることから質感が環境と調和する。
- ② セメント系の吹付材の欠点である白華現象がほとんどない。
- ③ 主原料が天然の土であることから、無公害である。
- ④ 風化劣化した場合においても、廃材にならずに再生吹付材としてのリサイクルが可能である。
- ⑤ 吹き付け時の pH は、ほぼ中性であるため、コケ等の植物の斜面への侵入を容易にする。
- ⑥ 透水性があり、侵入してきたコケ等の植物に給水できる。
- ⑦ 土を強固に固めるために、耐久性に優れる。

これらのことにより、カルシウム系固化材は環境に良い材料であるといえる。現在は藻場適応のブロックは試作していないが、力学的強度を調査した。

(2) 試作ブロック

1) 普通ポーラスコンクリートブロック

設計条件として、設計基準強度 10N/mm^2 以上、目標空隙率は 26%、粗骨材最大寸法 20 mm とした。ポーラスコンクリートの配合設計を決定するためにセメントペースト配合で水セメント比 20%、標準型の高性能 AE 減水剤をセメントに対して使用量 0.7% で打設した。しかし、骨材の状態ペーストが型枠の下に溜まったり、逆に十分な流動性がなくなったりした。このことについては試行錯誤で行うしかなく、最適なコンクリートを見極めることができる経験が必要となる。強度については、両面キャッピングの結果、 $13\sim 15\text{N/mm}^2$ の強度が得られた。

2) 廃ガラスリサイクルブロック

今回用いた廃ガラスリサイクル材は連続気泡型であり、空隙を多く有するが、ほとんど強度を持たない。また水につければかなりの吸水量を持つため、水から揚げた廃ガラスリサイクル材にセメントをまぶす形で混合した。また、硬化時は上面をプレスした状態にした。このプレス効果で若干強度は上がったが曲げ強度が 0.5N/mm^2 に満たない程度であった。

3) 2層コンクリートブロック

強度を持たせるため、藻場を考えたブロックは2層にすることにした。下層はワイヤーメッシュで補強した鉄筋コンクリートで上層を普通ポーラスコンクリートとした。また四隅には塩ビパイプを埋め込み固定が容易にできるようにした。

それぞれの試作ブロックを写真 3-1 に示す。



写真 3-1 試作ブロック

(左から普通ポーラスコンクリートブロック，廃ガラスリサイクルブロック，二層コンクリートブロック)

(3) 植生実験

廃ガラスリサイクルブロックと普通ポーラスコンクリートブロックを用いて植生実験を行った。廃ガラスリサイクルブロックはセメント量を変えて打設したが、セメント量を多くすると廃ガラスリサイクル材自体がもつ気泡をセメントペーストでつぶしてしまう傾向があった。また植生実験を行うための植生材料の配合詳細は表 3-2 に示すとおりである。配合表にしたがい、植生基盤材と化学肥料を混ぜ合わせて使用した。種子配合量については、正常に発芽した場合、発芽期待数を 10cm 角に 15 本程度となるようにしたものを使用した。

表3-2 植生材料の配合

名称	仕様・寸法	100m ² あたり
種子	トールフェスク・ピュアゴールド	0.9 kg
植生基盤材	S G 表土 2 号	187.5 リットル
化成肥料	住化エース 2 号	48.75 kg

実験結果を写真 3-2 に示す。写真は 3 ヶ月以上経過した状況である。すべてにおいて根は底まで達しているが、普通ポーラスコンクリートブロック (D) が十分、根差しているのに対して、セメント量の多い廃ガラスリサイクルブロック (C) は十分とはいえない。またセメント量の少ない廃ガラスリサイクルブロック (A, B) はそれぞれの間程度程度の根差し量であった。このことは上述のとおり、セメント量が多くなるとリサイクル材自体の気泡をセメントペーストでつぶしてしまうため、ブロック自体の空隙が少なくなり水分が浸透しにくくなるため、同じ資材のブロックにも関わらず根差し量に違いが生じたと考えられる。



写真 3-2 ポーラスコンクリートへの植生
 (A, B: 廃ガラスリサイクルブロック (セメント量少),
 C: 廃ガラスリサイクルブロック (セメント量多), D: 普通ポーラスコンクリート)

(4) 藻場造成を目的とした実験

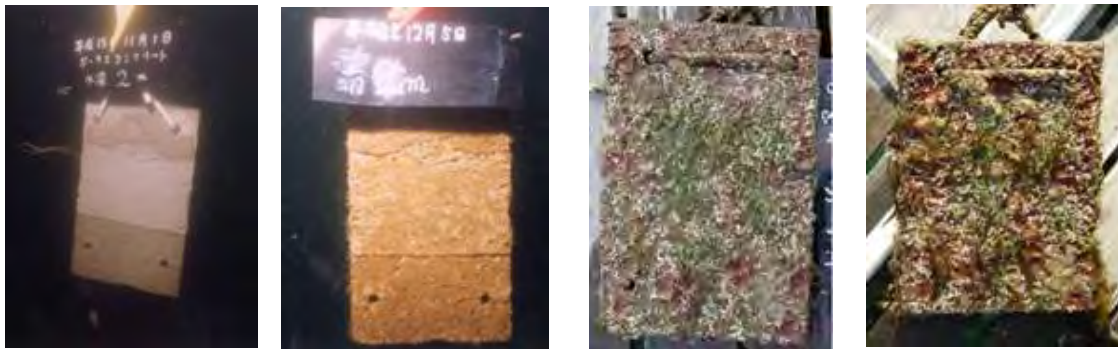
前述の試作二層コンクリートをベースとしたコンクリートブロックを作成し、栈橋から 1m ～2m までの海中にロープで吊るす形式および水深約 5m の海底に固定する形式を用いて、植物、海洋生物の付着状況を調査した。セメントには普通ポルトランドセメントのほか高炉セメントを用いた。上層のポーラスコンクリートには木材、牡蠣殻、鉄屑、炭を混入したものや、ブロックに麻のロープを巻きつけたものでブロックに変化をつけて、生植物の付着状況の違いを検討した。用いた二層コンクリートブロックを表 3-3 にまとめた。写真 3-3 は普通コンクリートと普通二層コンクリートの水深 2m での経時変化を例として示している。この写真からポーラスコンクリートの部分 (写真 3-3 (b)) に植物がよく付着しているのがわかる。

ここで、表 3-2 で示したコンクリートブロックに対して、この実験での確認事項をあげると次のようになる。

表 3-3 用いた二層コンクリートの種類

コンクリートの種類	水深	期間
①普通コンクリートブロック 普通	2.0m	3ヶ月
②二層コンクリートブロック 普通	2.0m	3ヶ月
③二層コンクリートブロック 高 木 鉄 ロープ	1.5m	3ヶ月
④二層コンクリートブロック 高 鉄 ロープ	1.0m	3ヶ月
⑤二層コンクリートブロック 普通	海底	3ヶ月
⑥二層コンクリートブロック 高 木	海底	3ヶ月
⑦二層コンクリートブロック 高 鉄	海底	3ヶ月
⑧二層コンクリートブロック 高 牡蠣	海底	1ヶ月
⑨二層コンクリートブロック 高 炭	海底	1ヶ月
⑩二層コンクリートブロック 高 牡蠣	1.5m	1ヶ月
⑪二層コンクリートブロック 高 炭	1.5m	1ヶ月

* 普通ポルトランドセメント・・・普通 高炉セメント・・・高 木材・・・木
 異形鉄筋・・・鉄 牡蠣の殻・・・牡蠣 炭・・・炭 麻のロープ・・・ロープ



(a) 普通コンクリートブロック：左から0ヶ月，1ヶ月，2ヶ月，3ヶ月



写真 3-3 コンクリートブロックの経時変化

b) 2層コンクリートブロック：左から0ヶ月，1ヶ月，2ヶ月，3ヶ月

- ・木材には植物付着が発見できない。
- ・1ヶ月では植物付着は難しい。
- ・鉄筋、鉄屑への植物付着が見られた。
- ・海底の物は特定の植物のみ確認できた。
- ・普通コンクリートに比べ二層コンクリートブロックの方が植物付着に優れていた。
- ・アオノリ科、ウミムシ科、ウズマキゴカイ科等の植物、蟹や海老の海洋生物を確認できた。

よって結果的には次の知見を得た。

- ① 普通コンクリートに比べ、二層コンクリートブロックの方が植生、海洋生物の付着率からみても魚礁空間に大変適している。
- ② 鉄筋、鉄屑、ロープは植物付着に適しており、またロープは植物付着を早める効果も兼ね備えている。
- ③ 木材は新しい物よりも、古く侵食したものの方が植物付着に適している。
- ④ 海底での植物付着はあまり確認できない。
- ⑤ 一ヶ月での植物付着は難しく、ほぼ二ヶ月目から確認でき始める。

3-2-4 おわりに

海中の植物・生物の付着実験では興味の手得る結果が得られた。今後は鋼製フレーム枠に二層コンクリートを固定する形で実証実験を行う計画である。

廃ガラスリサイクル材は独立気泡型のものを用いてポーラスコンクリートに適用する計画である。

カルシウム系固化材については、セメントの代わりにこれを用いたコンクリート配合の圧縮強度で 25N/mm² 程度得ることが確認でき、前述の特長をもつことから環境に配慮した新たな土木材料として期待ができる。よって、今後はポーラス系のブロックとしての適用性を検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 藻場の海藻と造成技術，能登山正浩編著，成山堂書店，p. 171，2003
- 2) <http://www.chateau-kaiyou.co.jp/frame.htm>，2006/7/20 確認
- 3) 海洋生物対応型エココンクリート，田渕 博，コンクリート工学，Vol. 36，No. 3，pp. 37-38，1998
- 4) <http://www.okumuradbk.co.jp/gijyutsu/Technology/Seaweed/Seaweed.htm>，2006/7/20 確認
- 5) http://www.penta-ocean.co.jp/business/solution/solu_10/moba.pdf，2006/7/24 確認
- 6) http://www.shimonoseki-port.go.jp/port/t_index_e.html，2006/7/24 確認
- 7) <http://www.jfe-steel.co.jp/products/slag/catalog/asaba.pdf>，2006/7/24 確認
- 8) <http://www.gikenko.co.jp/seihin/2sei29.html>，2006/7/24 確認
- 9) 小島昭．炭素繊維による藻場形成榛名湖での挑戦．水．vol. 43，no. 12，2001，p. 27 - 31
- 10) ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き，(財)先端建設技術センター編，山海堂，2001
- 11) ポーラスコンクリートの製造とこれからがわかる本，玉井元治他著，(株)セメントジャーナル社，2001
- 12) ミラクルソル工法概要集，ミラクルソル協会，2000
- 13) カルシウム系固化材による工法提案，国土防災技術(株)，2002

【文責】橋本堅一・島袋 淳

3-3 岩礁性藻場造成用着生基盤材

3-3-1 はじめに

藻場は、底生生物、魚類、プランクトン、水生植物などの様々な生物の生息に適するほか、水質浄化、親水等の環境改善にも寄与しており、近年、人工的に藻場を造成することが種々試みられている。藻場造成の一つの方法として、海藻類の種子が活着しやすいブロックを特定の海藻の繁殖時期に合わせて沈設し、天然藻場の繁殖を促す方法があり、そのためのブロックとして岩礁性藻場造成用着生基盤材が開発されている。ここでは、岩礁性藻場造成用着生基盤材の一例を紹介する。

3-3-2 着生基盤材による岩礁性藻場造成の一例

ホンダワラ類、アラメ・カジメ類等の岩礁性藻場の生育には、水深、水温、塩分、透明度、光量、波浪、流況、底質、食害生物、母藻の有無等の環境条件が全て生育条件に合っている必要がある。それらを満たす場所を選んだ上で、着床できる基盤造成が必要となる。基盤材として投石、コンクリートブロックを設置することが一般的である。コンクリートブロックを用いる場合、海藻類の着生や生長を促進するための表面形状の加工や素材の工夫などが行われている。

岩礁性藻場は、図 3-1 に示すように着生基盤材を天然の藻場に苗床として設置し、天然藻場の繁殖時期を利用して基盤材に着床させることができる。このような天然藻場を利用する優位性として、自然の生産能力に依存し、地域環境に対する免疫力をつけることで、生産コスト低減、豊富な供給能力を確保、地場の種を乱さないことなどが上げられる。さらに、図 3-2 に示すように藻が着生した基盤材を藻場造成したい地域に転移することで藻場造成が可能となる。また、ウニの食害などにより磯焼けした地域にウニが嫌う生態系を持った海草群が着床した着生基盤材を設置することで磯焼けを防ぐことも可能となる。

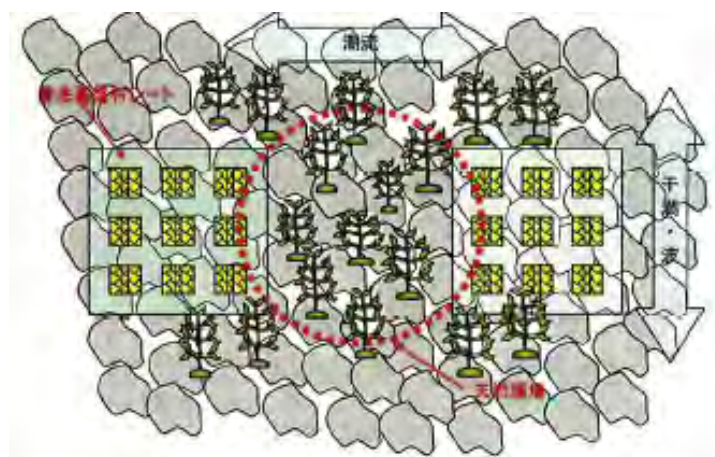


図 3-1 着生基盤材を用いた海藻の苗床作成方法

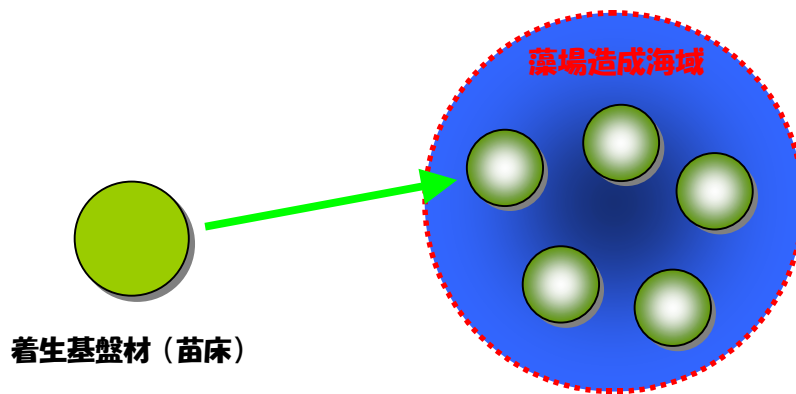


図 3-2 着生基盤材による岩礁性藻場造成方法

3-3-3 着生基盤材の作成方法

(1) 着生基盤材の概要

着生基盤材はコンクリート材料を基本として作製し、岩礁性藻場の苗床として用い、最終的には藻場造成海域に設置するために、小型船舶で持運びが可能な程度の大きさとした。基本ユニットの組立て状況、漁船への積込み状況、海底への敷設状況をそれぞれ図 3-3～図 3-5 に示す。



図 3-3 基本ユニット組立て状況



図 3-4 漁船への積込み状況



図 3-5 海底への敷設状況

(2) 着生基盤材の諸元

着生基盤材（以下、Rブロックと称す）の諸元を図 3-6 に示す。Rブロックは 300×300×100mm の矩形ブロックであり、敷設面となる基盤部と藻場着床面となるポーラス部からなる。各部の空隙率、圧縮強度を表 3-4 に示す。基盤部はポーラス部に比べて強度が高く、ポーラス部は藻の着床を助けるために空隙率を高くしている。

藻の着床面をポーラス化することで海藻の孢子や卵を捕らえて着床を誘導し、海藻の根をしっかり基盤に固定できる。また、ブロック上部にエッジを付け、着床の妨げとなる堆積する泥を拡散する効果を持つ。

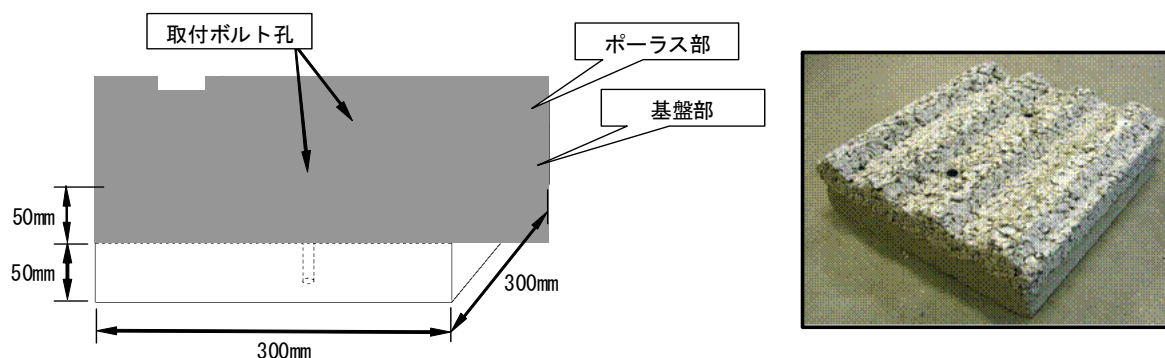


図 3-6 着生基盤材（R ブロック）の諸元

表 3-4 R ブロックの強度および空隙率の目安

部 位	空隙率（％）	圧縮強度（N/mm ² ）
ポーラス部	15	10
基盤部	4.5	18

(3) 着生基盤材の材料

着生基盤材に用いる材料を表 3-5 に示す。着生基盤材のポーラス部はセメントをバインダーとして、屑石や、貝殻の有効利用と藻の着床促進を目的としたアオヤギ、ホタテ、カキなどの貝殻を砕いて用いたポーラスコンクリートである。砕いた貝殻の状況、粒度分布、および物性値をそれぞれ図 3-7、図 3-8、表 3-6 に示す。また、貝殻を用いた供試体の貝殻容積比と空隙率の関係、空隙率と圧縮強度の関係をそれぞれ図 3-9、図 3-10 に示す。

なお、セメントの一部を人工ゼオライトに置換する場合もある。人工ゼオライトは、それ自体が担持する金属イオン（鉄イオン等）や、水中から吸着した栄養分（マグネシウム、カルシウム等）を徐々に放出する生物育成物質としての機能を有しており、藻場の育成に効果が期待できる。

表 3-5 着生基盤材に用いる材料

部位	使用材料		
	バインダー	骨材	生物育成物質
基盤部	水＋セメント	細骨材（陸砂＋砕砂など）＋碎石	－
ポーラス部		屑石、砕いた貝殻	人工ゼオライト

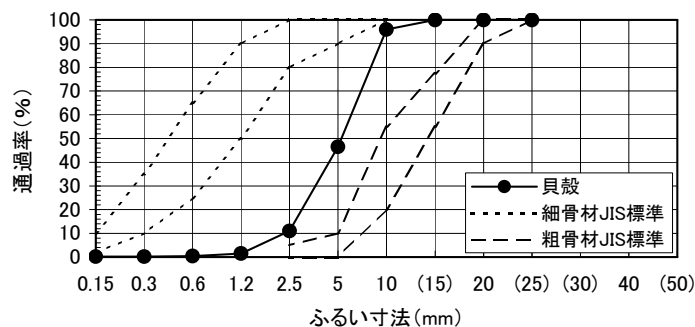


図 3-7 砕いた貝殻の粒度分布の一例



図 3-8 砕いた貝殻の状況

表 3-6 砕いた貝殻の物性値

貝殻の種類	物性値			
	吸水率 (%)	F. M.	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)
アオヤギ	3.5	5.44	2.66	2.58

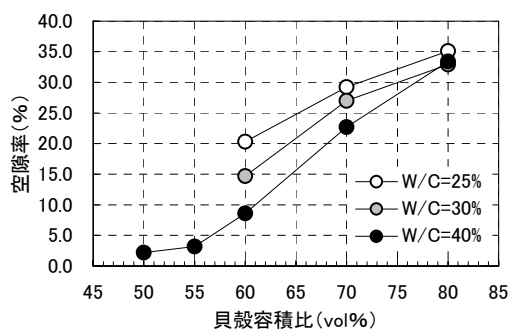


図 3-9 貝殻容積比と空隙率の関係

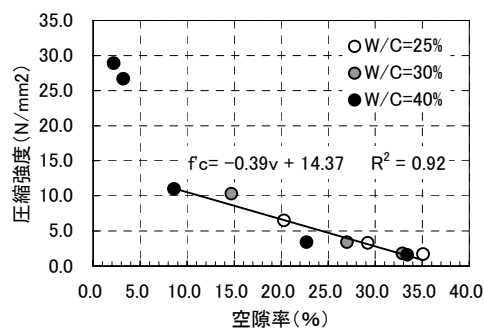


図 3-10 空隙率と圧縮強度の関係

(4) 着生基盤材の製作手順

着生基盤の製作手順を図 3-11 に示す。身を採取した後の貝殻には、かなり多くの身（タンパク質等の有機物）が残存しており、このような貝殻をセメント系材料と混合した場合、腐臭がはげしく、硬化後の強度低下に繋がる恐れがある。そのため、貝殻はあらかじめミネラル分を含む酸性溶液に浸漬させる工程を含む。また、水中では着生基盤のコンクリートからアルカリ成分の溶出がおり、これによって海藻類の着生、生長が阻害されたり、甲殻類等の小動物の寄付きが阻害される恐れがある。このため、成形した基盤材を敷設する前に予め炭酸ガスと接触させ中性化させることで、水中でのアルカリ溶出を防止する。

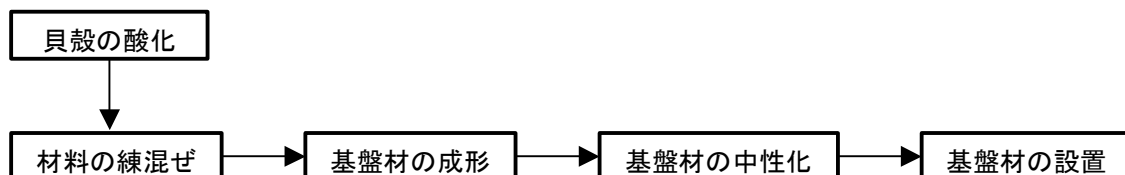
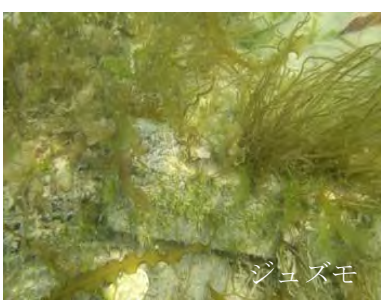


図 3-11 着生基盤の製作手順

3-3-4 適用例

本着生基盤の適用例を表 3-7 に示す。

表 3-7 着生基盤の適用例

場所 機関	実験内容 海域特性	調査画像		結果
静岡市 美保前浜 H14～H15	周辺には海藻が少ないため、種系により海藻の着生を試みた。ブダイ・ガンガゼ等の食圧があり、生育した海藻は被害のため、消失するものもあった。			貝殻(カキ、ジジミ、アオヤギ)や木チップを骨材としたRブロックを開発した。それぞれの性能を確認するため海藻の仮根の発達を指標とし、十分な成果が得られた
熊本県 八代海 H15～H17	浮泥の堆積の多い海域であるため、アカモクの卵の着生後の生長が危惧されたが、海域に残る天然藻場を生かした海藻の着生を試みた。アカモク、タマハキモク、ワカメ場が周辺に存在する。			平成15年4月に、Rブロックを敷設した。天然藻場の中で自然に着生したアカモクは、Rブロックの中性化処理やポーラス性状が効果を発揮。翌年の春には大きく生長し、2mを越えた。
千葉県 勝山漁港 H15～H17	アラメ、カジメの混合藻場が海底から隆起した岩盤に存在し、アワビやサザエの漁場になっている。漁港防波堤前面は浮泥の堆積が見られ、沖防波堤の背後は砂の堆積が見られる			平成15年10月アラメ・カジメ場の空き地に敷設したRブロックに幼体が着生し(H161確認)、現在、順調に生長を続けている。
宮城県 女川湾 H15. ～	磯焼け海域の中に残る残存藻場。アラメ場やツノマタ類の群落の中にRブロックを敷設し、着生する海藻の観察とウニの食圧を調査する。生物相と波浪等の特性が見受けられる			平成15年12月に敷設したRブロックには海藻群落を形成する初期相である緑藻類(ジュズモ)の着生がブロック上に認められた後、大型海藻であるホソメコンブの着生が確認されている。
大分県 別府湾 H16～	漁場造成のため投石を行った箇所がガラモ場を形成している。来年度近接した場所で新規造成を行うに当たり、現存藻場の速やかな移植を行うため移植実験を行う。			平成16年5月、一年生海藻のマメタワラが多く生息する海域にRブロックを敷設し、海藻着生の変化を調査している。

【文責】末岡 英二

3-4 副産物系固化体の可能性

製鉄、火力発電、ゴミ消却、石油精製などに伴う産業副産物に対しては、地球環境への意識の高まりとともに今後さらなる有効活用が期待されている。このような副産物系の材料のうち、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ、ゴミ焼却灰などはかねてより混和材として利用されセメントコンクリートの性能向上を担ってきた。一方、近年、更なる副産物の有効利用のため、これら副産物材料の硬化性に着目し、その大部分を副産物材料で構成する固化体の実用化に向けた研究開発が盛んに行われている。これら副産物系固化体はセメントと同等の機能あるいはセメントにはない特徴を持つ。その一つとして、海草類などの生育に必要な無機物を多数含むことによる良好な海生生物付着性が挙げられ、港湾構造物や藻場造成用ブロックへの利用が期待されている。ここでは副産物系固化体のうち、鉄鋼スラグ水和固化体と硫黄固化体について以下に紹介する。

3-4-1 鉄鋼スラグ水和固化体

鉄鋼スラグ水和固化体は高炉スラグ微粉末を結合材、予備処理スラグを骨材とした材料である。予備処理スラグは、銑鉄から珪素、リン、硫黄等を取り除くプロセスから発生するため、それらの元素を多く含有することから製鉄プロセス内でのリサイクルには余り利用されていない。また粉状に成りやすく、含有する遊離石灰や遊離酸化マグネシウムにより水和膨張性を示すため、コンクリート骨材としての利用もされてこなかった¹⁾。しかしながらこれまでの研究成果により、膨脹抑制に関する骨材処理法や膨張性の指標とその試験法等の基準が整い、技術マニュアル²⁾が刊行されたこと、普通コンクリートに比べ遜色ない強度・物性を有することなどから、実用化が期待されている。

本固化体は鉄、ケイ素、リン、カルシウム、硫黄を含み良好な海生生物付着性を有する他、アルカリの溶出がセメントコンクリートに比べ少ないため、特に曝露初期においてセメントコンクリートに比べ良好な生物付着性を有することがこれまでの研究で明らかとなっている²⁾。

3-4-2 硫黄固化体

硫黄は原油精製の際に排出される副産物であり、この硫黄に添加剤を加えた改質硫黄は固体状態においては高い強度を発揮する。この改質硫黄を結合材として、使用される曝露環境や地域の副産物に応じた骨材を用いた成形体が硫黄固化体である。硫黄固化体の硬化は熔融状態の改質硫黄が冷え固まることによる。そのため、高温下で混練しなければならず現場での打設が困難であり、力学特性が通常の気温下においては骨材の種類や混入量によって決定づけられるなど、その物性や施工性は普通コンクリートとは大きく異なる。

硫黄固化体は硫黄を多量に含有するほか、骨材に製鋼スラグやホタテ貝殻などを利用することにより、海草類の生育に必要な無機物を多種含むため、良好な海生生物付着性を有する。堀井らの調査³⁾によればコンクリートと同等の海生生物付着性が確認されている(表 3-8 参照)。

このことから、現在、藻場造成用ブロックをはじめとする港湾構造物への適用に向けた検討が行われている。

表 3-8 硫黄固化体ブロック着生生物量(海藻類)³⁾

調査対象	出現種類	湿重量 (g)	優占種
製鋼スラグ系硫黄固化体	2	1423.9	ミツイシコンブ, チガイソ
ホタテ貝殻系硫黄固化体	2	849.6	ミツイシコンブ, チガイソ
普通コンクリート	4	1288.0	ミツイシコンブ, チガイソ, ハケサキノコギリヒバ

* 曝露場所は室蘭市追直漁港付近で1年経過後の値

* 調査範囲は0.25m²当たりの調査結果

3-5 その他の可能性

3-5-1 海生生物付着によるセメントコンクリートの耐久性向上

海生生物を利用することによりコンクリートの性能向上を図ることができれば、コンクリート構造物における利益のみならず、結果として藻場形成および豊かな沿岸の形成といった副次的効果を生み出す。このような技術開発の一例として、海生生物付着によるセメントコンクリートの耐久性向上について紹介する。

コンクリート中鉄筋の腐食を抑制させる一つの方法として、コンクリート表面に被覆を施すことにより塩化物イオンの浸透を抑制する方法がある。

渡邊、濱田らは、フジツボ、カキ類などの海生生物が港湾施設などのコンクリート表面を覆うことに着目し、これら海生生物の付着を利用して、これまでの化学物質を利用したコンクリート表面被覆法などと同様の腐食抑制策とする研究開発を行っている⁴⁾⁵⁾。

研究においては、フジツボやカキ類のコンクリート表面への付着量によってコンクリートの見かけの塩化物イオン拡散係数、酸素拡散係数、腐食速度が減少し腐食抑制に有効であることを明らかにしている(図 3-12 参照)。また、これら海生生物が付着する際にコンクリート表面に形成する、殻底と呼ばれる極めて薄く堅固な物質が物質遮蔽性に優れることがこの腐食抑制効果を生み出していることも明らかにしている。

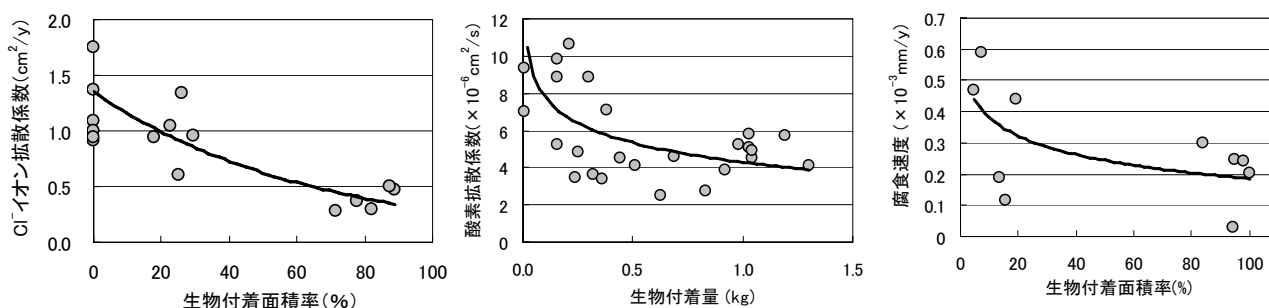


図 3-12 生物付着量と塩化物イオン拡散係数、酸素拡散係数、腐食速度の関係¹⁾

【参考文献】

- 1) 例えば，小菊史男，濱田秀則，山路徹，松永久宏：鉄鋼スラグを用いた固化体の基礎的性状および港湾構造物への適用性に関する研究，港湾技研資料，No. 990，2001. 6
- 2) 鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル，沿岸開発技術ライブラリー，No. 16，沿岸開発技術研究センター，2003. 3
- 3) 堀井秀之，津島潤一，中野裕一：産業副産物を骨材に用いた硫黄固化体の港湾構造物への適用に関する取り組み，コンクリート工学，Vol. 44 No. 6，日本コンクリート工学協会，2006. 6
- 4) 渡邊弘子，岩波光保，濱田秀則，横田弘：海生生物付着による海洋構造物の耐久性向上に関する研究，港湾空港技術研究所報告，Vol. 41 No. 3，pp. 49-pp. 105，2002
- 5) 濱田秀則，岩波光保，丸屋剛，横田弘：海生生物付着による海洋構造物の耐久性向上について，コンクリート工学年次論文集，Vol. 24 No. 1，pp. 675-pp. 680，2002. 6

【文責】 高橋 良輔

3-6 消波型高基混成堤

3-6-1 開発の経緯

消波型高基混成堤は、図 3-13 に示すように通常の混成堤よりも高い基礎マウンドとスリット形式の直立部により、高い消波能力を実現した構造形式である。本構造の特徴は、高い基礎マウンド上で作用する波浪を碎波させることによって波のエネルギーを減衰させるとともに、円柱形式を用いたスリット部によって衝撃碎波力の発生を抑えることができることである。また高い基礎マウンド周辺は光環境に優れていることから、良好な藻場の形成が期待されている。

消波型高基混成堤の水理特性についてはこれまで実験的な検討がいくつか行われており、その特性は概ね明らかにされている。例えば、越波特性については木村ら¹⁾が大型断面水路を用いた水理模型実験を実施して護岸天端高さを決定するための越波流量算定法を提案しており、前面マウンド被覆材の安定性については森ら²⁾が水理模型実験からマウンド水深等の影響を考慮した被覆ブロックの安定質量算定法を提案している。波力特性に関しては、下迫・高橋ら³⁾が、実験的な検討から作用する波圧の位相差を考慮した設計波圧分布を提案している。

本文では、北海道森港で現地施工された事例に基づき、コンクリート製直立部周辺における藻場形成状況について紹介する。

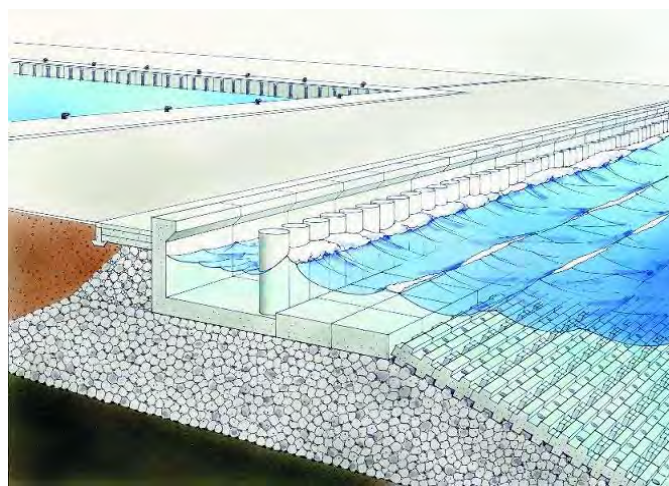


図 3-13 消波型高基混成堤

3-6-2 北海道森港での現地施工

北海道森港においては図 3-14 に示す新川地区の防波護岸において、全国で初めて消波型高基混成堤が採用された。現地施工は国土交通省北海道開発局函館港湾事務所により、平成 14～16 年度の 3 カ年に渡って実施された。構造諸元の決定過程および現地施工状況については山本ら⁴⁾が報告している。現地施工にあたっては、作用する波圧特性を把握することを目的として波圧観測用の堤体を 1 函設置して現地観測が実施されている。

護岸周辺における藻場調査は、平成 15 年度は 7 月、10 月の 2 回、平成 16 年度は 1 月、6 月、10 月の 3 回、平成 17 年度は 1 月、7 月、10 月の 3 回実施された。海藻については、方形枠 (1m×1m) を設置してベルトトランセクト法により種の同定、根回り被度および葉体被度が調べられた。また生息動物については、種の同定および個体数の目視観測が行われた。

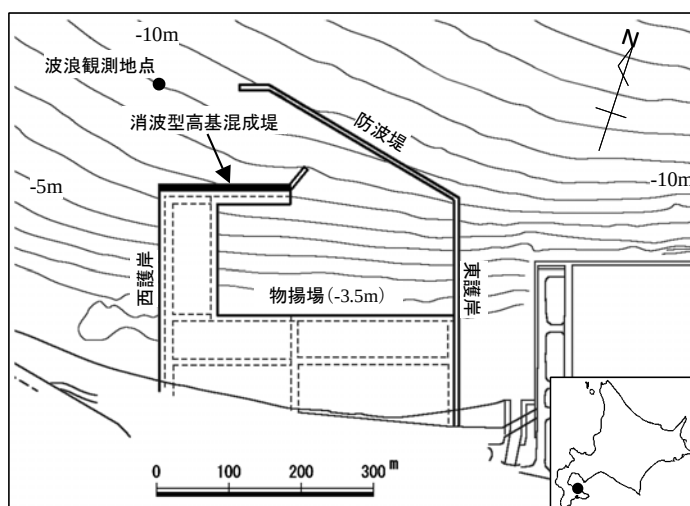


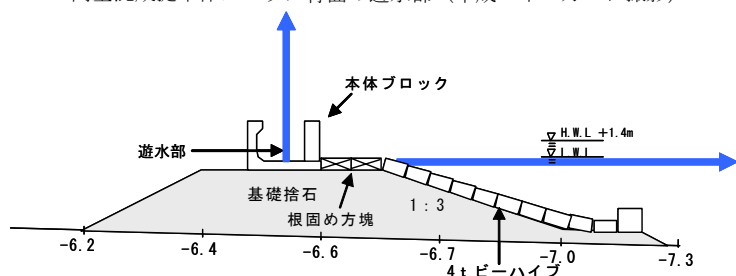
図 3-14 森港新川地区の施設配置図

3-6-3 藻場形成の状況

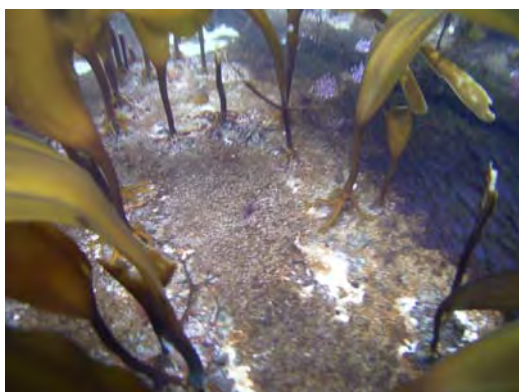
これまでの調査結果によると、図 3-15 に示すように高基混成堤の周辺はマコンブを中心とした良好な海藻群落は維持されており、水深条件がもたらす適切な光環境と植食生物の不在がその理由と考えられる（二ノ宮ら⁵⁾、松原ら⁶⁾）。その一方で、カレキグサ等の競合植物による基質の占有と光合成障害が発生し、マコンブ群落の衰退が確認されている。今後は、植食生物の加入による生物相の変化も予想されるため、継続的に調査が行なわれる予定である。



高基混成堤本体ブロック背面の遊水部（平成17年10月20日撮影）



基礎マウンド部 0m（同日撮影）



遊水部底面

図 3-15 藻場調査の概要

【参考文献】

- 1) 木村克俊・早川哲也・高橋重雄・下迫健一郎・H.Oumeraci：消波型高基混成堤の越波特性に関する大型模型実験，海講論文集第46巻，pp. 756-760，土木学会，1999年.
- 2) 森昌也・梅沢信敏・早川哲也・木村克俊・菊池博明・遠藤強（2001）：消波型高基混成堤のマウンド被覆材の耐波安定性，海講論文集第48巻，pp. 906-910，土木学会，2001年.
- 3) 下迫健一郎・高橋重雄：直立部に消波構造を用いた新しい高基混成堤の開発，港研報告，第42巻，第2号，pp. 285-305，2003年.
- 4) 山本泰司・木村克俊・田端恵士・北原繁志・二ノ宮清志・佐藤典之：北海道森港における消波型高基混成堤の設計と施工，海講論文集第51巻，pp. 781-785，2004年.
- 5) 二ノ宮清志・須藤賢哉・北原繁志：高基混成堤における環境調和機能について（第1報）第47回北海道開発局技術研究発表会，CD-ROM（港-11），2003年.
- 6) 松原正人・須藤賢哉・千葉不二夫：高基混成堤における環境調和機能について（第2報）第49回北海道開発局技術研究発表会，CD-ROM（環-44），2005年.

【文責】木村 克俊

4. バイオによるポーラスコンクリートの増殖機能

4-1 はじめに

宇宙に地球が創生して今から約 10 億年前に海洋植物が誕生し、約 4 億 5 千年前に海洋植物が陸棲植物となり、現在の陸棲植物の発生は 1 億年前といわれ、全て海から授かったものである。人類の誕生は 10 万年前といわれている。この経緯より、陸棲のもので海の緑化に優れた働きをするものがあることを考え、安全性・効果の確認方法を進めている。これまでの沿岸の海藻生育に関する漁業関係者の体験談より、緑化基材として山の腐植土、すなわち良質な有機物による腐植成分と岩礁が不可欠と考え、基材の選定と製作を行い 1998 年 12 月に北海道松前郡福島町岩部漁港において腐植成分と有効（有用）微生物とポーラスコンクリートの組合せによるコンブの自然着生試験を行った。

その後、道内外において海藻着生試験と並行して基材の分析を行い、予想どおりの結果であるか試行錯誤しながら現在も継続中であるが、今後も分析を行って従来の開発をさらに進め、新たな結果を期待したい。

4-2 海藻の生育

生物の多様性は裸地より植物群落内の方が豊かだという事情は海中でも同じであるが、特に沿岸部の海中では有機的あるいは無機的な栄養を豊富に含んだ海水に浸っているために、海藻の葉上では細菌・菌類・珪藻などの微生物とそれらを捕食する小型の甲殻類（エビ・カニの仲間）が豊富に繁殖する。

細菌と菌類は海水中の有機物を摂取し、珪藻などの微細な藻類と海藻そのものは光合成を営みながら海水中の無機的な窒素やリンを吸収する。そのため海藻の茂みでは食物連鎖を通じて汚濁しやすい沿岸の水が浄化されている。

4-3 海藻の生育基材の選定

4-3-1 ポーラスコンクリートによる岩礁

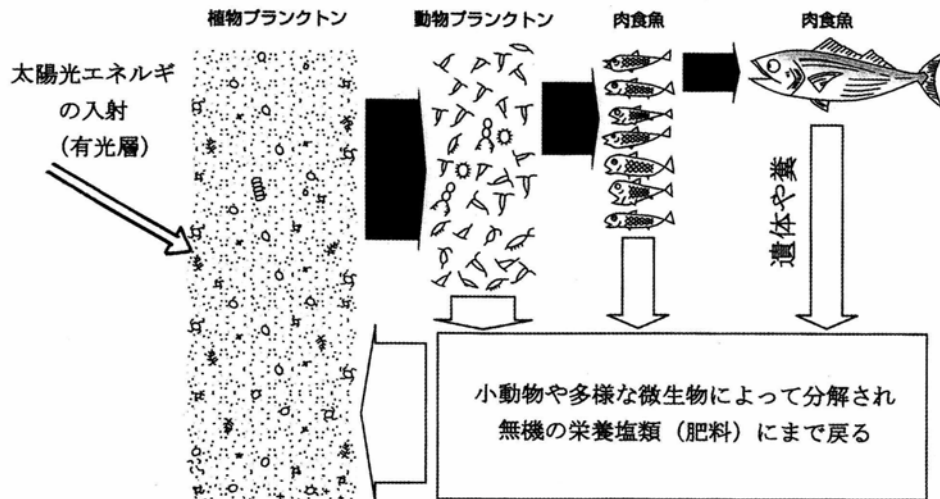
ポーラスコンクリートは多孔質で連続空隙の構造を有し、通水性・通気性に優れていることから、近年環境負荷低減基材として広い範囲で使用されている。

このポーラスコンクリートの内部空隙に有機物による腐植成分と有効（有用）微生物による生物生息環境を造ることによって、自然岩礁とほぼ同様の機能を持たすことができる。

今まで多くの研究者がポーラスコンクリートと生物の関係を調査研究し、発表している。

ここでは、骨材粒径 5 号（20～13mm）、空隙率 27.8%、透水係数 3.0cm/sec、圧縮強度 15.9N/mm² のポーラスコンクリートに腐植成分の膜層を添加し有効（有用）微生物を共生をさせることとした。また、これによって草種の伸根が容易にできるようにするため、ポーラスコンクリートの厚さは 10cm 程度とした。

この性状のコンクリートを用いることで、海洋においても多様な微生物が生息し、動植物の生育に大きな影響を与えていることが確認されている。



海洋での物質循環。黒矢印は食う食われるの関係を通じた有機物の流れ。白矢印は遺体や排泄物が小動物や多様な微生物によって分解されて、植物プランクトンの栄養塩類(肥料)に戻る過程を示す。(高橋正征「新しい生態学」BIOCity刊2001年)

図 4-1 食物連鎖と栄養塩類

4-3-2 間伐材による腐植土と有効（有用）微生物の例

基材には機能と同様に安全性が不可欠である。良質な有機物を含む場が有効（有用）微生物の生息圏となることは生物研究者の発表等^{1) 8)}で徐々に明確になっている。山の豊かな成分を海に戻すため、間伐材を微生物によって発酵分解して造られた腐植成分を抽出し、有効（有用）微生物を共生させる有効腐植土（ここではBT ソイルと呼ぶ）を用いた。BT ソイル^{10) 11)}は2003年4月にエコマーク認定商品となり、環境負荷低減賞品の更新認定を受けている。

4-3-3 その他

光合成細菌等を含む微生物培養液あるいは残土を含むポーラスコンクリートについては、5章の試験施工の項で述べる。

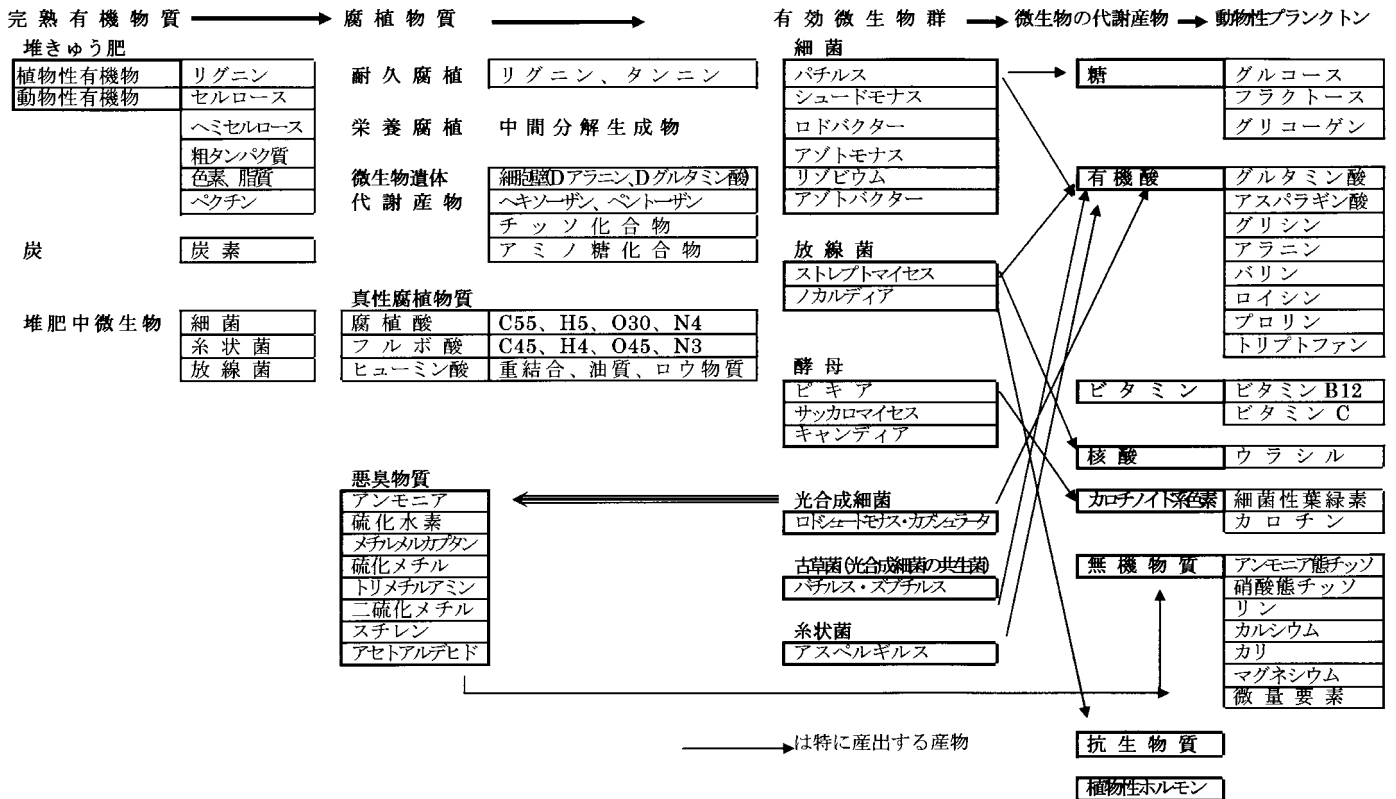
4-4 微生物と腐植と栄養塩

BT ソイル内の腐植はポーラスコンクリートの中でどのように分解されているのだろうか。

2年以上かけて形成された BT ソイルは、セルロース、リグニン主体の炭素繊維分と糞尿原料の蛋白主体の窒素源が多種多様な微生物群によって分解され、再合成を繰り返した複合体である。例えば、窒素の供給と微生物の働きにより次のように分かれる。

有機系窒素はアミノ態窒素、蛋白態窒素、残余窒素に分かれ、無機系窒素は硝酸態窒素とアンモニア態窒素に分かれる。アンモニア態窒素は硝酸還元菌によりアンモニウムイオンとして植物体に吸収されていく。海水は多くの元素を溶解しているが、そのうち含有量が明らかになっているのは65種類で海水中1Kg中に1mg以上存在する元素は、酸素、水素、塩素、ナトリウム、マグネシウム、硫黄、カルシウム、カリウム、臭素、炭素、ストロンチウム、ホウ素、シリカ、フッ素の14種類である。各種微生物と栄養源の多様性は、産出されてくる物質も当然多様性を増してくる。

表 4-1 完熟有機物および有機微生物群の働きとその仕組み



多細胞藻類の体は葉状体と呼ばれ機能的分化はなく、体の全面で光合成と養水分の吸収を行っている。しかし、コンブやホンダワラなどの大型海藻では葉状体には葉状部、茎状部、付着器の形態的な分化が見られる。従って体全面で養分を吸収するのであれば近く的环境にどれほどの栄養塩があるか、光合成に必要な太陽光の供給が成長の差異を生じさせるものと思われる。

特に、栄養-成長には窒素、リン酸、カリの供給が必要であるが、生殖-成長に欠かせないのは大きな分子構造のアミノ酸、核酸、ビタミン、ホルモンなどである。これらはポーラスコンクリート内部の内容物 (BT ソイル) と多数の微生物に依存していると言える。しかも、その分解スピードは鶏糞のような易分解性のものが主体であれば当然早くに窒素の供給過剰となり、後が継続しにくくなる。反対に樹皮のみのような難分解性のものが主体であれば分解スピードは遅く、継続効果はあるものの徐々にしか効果を発揮しなくなる。そこでどのスピードで継続的に養分供給を行うかは現段階では実験と経験則を踏まえて調整していかなくてはならない。表 4-1 は微生物の相互作用により産出される分子構造の大きな物質である。さて、光合成細菌に関して整理しておく。

大きく分けると硫黄が関与する紅色硫黄細菌と緑色硫黄細菌、そして硫黄が関与しない紅色非硫黄細菌の三科に分類される。これら光合成細菌の増殖は多分に他の微生物が産出する有機酸、アミノ酸、硫化水素の生産量に大きく影響を受けることになる。特に紅色非硫黄細菌の生育は有機物質に対する依存度が高く、好氣的でも嫌気状態でも生育ができる。

今回、BT ソイルの繁茂状態が良いのは微生物相の検査結果を待つところであるが、多種多様な微生物相と種類の多い有機物および腐植物質が海洋植物に必要な多種の栄養塩と窒素、リン酸の供給が多かったものと推察される。

炭と微生物の関係に関しても考察しておく、炭の中には微生物の餌となるものは存在しないので、腐生性微生物が侵入しても当然繁殖できない。このような条件下で繁殖できるのは独立栄養型微生物だけである。競合微生物から逃げ込むには適切な場所と言える。10 ミクロン以下の細孔は細菌や放線菌に、それ以上に大きな孔には糸状菌のサイズにあっていることになる。ただ、アルカリ性であることは微生物の選択に依存しており糸状菌は侵入しづらく、揮発性の成分や栄養塩が近くにどれほど存在するかも左右する要素と言える。

炭の中に侵入した独立栄養微生物がどれほど存在し、活性を保つかは周囲の環境により簡単には同定できない。やがて微生物の遺骸が腐生性微生物への活動へと変換し、そして世代交代の道に譲ることとなる。炭の効果（微生物の生息）が一般的には3年位と言われているのは絶えず微生物の世代交代によるものと思われる。

以上からポーラスコンクリート内の腐植物質と微生物は絶えず変換し、餌の状況により微生物も世代交代しており近辺に産出される栄養塩もそれに伴い変換しているため、今後も追跡調査は必要と思われる。

4-5 BT ソイルを保有するポーラスコンクリートの増殖機能

4-5-1 遊走子の着生生育試験

本調査では、BT ソイルを内部に詰めたポーラスコンクリートを実際に海中に沈め、藻場の形成に対する有効性・海洋環境修復材としての性能について、以下の2点から検証する。

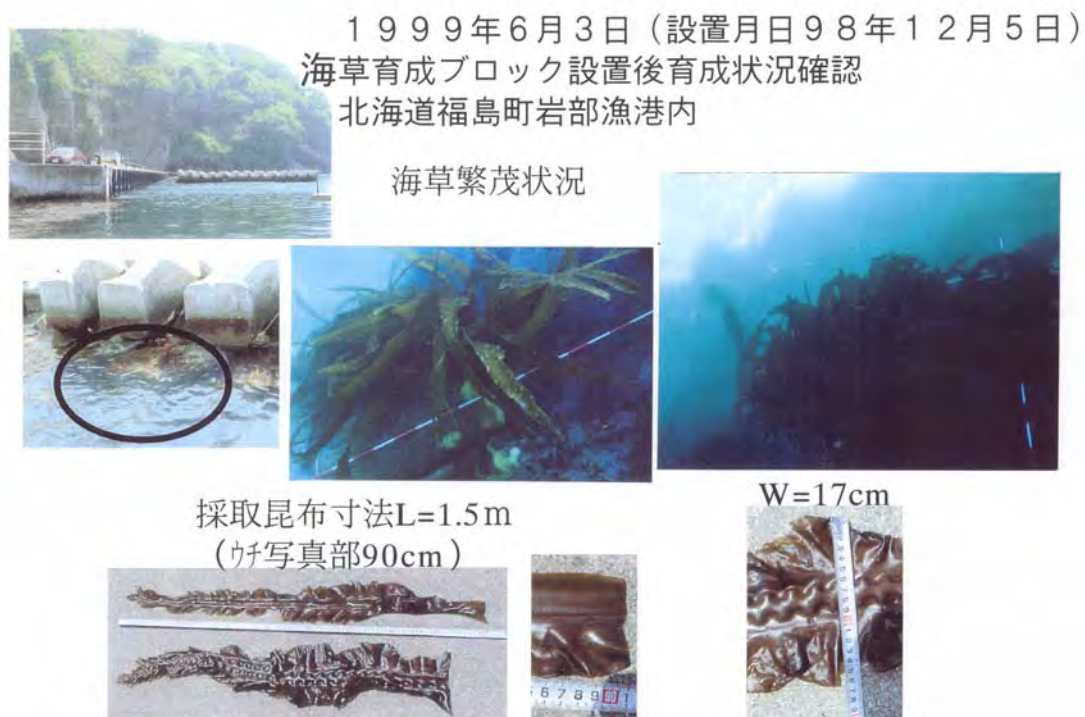


写真 4-1 北海道松前郡福島町岩部漁港内 1998 年 12 月設置



写真 4-2 北海道茅部郡南茅部町尾札部域 2000 年 11 月設置 2002 年 5 月現在



写真 4-3 熊本県天草郡御所浦町, 五和町, 河浦町 2002 年 7 月設置 2006 年 4 月現在

1) 生物的側面からの有効性

ポーラスコンクリート内部の BT ソイルの水中での有用性と藻場形成に対する効果を内部の細菌層の変化を経時的に検証した。

2) 物理的側面からの有効性

ポーラスコンクリートの透水性と空隙率および内部 BT ソイル放出量の経時的変化を検証する。また、付着物の様子を分析する。

生物的側面からの有効性については、5 年程度の調査分析期間が必要と判明したため、現在継続中である。

本論においては、2) の物理的側面の調査結果について考察する。



写真 4-4 ポーラスコンクリートと中詰 BT ソイル

(2) 試験ポットの海中設置

1) 実験場所

設置したポーラスコンクリートが亡失しない波浪環境下であることが第一条件である。

ここでは、漁協を含めた地元の方々の賛同が得られることから、実験場所を北海道福島町の福島漁港・月崎地区の海面とした。

2) 実験期間

平成 15 年 10 月末から翌 7 月までの 9 ヶ月間とした（それ以降も継続）。

(3) 実験概要

1) 実験コンクリート

バイオ・エコブロック（ポーラスコンクリート製容器形）は単体で 600kg 超のため、多数の現場投入が困難である。そのためスケールの小さいモデルを使用した。実験体は、円柱形で内部が空洞になっており、大きさは直径 22cm(内径 15cm・厚さ 3.5cm)、高さ 33cm(内高 25cm)、上部蓋は直径 24cm(高さ 3cm)である。内部に BT ソイルを約 4kg 詰めた。

2) 実験標本数と種類

ポーラスコンクリート（試験ポット）は以下の 3 種類を用意した。

- ・オートクレイブを用いて滅菌処理をし、内部に何も詰めないもの（N と表記）。
- ・内部に BT ソイルを詰めた後、滅菌処理を施したもの（D と表記）。
- ・滅菌処理を施した後、内部に BT ソイルを詰めたもの（L と表記）。

試験ポットは D・N・L の組を 7 組、合計 21 個を用意した。



写真 4-5 実験標本数と種類

3) 試験ポットの海中設置

試験海面に 1m×2mのイカダを係留させ、これに試験ポットを垂下した。試験ポットは、円柱形のステンレスケージ内に入れ、ケージの上部の部分にロープを結わえ、筏に吊るした。また、ポットは蓋の部分と筏（筏のロープを結んであるところ）との距離が 80cm となるように設置した。

4) 試験ポットの引き上げ

投入した試験ポットは投入から、2 週目・4 週目・12 週目・24 週目・34 週目に D・N・L、1 組を引き上げ、経時変化を分析した。また、引き上げ時および 2 から 3 週間毎に海洋環境の計測を行った。

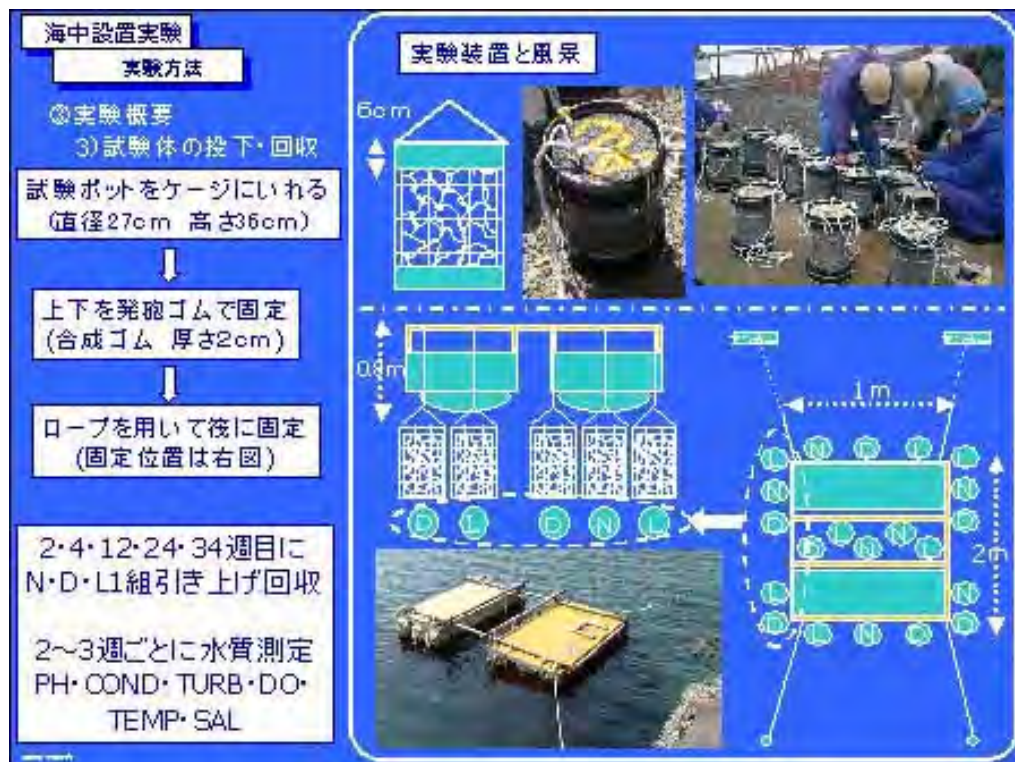


写真 4-6 試験ポットの海中設置



写真 4-7 筏を海中へ投入

(4) 海洋環境測定

試験ポットを投下した海域の環境条件の推移は 4-2 図に示すとおりであった。ここで、pH は水素イオン濃度、COND は導電率、TURB は濁度、DO は溶存酸素、TEMP は水温、SAL 塩分濃度を表している。

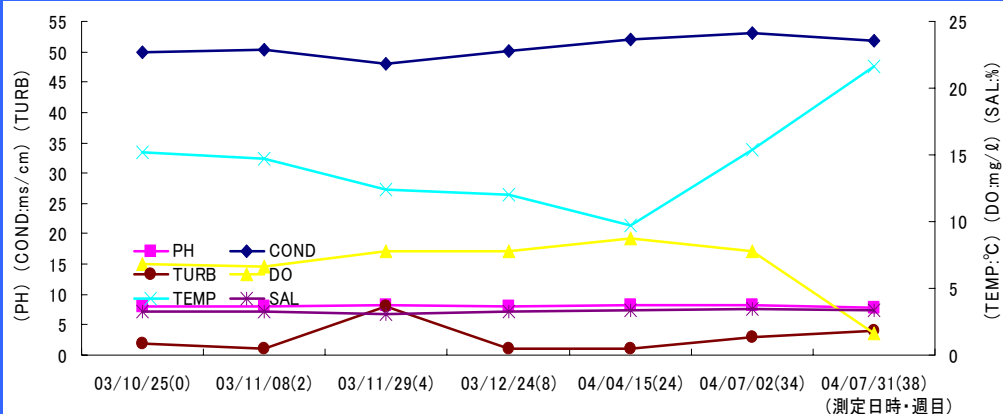
この環境下で試験ポットの経時変化を以下の 3 試験より考察する。

4.海中投下実験

4.2.実験結果

水質測定結果

	03/10/25	03/11/08	03/11/28	03/12/24	04/04/15	04/07/02	04/07/31
PH	8.06	8.09	8.15	8.14	8.30	8.21	7.91
COND ms/cm	50.00	50.3	47.95	50.20	52.00	53.10	51.90
TURB	2.00	1	8.00	1.00	1.00	3.00	4.00
DO mg/l	6.81	6.62	7.81	7.77	8.77	7.83	1.65
TEMP °C	15.20	14.7	12.40	12.00	9.70	15.40	21.65
SAL %	3.25	3.27	3.08	3.24	3.34	3.47	3.41



pH:水素イオン濃度, COND:導電率, TURB:濁度, DO:溶存酸素, TEMP:水温, SAL:塩分濃度

図 4-2 試験ポット設置場所の水質測定

1) 試験ポット・BT ソイル・付着物の重量試験

投入前後の試験ポット・BT ソイル重量、付着物がある場合にはその重量を測定する。

2) 有孔構造物の透水性試験

ポットに試験的に水を通し透水性を測定する。

3) 有孔構造物の空隙率試験

泥・付着物などの詰まりによる空隙性の変化を測定する。

(5) 重量測定方法

1) 実験器具

バケツ・シャベル・重量計を使用した。

2) 実験装置・手順

- ① 引き上げてきた試験ポットを重量計にのせ、湿重量を測定する。D・L に関しては中の BT ソイルをあらかじめ取り除いておく。
- ② D・L ポットに入っていた BT ソイルをバケツ (写真 4-8 のタッパー容器) に入れ湿重量を測定する。
- ③ 海藻等の付着物がある場合は、ビニール袋に入れて湿重量を測定する。海藻については湿重量のみを測定する。
- ④ 試験ポットと BT ソイルを 1 週間ほどかけて完全に乾燥をさせる。

⑤ ①、②の操作と同様に乾燥重量を測定する。

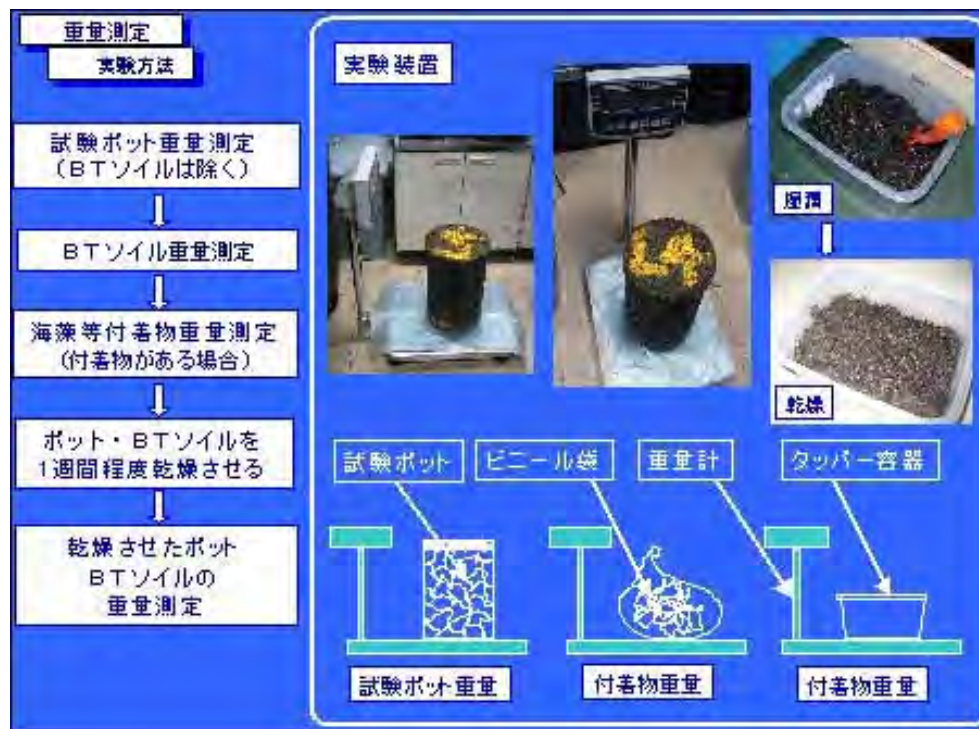


写真 4-8 重量測定試験方法

(6) コンプなどの着生重量

海中投下から 24 週目 (04 年 4 月 15 日)、34 週目 (04 年 7 月 2 日) に引き上げた試験ポットにはコンプなど海藻の付着が見られた。また重量的には、D・N・L の各ポットとも 34 週目の方がより多く付着していた。

試験ポット別に比較をすると、4 週目 (03 年 11 月 29 日)、12 週目 (04 年 1 月 16 日) ではどのポットにも大きな差異は見られなかった。しかし、24 週目では BT ソイルを入れた D・L の方が入っていない N のポットよりも多くの付着物がついていることが確認された。これは 34 週目でも同様であった。

また、34 週目の試験ポットでは、付着物としてはコンプがほとんどを占めていたが、写真 4-8 のようにアオサ類の着生も一部見られた。その他として、生物やゲル状の物質の着生も観察された。

同じ BT ソイルでも滅菌処理を行った状態 (D ポット) と行っていない状態 (L ポット) を比較をすると、24 週目では滅菌処理をした D の方が多くの付着物が確認されたが、34 週目では L の付着物量の方が多くなっていた。付着物量の変化では、L ポットがほぼ比例的に変化しているのに対し、D ポットでは 24 週目から 34 週目の変化の仕方が小さくなっている。

また、写真 4-11 では 34 週目の試験ポット (乾燥状態) を写したものである。これから海藻の付着はポットの上部 (蓋の部分) よりも側面に多く見られ、N・D よりも L のポットの根がコンクリートの空隙への入り込みが最もよいことが観察された。



試験ポット引き上げ（24 週目）

写真 4-9 滅菌処理を施した後内部に BT ソイルを詰めたもの（L 種）

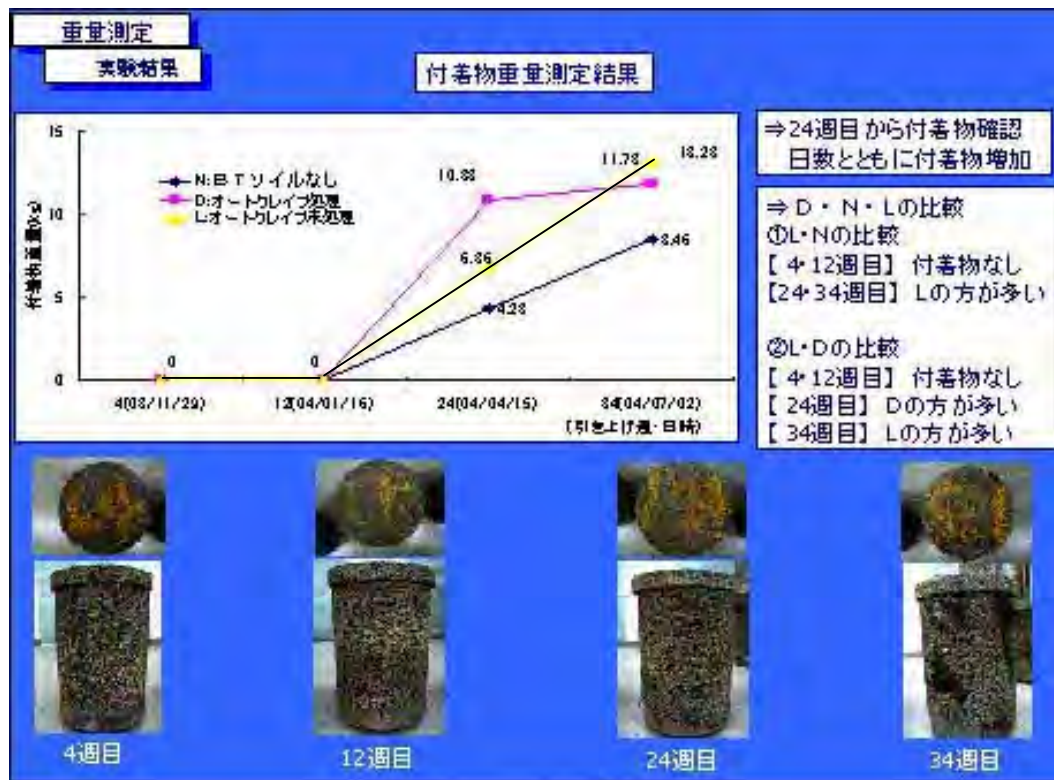


写真 4-10 付着物・重量測定結果



写真 4-11 34 週目引き上げ直後（L 種）



写真 4-12 重量測定時に観察された海藻以外の付着物



写真 4-13 34 週目に引き上げたポットの状態（乾燥後）

(7) BT ソイルの溶出量

次にポット本体の重量変化と BT ソイルの溶出量についての結果を示す。各ポットについて海中投下前と引き上げ後乾燥させた状態での重量を測定し、その経時的な推移を求めた。

N についての測定結果から、12 週目までは重量に変化はなかったが、24 週目から増加している。これは表面付着物や内部空洞内にたまった泥などによる重量増加であると考えられる(写真 4-14 参照)。

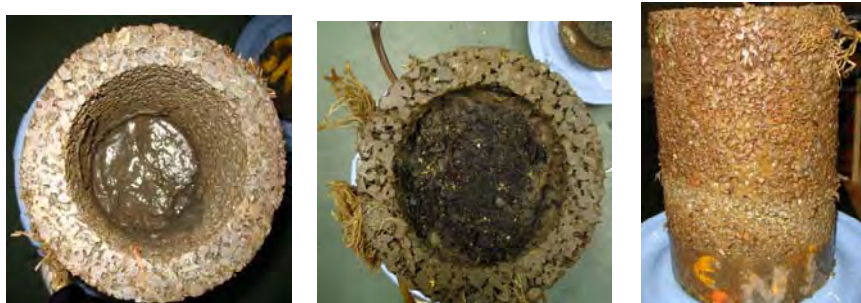


写真 4-14 ポット内部にたまった泥と表面孔の目詰まり状態

D・L についての結果から 4、12、24、36 週目と徐々に溶出量が減少していることが観察される。これはポットの空隙が付着物などにより埋まってしまったためと考えられる。

また、D の方が測定値から見ると L よりも溶出量が大きいことがわかる。特に 24 週目と 34 週目では、L は BT ソイルの溶出による重量の減少よりも付着・目詰まりなどによる重量増加の方が大きくなっている。これは、L ポットは表面に海藻がもっとも付着していたことから、海藻の着生が良いために BT ソイルの溶出が抑えられたものと考えられる。

(8) ポーラスコンクリートの透水性・空隙率の変化

図 4-4 は、透水性と空隙率の試験結果をまとめたものである。(縦軸に透水性・横軸に空隙性をプロット) N に比べて D・L は透水性も空隙も小さくなっていることがわかる。これらから、ポーラスコンクリート内部に BT ソイルを入れることにより、多孔質特性による透水性を経時的に維持できると推察される。一方、D と L の比較では、L の方が若干優位性が見られるが、分布の幅が右上がりになっており両者に明確な差異は今の時点では見られない。

また、透水性試験での海中未投入ポットの測定値は 2.48cm/sec であり、引き上げた D と L ポットではこれよりも小さな値となっている。さらに時間が経過するほどこの値はより小さくなっている(ますます、透水性が優れてきている)。空隙試験でも同様のことが見られる。海中投入により付着物がついたことを考慮すると、試験ポットが何らかの衝撃で一部が欠けたか、個体差による誤差が考えられる。ただし、上述したように相対的には BT ソイルの優位性は現時点ではあると推察される。

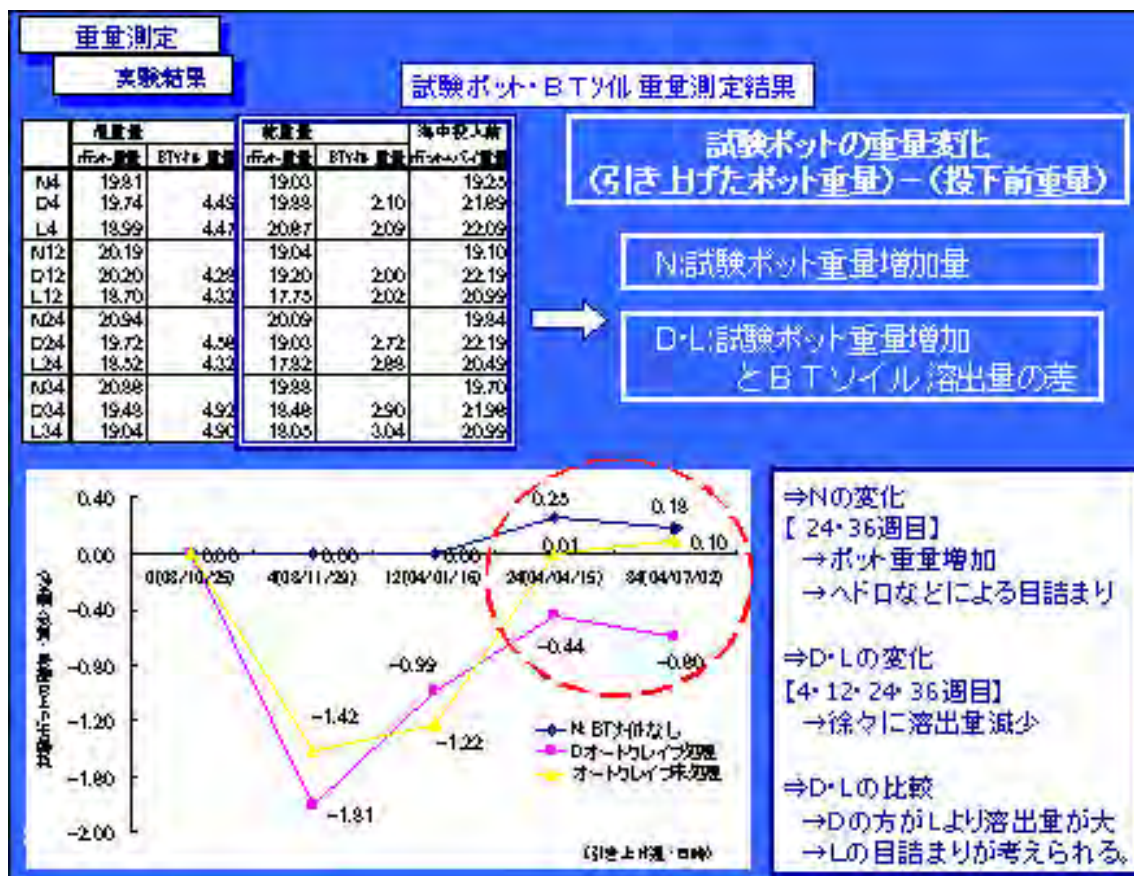


図 4-3 試験ポットと内部 BT ソイル重量の変化

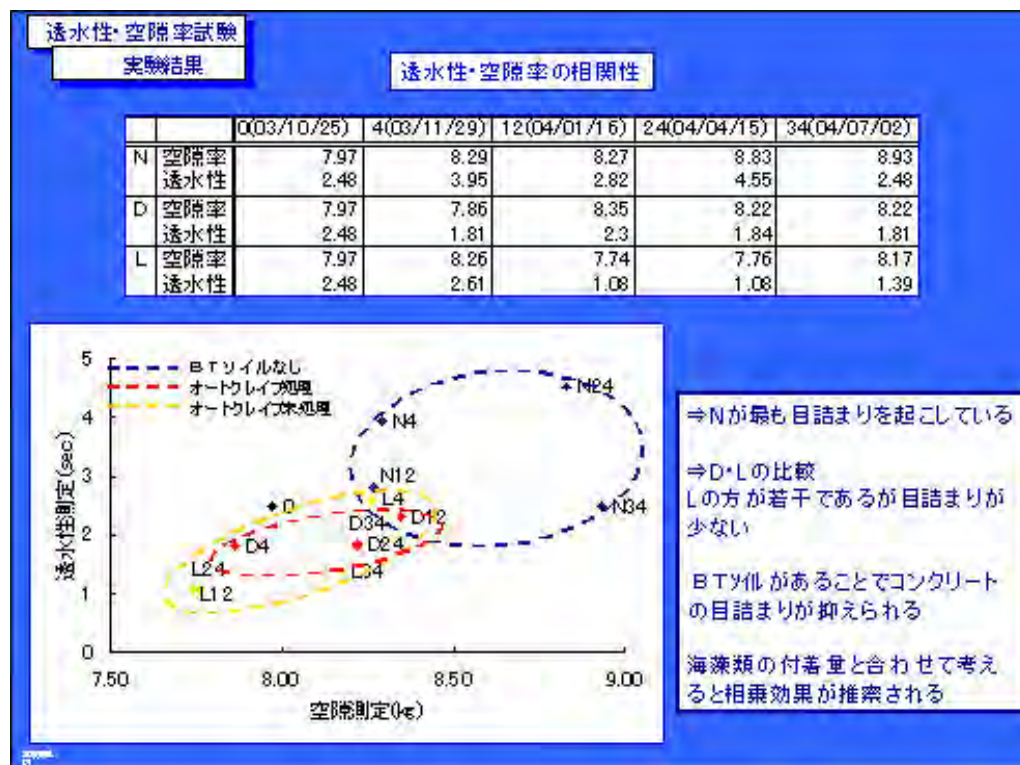


図 4-4 透水性と空隙性の相関関係

(9) 着生生育に関する考察とまとめ

透水・空隙の結果と重量測定の結果を合わせて考察する。重量測定のところでも記述したが、試験ポット本体の重量変化では、Nは投入前に比べて増加していることが確認された。しかし、DとLの比較ではDの方がBTソイルをより多く放出し、しかもその状態が持続していることがわかった（Dは常に投入前より重量は低い。Lは24週目からは投入前より増えている）。一方、透水性・空隙の面から見ると、図4-4に示したとおり、DとLには明確な差がない。また、海藻の付着重量では、34週目ではLが最も多くついており、乾燥後の根の入り方からもLの海藻付着に対する優良性が見られる。つまり、Lのポット重量がDよりも測定値の上で大きくなっているのは海藻が多く付着したためと考えられる。

現時点までの実験結果から、多孔質であることから内部に海藻の根が入ることができ、付着しやすいこと、そして、内部にBTソイルを挿入することでコンクリートの連続空隙の目詰まりを防ぐことがわかった。

また、本研究で用いたBTソイルの有効（有用）微生物効果は、付着物重量と海藻の根つき状況からすると生菌のものが死菌のものに比べ高い効果を示しており、BTソイルの有用性も検証された。

BTソイル内の有効（有用）微生物の状況や付着した海藻の特性など加味しなくてはならない部分はあるが、ポーラスコンクリートとBTソイルの相乗効果が認められるということができる。

現段階においては、実験結果による推察の部分および解明されていない部分もあり、今後も継続して実験をおこなっていくことが望まれる。特に2年目以降の海藻の付着具合についてはどのような結果になるのかが重要であると考ええる。

4-5-2 ポーラスコンクリート内の細菌数とその叢調

(1) 目的

ここでは、ポーラスコンクリートとは、多孔質の円柱型コンクリート内に腐植土および有用細菌を充填したものをいう。ポーラスコンクリートを海中に設置した後にこの中の細菌がどのように変化していくかを生菌数の変動とその菌叢（微生物相）および塩類要求性による細菌の型別を調査した。

(2) 材料と方法

ポーラスコンクリートに腐植土（有用細菌混入）を充填して、それを高圧滅菌処理したものと何も充填していないポーラスコンクリートの2種類を準備し、これらを福島漁港内に垂下した。

(3) 実験

1) 実験1

ポーラスコンクリート設置地点のpH、導電率、溶存酸素量、水温、塩分濃度、全溶存固形物量および比重をUR-21（HORIBA）を用いて測定した。

2) 実験2

ポーラスコンクリート内の土および海水を採取し、生菌数を測定した。土は滅菌スプーンを

用いて滅菌ポリ瓶に採取し、海水は滅菌ハイロート採水器を用いて採取した。採取した土は試料と同量の人工海水を加えた後、5 倍に希釈し、10 倍希釈液とした。10 倍希釈液をつくり、FWA（陸生培地）および SA（海水培地）平板培地に各 0.1ml 塗抹し、出現コロニー数から 1g あたりの生菌数を算出した。海水は人工海水で 10 倍希釈液をつくり、SA および FWA 平板に 0.1mL 塗抹し、1mL あたりの生菌数として算出した。培養は 25℃で 5 日間行った。

3) 実験 3

ポーラスコンクリート内の土の成分の変遷を把握するため、微生物研究所に調査を委託した。

4) 実験 4

無処理区の試料を塗抹した培地（FWA および SA）上から無作為に 30 菌株を釣菌（すくい上げる）し、純粋培養した後、塩類要求性試験を行った。さらに、開始時の SA および FWA 培地上に出現したコロニー SI-1～30、FI-1～30、設置 2 週間後の SII-1～30、FII-1～30、1 ヶ月後の SIII-1～30、FIII-1～30、3 ヶ月後の SIV-1～30、FIV-1～30、6 ヶ月後の SV-1～30、FV-1～30 の細菌叢を把握するために、これら計 300 株より継代不能株を除いた 236 株について、FWA 培地での細菌叢は Shewan ら（1960）の方法を用い、SA 培地での細菌叢は絵面・清水の方法⁹⁾に従い、形態学的性状および生化学的性状を検査して属レベルの分類を行った。なお、FWA での継代不能株は 19 株、SA での継代不能株は 45 株であった。

(4) 結 果

1) 結果 1

ポーラスコンクリート設置地点の水質測定結果を表 4-3 に示した。他地域の海水と比べ、大きな特徴は認められなかった。

表 4-3 ポーラスコンクリート設置地点の水質

月日	pH	導電率 (S/m)	溶存酸素 (g/l)	水温 (℃)	塩分濃度 (‰)	全溶存固形物量 (g/l)	海水の比重
10月25日	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
11月8日	8.1	4.3	8.7	14.7	2.8	27	21
11月29日	8.2	4.2	9.8	12.6	2.7	26	20
1月16日	8.1	5.4	7.7	6.6	3.4	32	27
4月15日	8.2	4.9	8.6	9.7	3.2	30	25

2) 結果 2

ポーラスコンクリート内の土および海水ならびに周辺海水の生菌数を表 4-4 に示した。無処理のものは海中に沈める前 10^7 CFU/g であり、6 ヶ月間変化はみられなかった。高圧滅菌処理したものは海中に沈めた後、2 週間で 10^7 CFU/g となり、3 ヶ月後および 6 ヶ月後も変化はみられなかった。中を空にしたものはポーラスコンクリートの外の海水と大差がみられなかった。

3) 結果 3

ポーラスコンクリート内の土の成分および生菌数測定結果、土の理化学性について沈めた期間の長さに応じて pH が上昇し、全リン酸の濃度が減少した以外は一定の傾向は認められなかった。また、オートクレーブ処理区および未処理区の間では、全般的にオートクレーブ処理した方が数値が低くなる傾向が認められた。生菌数については 6 ヶ月間変化はみられなかったが、光合成細菌の数は時間の経過とともに減少していた。

表 4-4 ポーラスコンクリート内の生菌数の推移

	無処理 (CFU/g)		高圧滅菌 (CFU/g)		空 (CFU/mL)		海水 (CFU/mL)	
	FWA	SA	FWA	SA	FWA	SA	FWA	SA
10月25日	8.8×10^7	5.0×10^7	<0	<0	NT	NT	NT	NT
11月8日	1.4×10^8	5.3×10^7	1.1×10^7	1.9×10^7	8×10^2	6.3×10^4	5.5×10^2	6.0×10^2
11月29日	3.7×10^7	2.9×10^7	2.7×10^8	1.5×10^7	1.7×10^3	6.0×10^3	6.7×10^2	2.4×10^4
1月16日	4.1×10^7	1.8×10^7	1.1×10^7	2.1×10^7	2.4×10^3	3.6×10^4	7.4×10^2	2.3×10^4
4月15日	2.6×10^7	1.1×10^7	9.2×10^5	9.1×10^8	2.1×10^2	1.4×10^3	5.5×10	4.5×10^2

4) 結果 4

FWA および SA 培地に出現したコロニーの塩類要求性試験結果を図 4-5 および図 4-6 に示した。FWA は陸性細菌がほとんどであり、試験期間を通じて変化はみられなかった。

SA は試験開始 3 ヶ月間は陸性細菌がほとんどであったが、6 ヶ月後の調査では以前と比較して陸性細菌がおよそ 30%減少し、海洋性細菌が約 30%増加していた。

FWA は調査期間を通して細菌叢に顕著な変化はみられず、期間により優勢な属は多少変化していた。一方、SA では結果から時間の経過とともに細菌叢の種類が増え、6 ヶ月後の細菌叢はそれ以前には確認できなかった *Cytophaga* (M)、*Alteromonas* (M)、*Pseudomonas* (M) および *Flavobacterium* (M) 等の海洋性細菌が多くみられた。

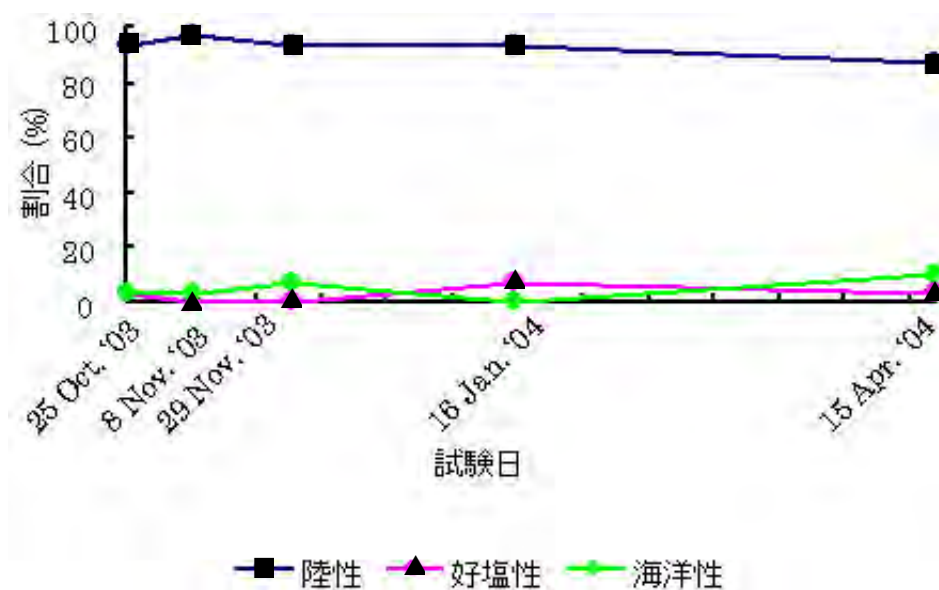


図 4-5 FWA 上の細菌の塩類要求性

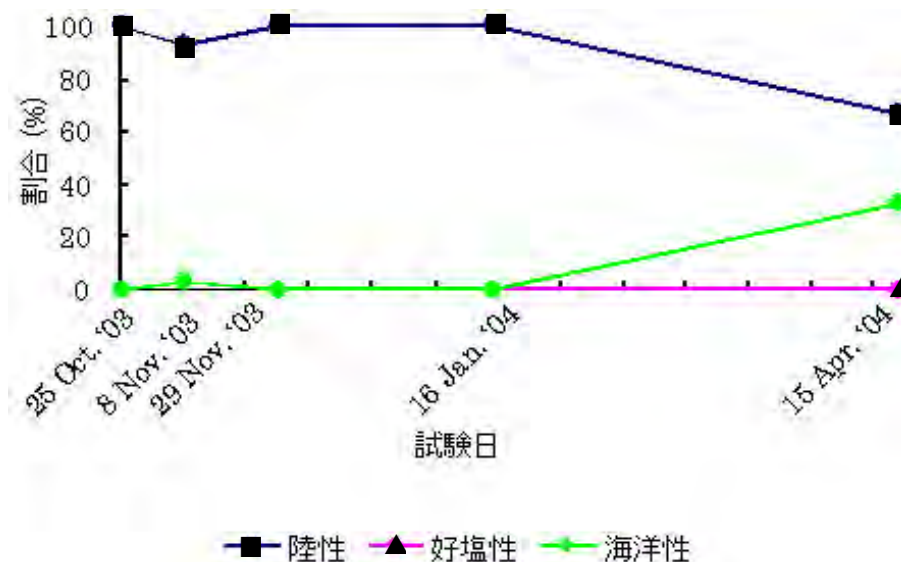


図 4-6 SA上の細菌の塩類要求性

(5) 海中に設置されたポーラスコンクリート内の細菌調査結果のまとめ

ポーラスコンクリートを海中に沈めた後、ポーラスコンクリート内の細菌がどのように変化していくのかを調べるために、海水に沈めた直後、2週間後、4週間後、3ヶ月後および6ヶ月後の海水および試料を採取した。前者については水質および生菌数を、後者については土の理化学性、生菌数、細菌の塩類要求性および細菌叢について検討した。水質面では他地域の海水と比べ大きな差異はなく、水温等の季節変化が認められるにとどまった。

一般生菌数についてはFWAでは $5.5 \times 10^1 \sim 7.4 \times 10^2$ CFU/mLの範囲で、SAでは $4.5 \times 10^2 \sim 2.4 \times 10^4$ CFU/mLの範囲で測定され、空のまま沈めたポーラスコンクリート内の海水を採水し測定した生菌数との差は認められなかった。このことより、今回の試験場所は特別な環境ではなく、またポーラスコンクリート自体も生菌数に影響を与えないことが明らかとなった。

土の理化学性については、オートクレーブ処理区および未処理区の間では全般的にオートクレーブ処理した方が数値が低くなる傾向が認められたものの、生菌数に関してはFWA培地を用いてもSA培地を用いても一定であった。しかし、塩分要求性試験よりSA培地では試験開始3ヶ月後から6ヶ月後の期間で陸性細菌から海洋性細菌へと細菌が入れ替わる傾向がみられた。この入れ替わりがどこまで進むかは、より長期間の調査が必要と考える。一方、FWA培地は6ヶ月間の調査では顕著な変化がみられなかった。こちらもSA同様長期間の調査が必要と考える。

【参考文献】

- 1) 社団法人 自然科学書協会：新・土の微生物 1996. p. 90-94
- 2) 横浜康継：海の森の生態と保全について 国立公園 N0645/JUL. 2006. p. 10-15
- 3) 社団法人日本コンクリート工学協会：ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書 2003
- 4) 谷口和也・山根英人・佐々木國隆・吾妻行雄・荒川久幸：磯焼け域におけるポーラスコンクリート製海藻礁によるあらめ海中林の造成 2001
- 5) 共和コンクリート工業株式会社：平成 11 年度秋田県山本郡八森町岩館地先ハタハタ産卵礁(ア

ルガベース I, マリノプランテーション)効果調査報告書 2000

- 6) 桑原久実・赤池章一・林久哲・山下俊彦：磯焼け地帯における海藻群落の生育要因に関する研究
1997 海岸工学論文集第 44 巻
- 7) 吉見昌宏・与那覇健次・片岡真二・山本秀一・高橋由浩・田村圭一：サンゴの人工構造物への着生状
況—3 海岸工学論文集第 45 巻 土木学会 1998
- 8) 日本海洋学会：海と地球環境 2000. p. 249 - 254
- 9) 峰寛明・高橋和寛・山下俊彦：波浪・底質環境の異なる海域における大型海藻の分布特性 海岸
工学論文集第 48 巻 土木学会 2001
- 10) バイオ緑化開発協会 バイテクソイル工法 自然生態自己復元工法 総合カタログ・技術資料
- 11) 伊藤教授の土質力学講座第三章
- 12) 北海道大学大学院水産科学研究科 エコ・シード北海道共同調査研究による資料

【文責】宮崎 信弘

【共同執筆者】 山下 成治、横井 克典、三浦 弘志、中塚 徹朗、中塚 卓朗、
北村 直人、大塚 輝雄、檜山 秀光、小野寺 豊彦

【アドバイザー】吉水 守（北海道大学大学院水産学研究院）

5. 試験施工

5-1 試験施工の経緯および計画

5-1-1 磯焼け漁場海域における環境ブロックの試験施工

(1) 試験施工の目的

沿岸の環境保全コンクリート研究小委員会では、増毛漁業協同組合の共同漁業権海域において本小委員会で検討してきた各種藻場環境ブロックを設置することで磯焼け海域においてどの程度効果を発揮するかを追跡調査を行うことで検証したものである。

(2) 試験施工場所

試験施工を行う場所は、磯焼けが認められる北海道日本海沿岸のうち、増毛郡増毛町(図 5-1 参照)の別荘海域とした(図 5-2 参照)。



図 5-1 増毛町の位置

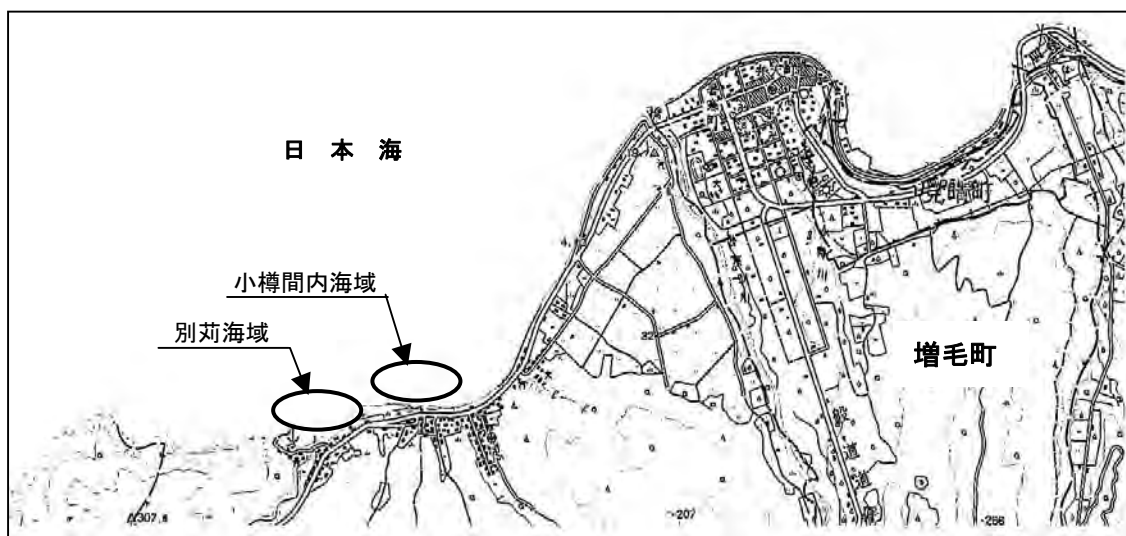


図 5-2 調査位置図

(3) 試験施工時期

試験施工の時期は、日本海の海象を考慮して以下のように行った。

藻場環境ブロックを平成 15 年 10 月下旬までに製作し、平成 15 年 11 月 14 日から 11 月 24 日にかけて別荘海域の水深 3.5m の地点に投入した。

(4) 試験礁の概要

1) 試験礁の名称

炭礁	～	石井委員	別荘海域
EMO ブロック	～	堀口委員	〃
石炭灰ブロック	～	成田委員	〃
ソイル固化ブロック	～	成田委員	〃

ポーラスコンクリート ～ 檜山委員 小樽間内海域

2) 試験礁の配置

試験礁の配置図および設置図は、図 5-3～図 5-6 に示すとおりである。

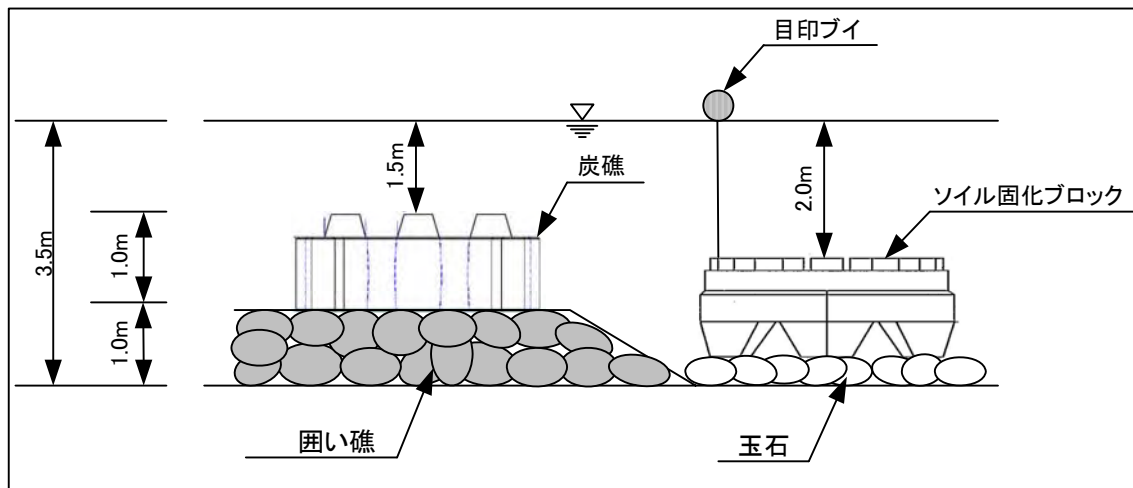


図 5-3 別荘海域試験礁の断面配置図

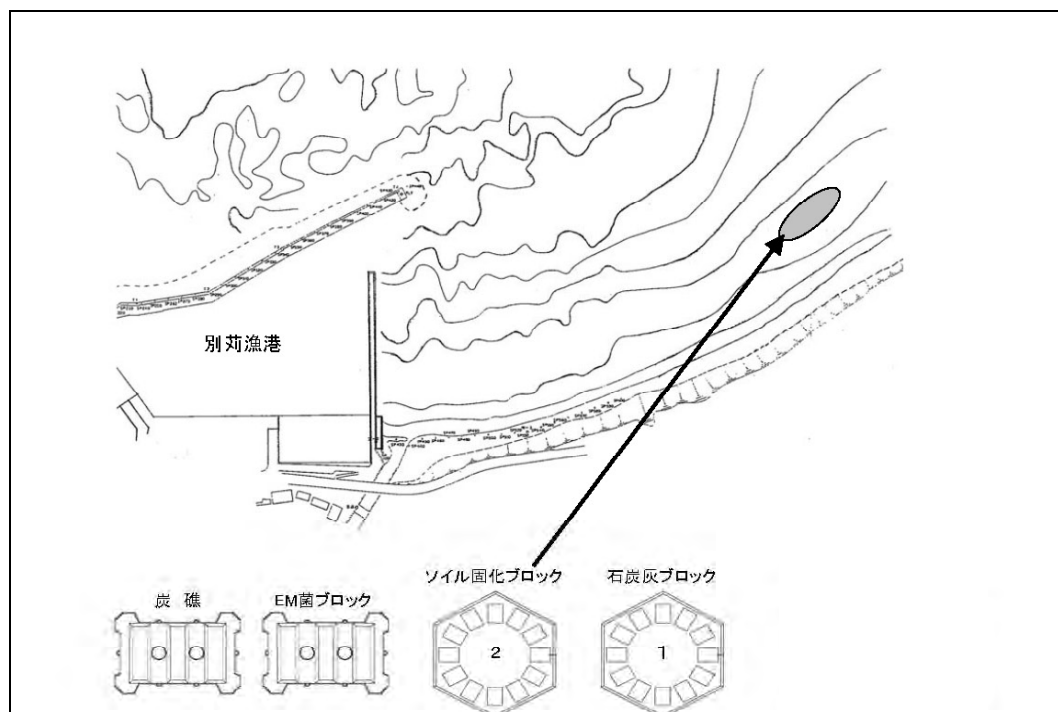


図 5-4 別荘海域試験礁の平面配置図

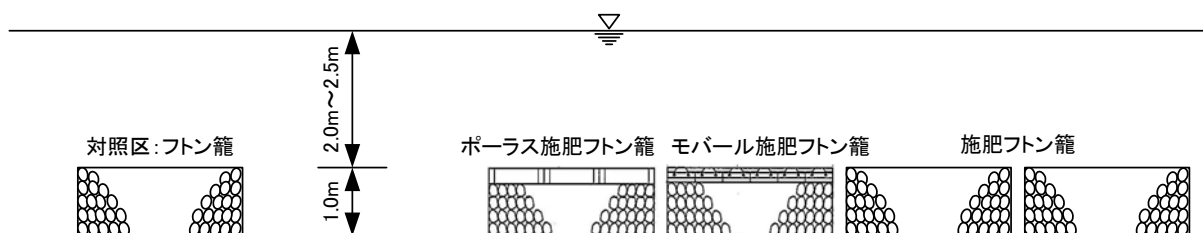


図 5-5 小樽間内海域試験礁の断面配置図

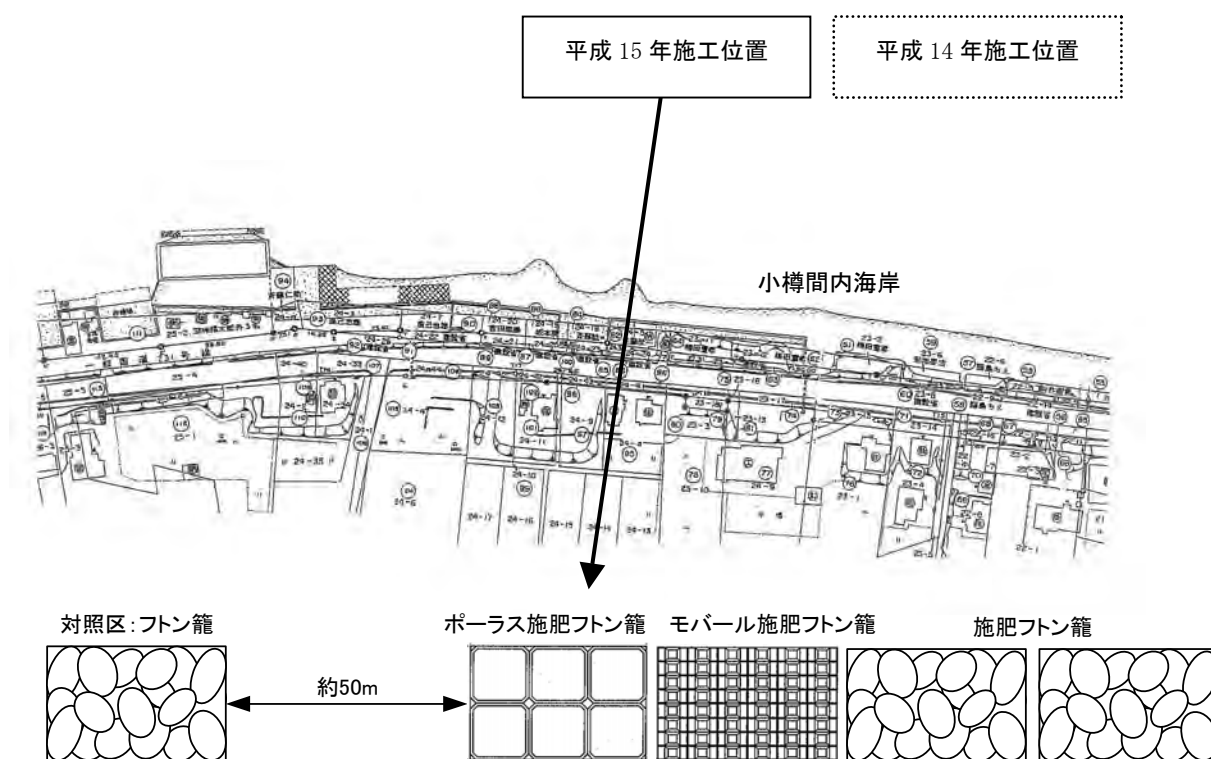


図 5-6 小樽間内海域試験礁の平面配置図

(4) 藻場造成計画

試験施工は、図 5-9 に示すように外防波堤の港内側の基礎捨石工に設置される被覆ブロック 10t 型に藻場環境ブロックを設置した。被覆ブロックとの固定はアンカーボルトを用いた。

6 種類の藻場環境ブロックの配置を図 5-10、図 5-11 の展開図に示す。藻場環境ブロック 6 個のうち、3 個は捨石工の天端に設置し、残りの 3 個は斜面に設置することとした。

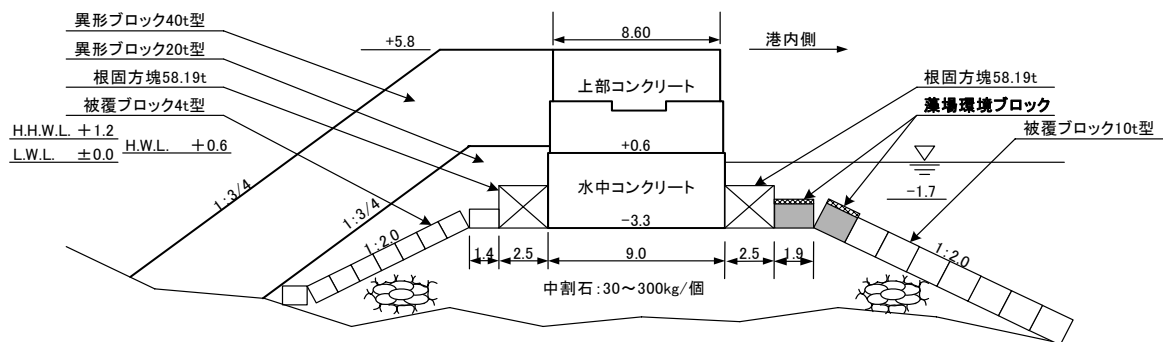


図 5-9 外防波堤マウンド上の被覆ブロックを用いた藻場造成試験断面

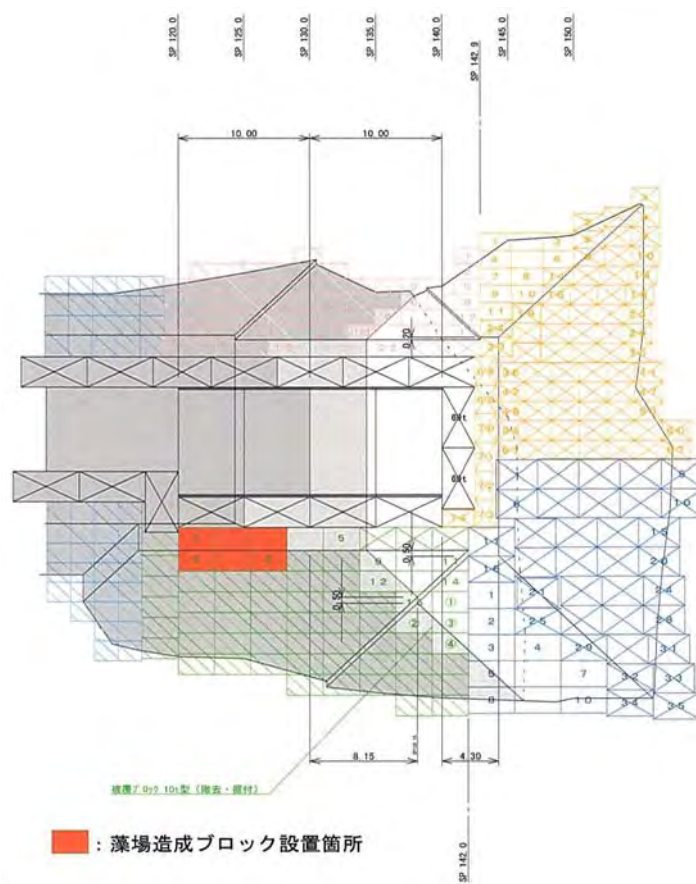


図 5-10 新設被覆・根固ブロック展開図

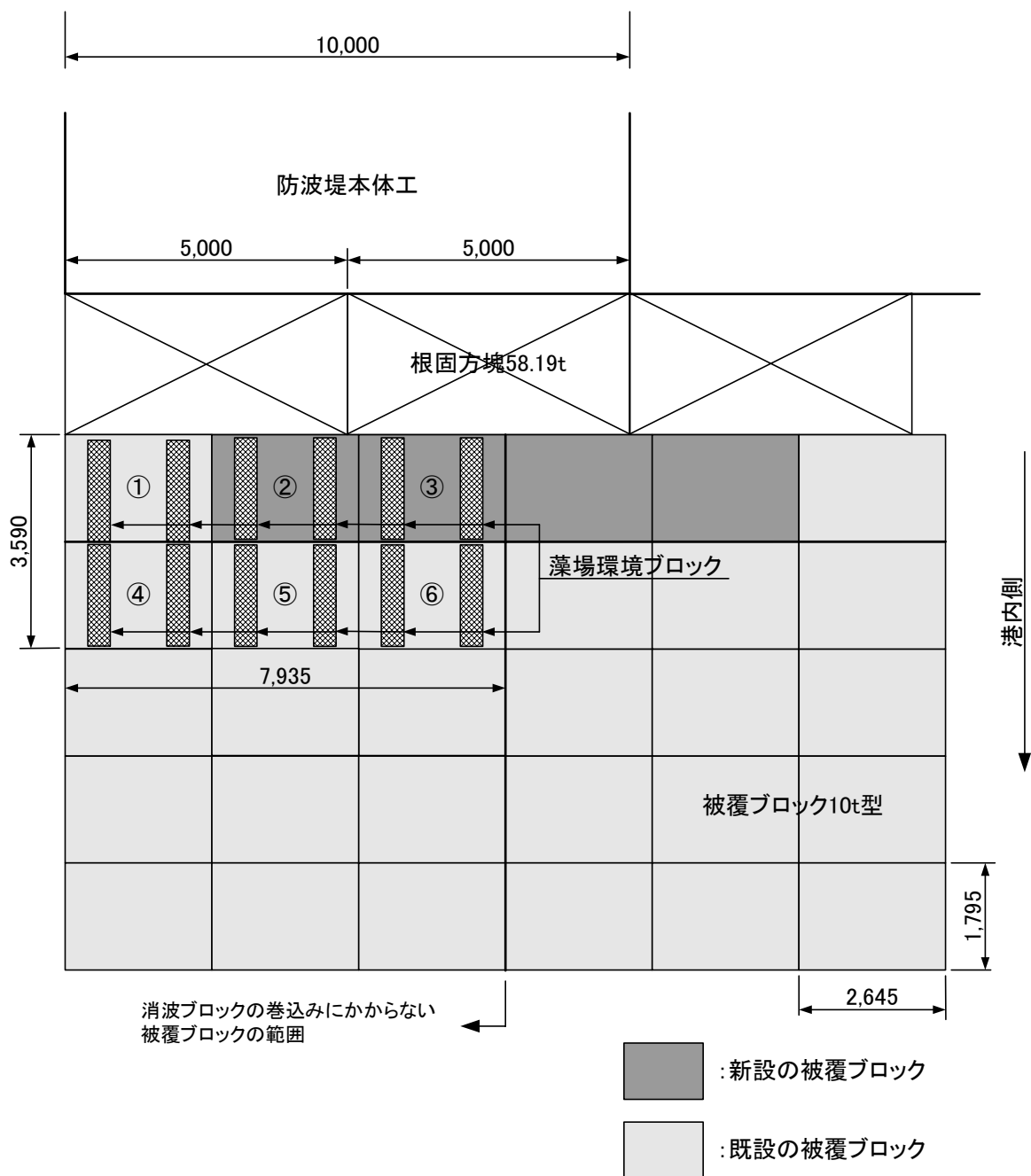


図 5-11 藻場環境ブロック敷設展開図

(5) 藻場環境ブロック

1) ブロックの名称と特徴

試験施工に使用したブロックの名称と特徴、形状を表 5-1 に示す。

表 5-1 環境ブロックリスト

ブロック名	特 徴	形 状
木炭ブロック	粗粒木炭を用いて炭の持つ多孔質と吸着性を損うことなく成型した藻場環境ブロック。木炭の大きな表面積により微生物やプランクトンが吸着し良好な藻場環境が期待できる。	
EMOブロック	ポーラスコンクリートに有用微生物群の培養液を添加した藻場環境ブロック。有用な働きをする微生物 80 余種を添加することで良好な藻場環境が期待できる。	
石炭灰ブロック	石炭灰を低アルカリ型の多孔質な固化物とした藻場環境ブロック。多孔質な性状により微生物の吸着が期待できるとともに栄養塩類も含んでいるため、良好な藻場環境が期待できる。 (写真右側)	
ソイル固化ブロック	ソイルミックスという土砂まじり土を固化物とした藻場環境ブロック。これに含まれる多量の灰分には、カルシウム、マンガン、酸化鉄、マグネシウム等のミネラル分を含み、バイオ効果があるため良好な藻場環境が期待できる。 (写真左側)	

ブロック名	特 徴	形 状
バイオブロック	BTソイルという腐食物質に有効微生物を固定共生させたものをポーラスコンクリートブロックに注入した藻場環境ブロック。微生物の働きで有機物を無機化し栄養塩類を添加できるため良好な藻場環境が期待できる。	 右2列がまさ土ブロック 左2列がバイオブロック
まさ土ブロック	半円筒型ポーラスコンクリート製品内部にまさ土を充填し、ポーラスコンクリートの連続した内部空隙に生物膜層を形成させる。これにより胞子や藻類の着生生長を促す。	

2) ブロック添加材の成分等

a) 木炭ブロック

木炭ブロックに使用した木炭は粗粒木炭であり、その成分は表 5-2 に示すとおりである。

表 5-2 炭の成分表

分析項目	試料名					
	紀州備長炭 うばめがし	紀州備長炭 あらかし	輸入黒炭 マンゴローブ	粉炭	チップ炭	粗粒木炭
水分 (%)	9.0	9.5	5.6			8.9
含水率 (%)	9.9	10.4	5.9			
灰分 (%)	2.9	1.7	3.3	(2.9)	(2.5)	24.5 (26.9)
揮発分 (%)	2.9	5.0	44.0	(20.7)	(8.8)	4.3 (4.7)
固定炭素 (%)	94.2	93.3	52.7	(76.4)	(88.7)	62.3 (68.4)
pH	7.9	9.6	5.1	7.3	9.1	9.7
みかけ比重 (g/c m ³)	2.46	8.48	5.51			
嵩比重 (g/c m ³)	1.0	0.8	0.8	0.16	0.1	0.45
比表面積 (m ² /g)	6.2	3.0	0.8	27	240	200
カルシウム (%)	1.0	0.27	1.1		0.19	2.89
マグネシウム (%)	0.28	0.08	0.14		0.04	3.36
マンガン (%)	0.031	0.029	0.0013	窒素 (%)	0.05	1.66
酸化鉄 (%)	0.0093	0.0070	0.0068			
カリウム (%)	0.49	0.59	0.16		0.10	3.00
ケイ酸 (%)	0.003	0.002	0.002		0.09	3.80
リン酸 (%)	0.058	0.026	0.018		0.02	10.86
試験機関	和歌山県南部川村森林組合ホームページ 国際ヘルスネットワーク研究機構 和歌山県工業技術センター			メーカーカタログ 工業分析一道立林産試験場（無水ベース） 成分分析一道立中央農業試験場		

使用材料は、キノコ栽培の培地として使用したオガ粉を造粒し炭化したリサイクル木炭である。これは、栽培に用いた米糠などの肥料を多く含んでいることから他の木炭に比べ灰分（ミネラル分の量）を多く含み、揮発分（木炭に残ったタールの量）は少ない。

この粗粒木炭を粗骨材としたポーラスコンクリートブロックである。

b) EMO ブロック

EMO の培養液をポーラスコンクリート製作時に混合したブロックで、この培養液はすべて安全で有用な微生物を 80 余種を共生させた液状の微生物資材である。この有用微生物の活用とは、土中や水中の微生物相を生き物にとって好ましい状態へと環境そのものを変えることを意味し、一次産業では安全・健康でおいしい食物を作るという成果を上げている。さらに、微生物の持つ抗酸化の力を活用した技術として、工業、医療、建築、エネルギーなど様々な分野からも注目を集めている。

ブロックの構成は、ポーラスコンクリート（5 号砕石、空隙率 20%）に EM 活性液を添加して作成している。

c) 石炭灰ブロック

コンクリートに添加した石炭灰(フライアッシュ)の成分表は表 5-3 のとおりである。

表 5-3 フライアッシュの成分表 (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO
57.4	23.8	5.7	3.8	0.8	1.1	0.5	1.2	1.1	0.1

d) ソイル固化ブロック

コンクリートに添加したソイルミックス(土砂マサ土)の成分表は表 5-4 のとおりである。

表 5-4 土砂固化物(マサ土)の成分表 (%)

水分	灰分	揮発分	固定炭素	pH	Ca	Mg	Mn	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K	P ₂ O ₅
2.3	97.9	1.66	0.44	6.9	0.77	0.11	0.027	73.1	2.07	4.07	0.011

e) バイオブロック

BT ソイルという腐植物質に有効微生物を固定共生させたものをポーラスコンクリートブロックに注入した藻場環境ブロック。微生物の働きで有機物を無機化し、栄養塩類を添加できるため良好な藻場環境が期待できる。

f) ポーラスコンクリートによるアマモ(甘藷)の培養

アマモはヒルムシロ科の多年草で匍匐(ほふく)性の茎から葉片を出し、葉は線形で長さは 1.0m 以上となる。日本全沿岸に生育分布していたが、近年消滅の危機となっている。アマモ等の群生する藻場は魚の餌となるプランクトンが豊富な上、稚魚が外敵から身を守りやすいことから、多くの魚の産卵と保育の場と成っている。生育域は砂地に多い。

ブロックの構造はベース板にポーラスコンクリート管(φ200)の下部を埋込み管断面の半円部を空洞とした。ブロックは 4 基製作し管内部にはマサ土をそれぞれ 2 基に分け充填した。

また、管体のアマモ移植用の孔を 2 箇所設けブロック投入前に近郊の海岸より採取したアマモ海藻生育基材に移植した(図 5-12 参照)。

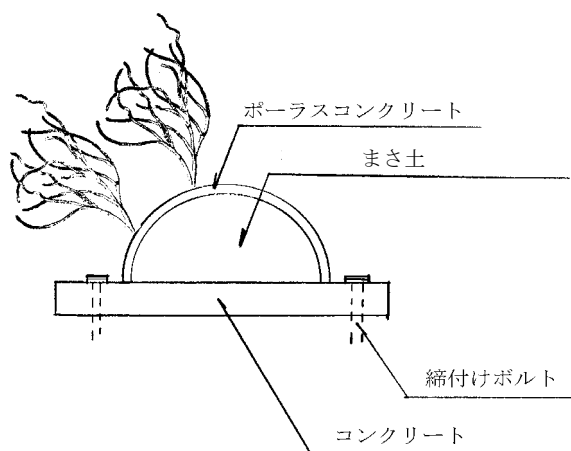


図 5-12 マサ土ブロックの概要

表 5-5 ポーラスコンクリートの仕様

仕様骨材粒径	5 号(20~13mm)
空隙率	27.8%
透水係数	3.0cm/sec
圧縮強度	15.9 N/mm ²

(6) 施工状況

臼谷漁港外防波堤の港内側の基礎マウンドには図5-13に示すような配置で環境ブロックが敷設された。

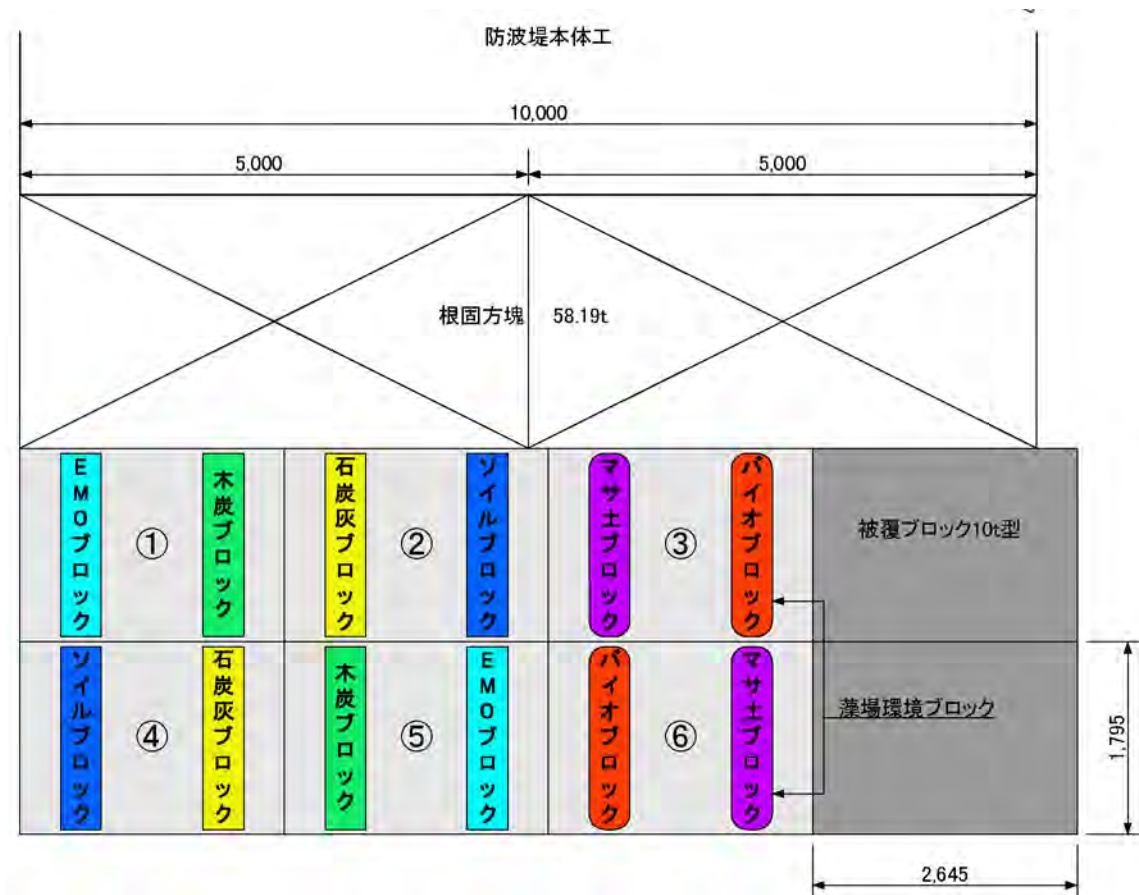


図 5-13 環境ブロック施工状況図

5-2 磯焼け漁場海域における環境ブロックの追跡調査（別荘海域）

5-2-1 追跡調査の概要

別荘海域においては、平成15年11月14日から21日にかけて藻場環境ブロックを投入し、平成16、17年度の追跡調査に引き続き平成18年度も調査を行っている。

本報告はこれまでにを行った追跡調査結果を取りまとめたものである。

5-2-2 調査箇所

調査は、北海道増毛郡増毛町別荘海岸および小樽間内海岸で行った(図5-14参照)。

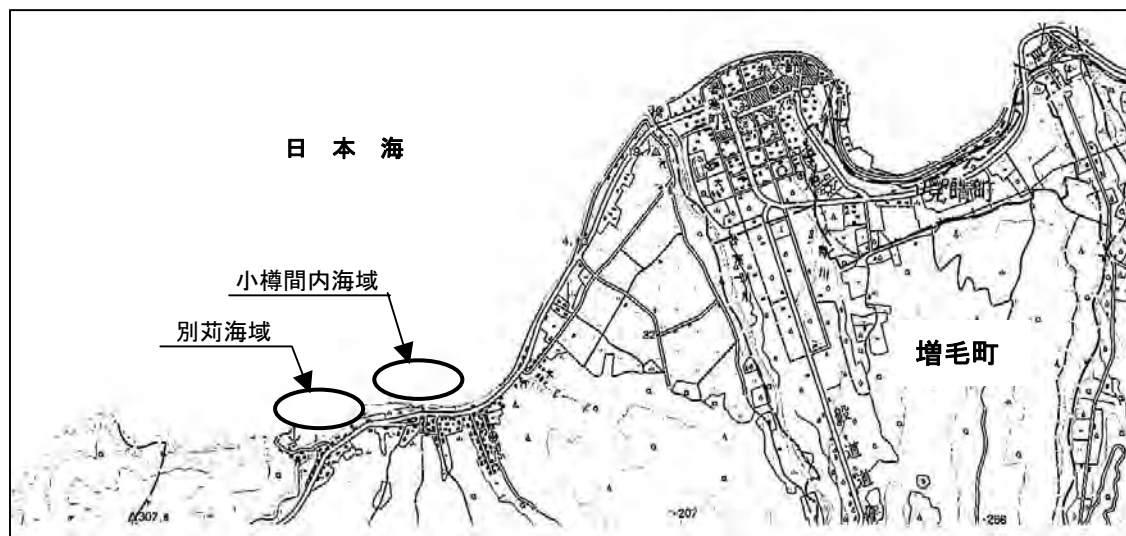


図5-14 調査位置図

5-2-3 追跡調査の項目と実施時期

追跡調査実施時期と実施項目を表5-6に示した。

表5-6 調査時期と実施項目

経過年	調査時期	調査日	水質調査	状況調査	資源量調査
2年目	冬季	平成17年2月27日		○	
	夏季	平成17年7月21日		○	○
	秋季	平成17年10月21日	○	○	
3年目	夏季	平成18年7月4日	○	○	○

5-2-4 追跡調査の実施

(1) 水質調査

1) 調査の目的

別荘海域に設置した藻場環境ブロックの周辺における季節別の水質環境を把握することを目的に行った。

2) 調査方法

採水は藻場環境ブロックの直上において、バンドーン採水器により行った。図 5-15 に調査概要図を示した。

3) 実施日

- ・ 秋季調査 : 平成 17 年 10 月 21 日
- ・ 夏季調査 : 平成 18 年 7 月 4 日

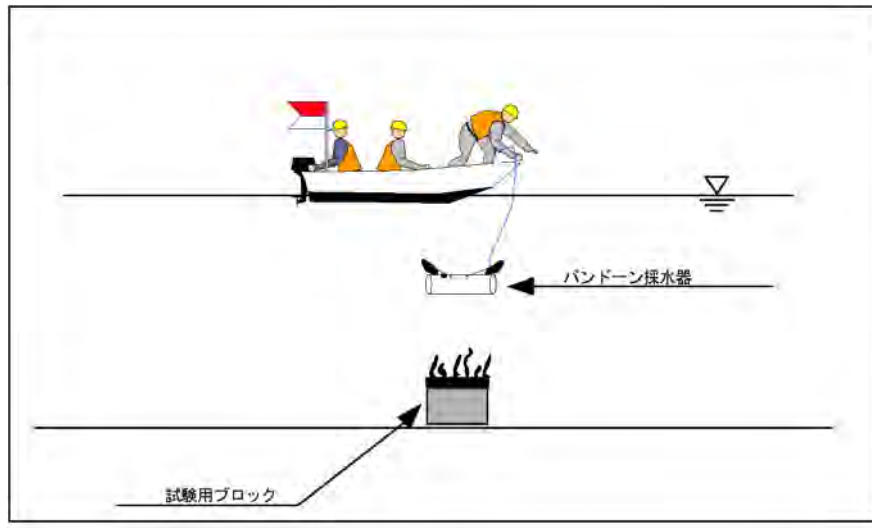


図 5-15 採水方法の概念図

4) 水質分析結果

水質調査結果を表 5-7 にとりまとめた。表 5-7 の分析値のうち、pH は 8.0 前後が正常値、SS、COD は低い方が、DO は高い方が正常値である。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 以下の項目は栄養塩類であり、これらは値が高い方が海藻類や植物プランクトンの成長に効果があるが、高すぎると赤潮などの発生原因となる。

表 5-7 水質分析結果一覧

現場名	別荘漁港	
調査月日	05/10/21	06/7/4
天候(前日)	晴	曇
天候(当日)	晴	曇
採水時刻時分)	9:40	10:10
全水深(m)	2.4	2.5
採水水深(m)	1.3	1.3
気温℃)	14.3	16.0
水温℃)	15.0	18.4
塩分(PSU)	33.3	33.2
濁度	0.3	0.7
色相	淡緑色	淡緑色
臭気	無臭	無臭
透明度(m)	>2.6	>2.5
pH	8.1	8.1
SS(mg/L)	2	2
COD(mg/L)	1.1	1.4
DO(mg/L)	8.1	7.5
NO3-N(mg/L)	ND	ND
NO2-N(mg/L)	ND	ND
NH4-N(mg/L)	ND	ND
PO4-P(mg/L)	0.003	0.003
Chl-a(μ g/L)	0.17	0.2

(2) 藻場状況調査

1) 調査の目的

水中カメラ・水中ビデオにより藻場環境ブロックにおける海藻の生長状況を把握することを目的とする。

2) 調査方法

各ブロックにおける海藻の付着状況やその周辺の状況を潜水土により水中写真およびビデオカメラで撮影した(図 5-16 参照)。

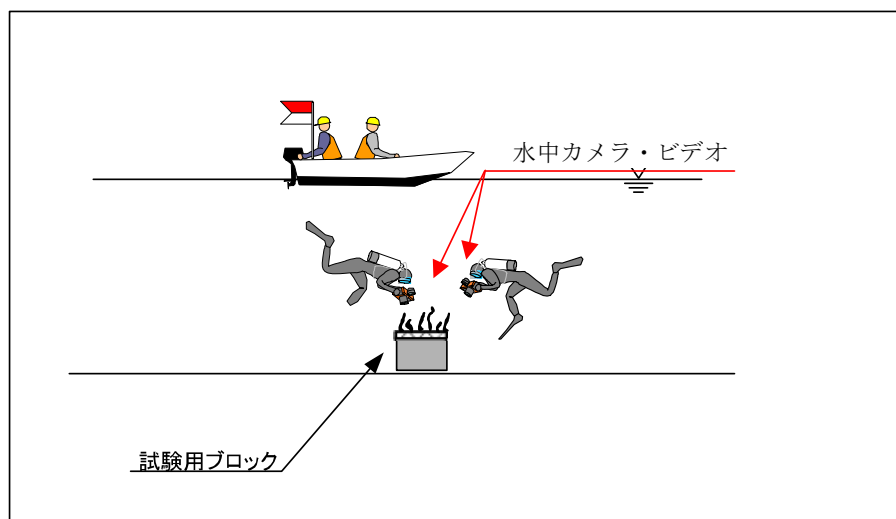


図 5-16 藻場状況調査概念図

3) 海藻繁茂状況写真

各調査回ごとに整理した、環境ブロックの海藻繁茂状況写真を示す。

なお、小樽間内海域に設置した魚かす入り環境ブロックについては砂地に設置したため、試験礁が砂に埋没して記録を取ることはできなかった。

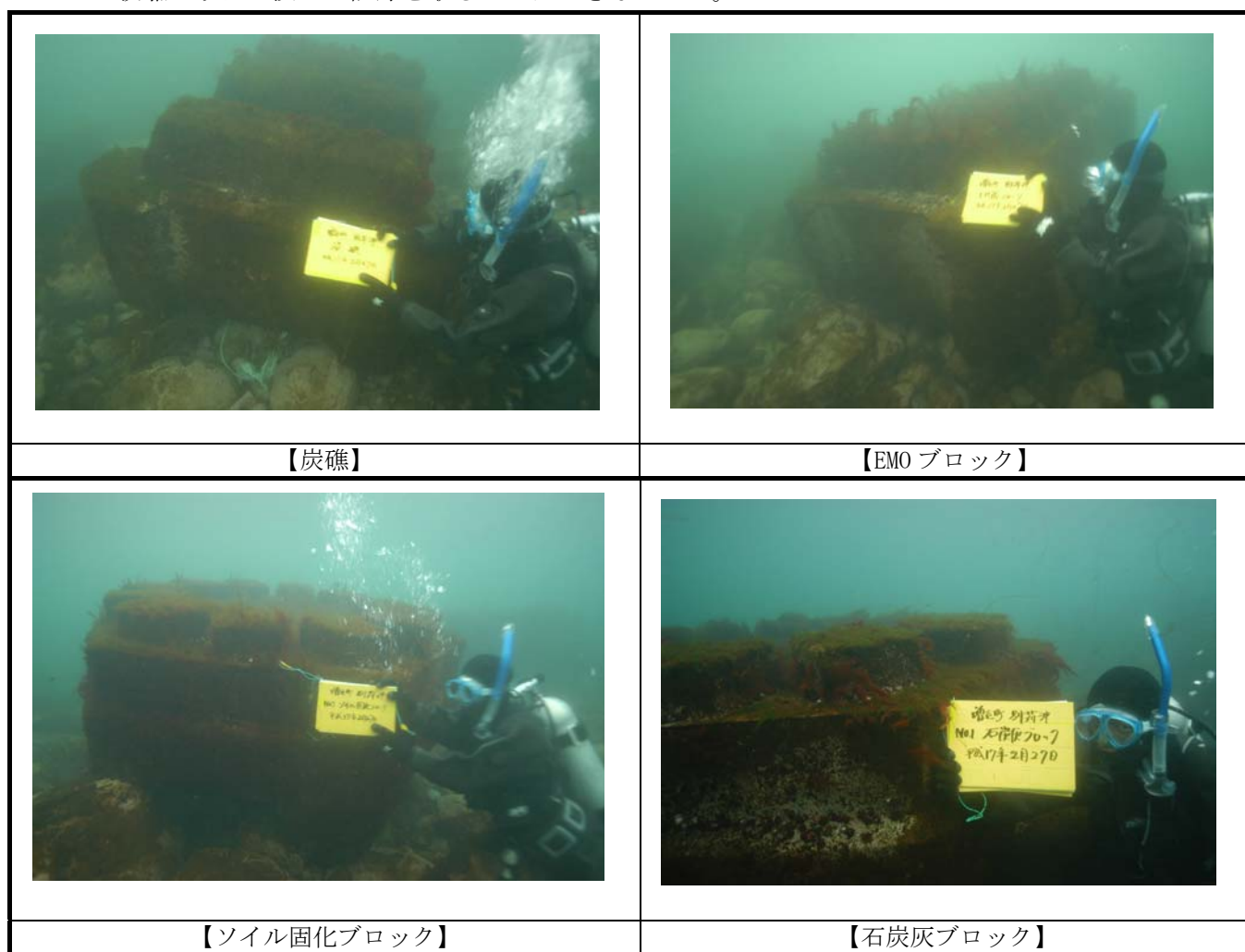
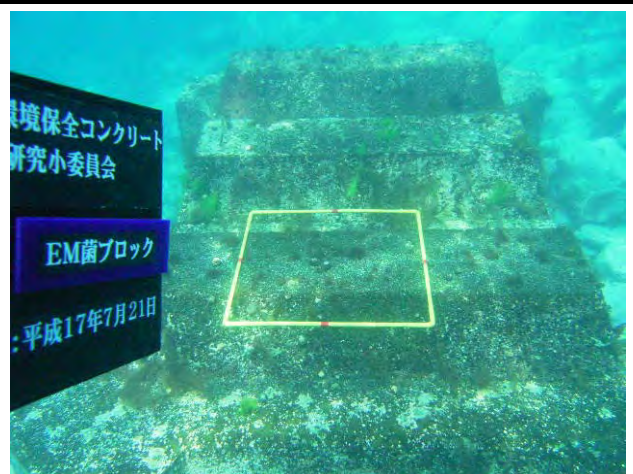


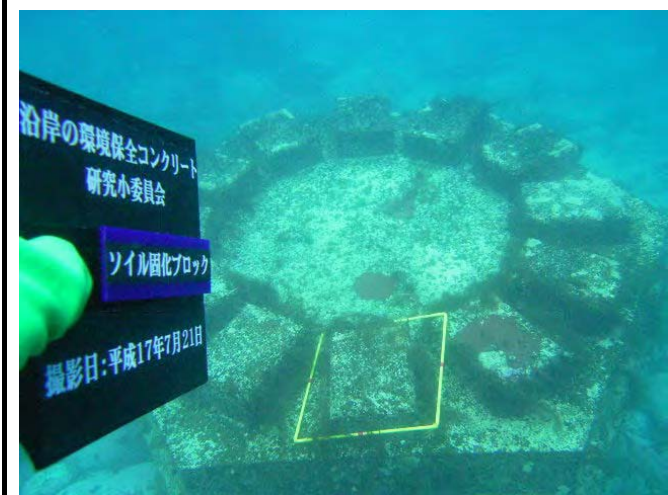
写真 5-1 平成 17 年 2 月 27 日の状況



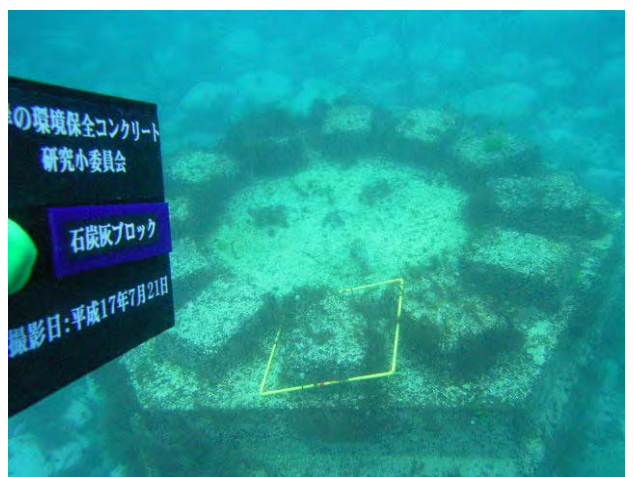
【炭藻】



【EMO ブロック】

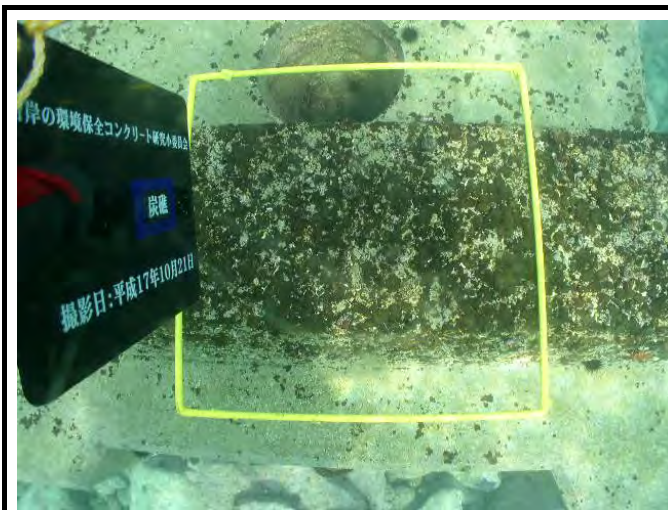


【ソイル固化ブロック】

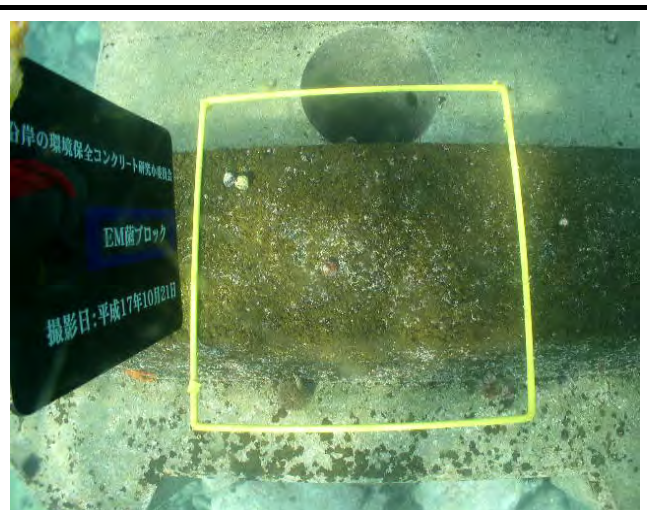


【石炭灰ブロック】

写真 5-2 平成 17 年 7 月 21 日の状況



【炭藻】



【EMO ブロック】

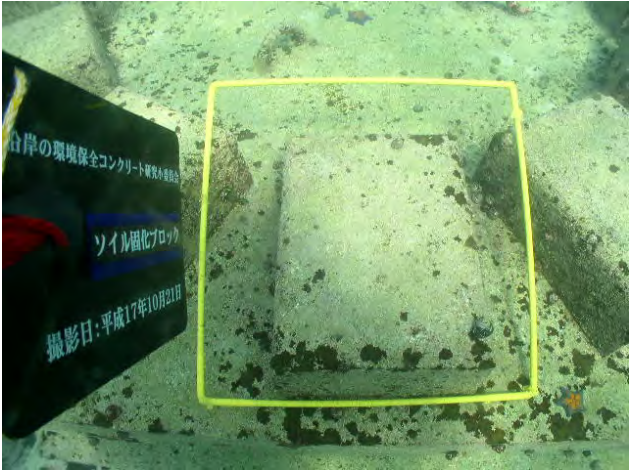
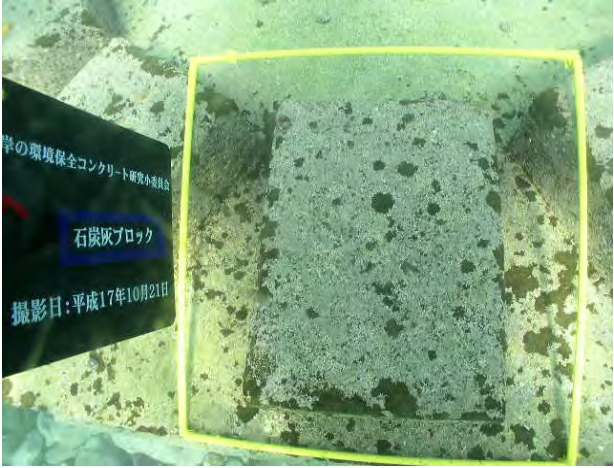
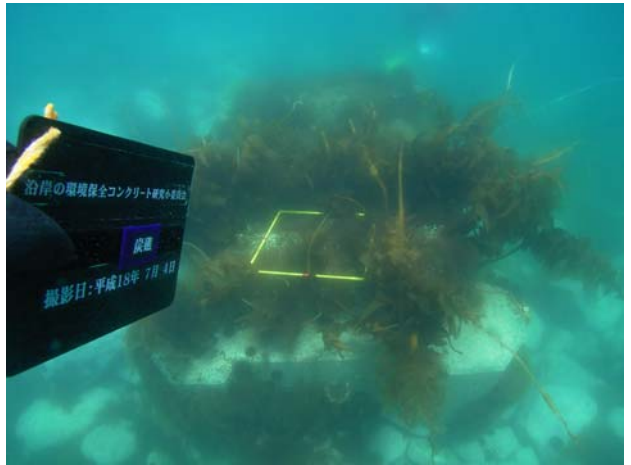
	
【ソイル固化ブロック】	【石炭灰ブロック】

写真 5-3 平成 17 年 10 月 21 日の状況

	
【炭礁】	【EMO ブロック】

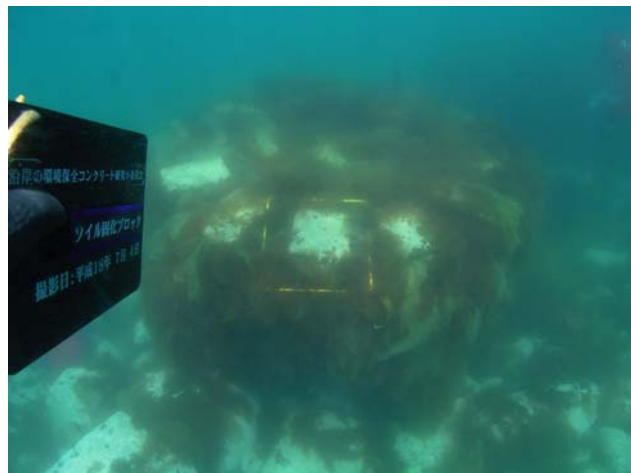
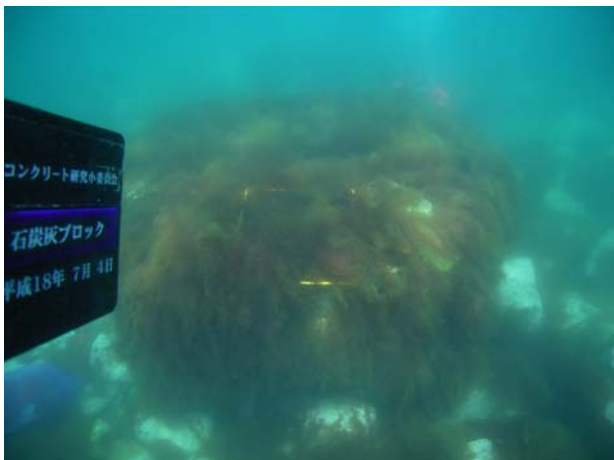
	
【ソイル固化ブロック】	【石炭灰ブロック】

写真 5-4 平成 18 年 7 月 4 日の状況

(3) 資源量調査

1) 調査目的

ブロックに付着した海藻類の粹取り採取（坪狩り）を行い、各藻場環境ブロックと周辺ブロック（被覆ブロック）における海藻類の生長状況および種類数を比較する。

2) 調査方法

藻場環境ブロックは平成 15 年 11 月 22 日に施工され、その翌々年の平成 17 年 7 月 21 日および 3 年後の平成 18 年 7 月 4 日に潜水土により、各藻場環境ブロックおよび周辺ブロックにおいて 1/4m×1/4m のコドラートを用いて海藻類を採取し、種の同定・計測を行った(図 5-17 参照)。

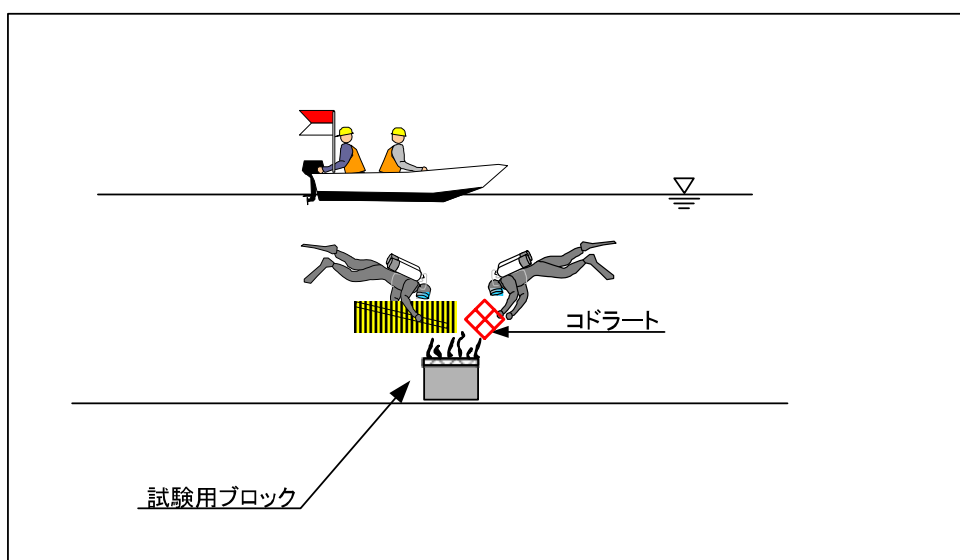


図 5-17 計測状況概念図

3) 資源量の集計

各環境ブロックに生育していた水産植物を採取し、平成 17 年と平成 18 年で比較したのが表 5-8 である。なお、種数と湿重量を測定した結果は表 5-9～表 5-10 にまとめた。表中で+は被度 10%未満、湿重量 0.1g 未満、()内は被度、－は測定不能を示す。ホソメコンブ、ワカメについては本数を表す。

表 5-8 に示すように別荘海域においては、ブロックによる出現種、重量とも調査年によってバラバラであり、ブロックの性状による違いは確認できなかった。

表 5-8 ブロック別の水産植物出現状況

調査日	水産植物		環境ブロック			
			EMO	炭礁	ソイル固化	石炭灰
H17. 7. 21	出現種類数		5	3	4	3
	湿重量	合計(g)	116. 8	19. 3	109. 9	91. 2
		順位	1	4	2	3
H18. 7. 4	出現種類数		5	5	4	3
	湿重量	合計(g)	848. 4	942. 5	610. 7	1, 090. 8
		順位	3	2	4	1

表 5-9 海藻出現種一覧表 (2005. 7. 21 実施)

調査地点	別荘地区							
水深 (m)	2.2		2.8		2.8		2.2	
種名	EMO ブロック		炭礁		ソイル固化ブロック		石炭灰ブロック	
	被度 (本数)	湿重量 (g)	被度 (本数)	湿重量 (g)	被度 (本数)	湿重量 (g)	被度 (本数)	湿重量 (g)
緑藻植物								
アナアオサ								
タマジユズモ								
褐藻植物								
イソガワラ目	10	-						
フクロノリ								
ワカメ	(+)4	114.8						
ホソメコンブ					(+)5	1.9		
エゾヤハズ								
アミジグサ	+	0.1	+	3.9	+	0.1	+	3.5
紅藻植物								
無節サンゴモ類					20	-	70	-
イソウメモドキ								
ムカデノリ								
ダルス								
ワツナギソウ								
フシツナギ								
ハネイギス	+	0.4						
イギス								
コノハノリ科								
ウラソゾ			+	5.8				
フジマツモ								
モロイトグサ	+	1.5	+	9.6	+	107.9	+	87.7
イソムラサキ								
出現種類数	5		3		4		3	
湿重量合計(g)	116.8		19.3		109.9		91.2	

※ +は被度 10%未満、湿重量 0.1g 未満を示す。

※ () 内は被度を表す。

※ -は測定不能を示す。

※ ホソメコンブ、ワカメについては本数を表す。

表 5-10 海藻出現種一覧表 (2006. 7. 4 実施)

調査地点		別荘地区							
種名	水深 (m)	2. 1		2. 4		2. 4		2. 2	
		EMO ブロック		炭礁		ソイル固化ブロック		石炭灰ブロック	
		被度 (本数)	湿重量 (g)	被度 (本数)	湿重量 (g)	被度 (本数)	湿重量 (g)	被度 (本数)	湿重量 (g)
緑藻植物									
アナアオサ									
シオグサ属						+	2. 7		
褐藻植物									
フシスジモク									
ワカメ				+	721. 7				
ホソメコンブ				+	27. 1				
ケウルシグサ		+	0. 8	+	4. 3	+	24. 7	+	9. 7
アミジグサ		+	0. 1						
紅藻植物									
無節サンゴモ類		+	-	+	-	10	-	+	-
ダルス		+	0. 1						
イギス									
ハイウスバノリ									
モロイトグサ		+	847. 4	+	189. 4	+	583. 3	+	1081. 1
イソムラサキ									
出現種類数		5		5		4		3	
湿重量合計 (g)		848. 4		942. 5		610. 7		1090. 8	

※ +は被度 10%未満、湿重量 0. 1g 未満を示す。

※ -は測定不能を示す。

※ ホソメコンブ、ワカメについては本数を示す。

5-3 防波堤被覆ブロックの有効利用による環境ブロックの追跡調査（臼谷漁港）

5-3-1 追跡調査の概要

北海道土木技術会コンクリート委員会の小委員会である「沿岸の環境保全コンクリート研究小委員会」では、北海道水産林務部の行う防波堤などの漁港施設においてその基礎マウンドに藻場を造成することを目的に本小委員会で検討してきた各種藻場環境ブロックを用いて試験的に施工するとともに、追跡調査を行うことで一般のブロックと比較しながらその有効性を検証している。

臼谷漁港においては、平成16年8月に藻場環境ブロックを投入し、平成16年度、平成17年度の追跡調査に引き続き平成18年度も調査を行っている。

本報告はこれまでに行った追跡調査結果を取りまとめたものである。

5-3-2 調査箇所

調査は図5-18に示すとおり、北海道留萌郡小平町字臼谷、第一種臼谷漁港で行った。

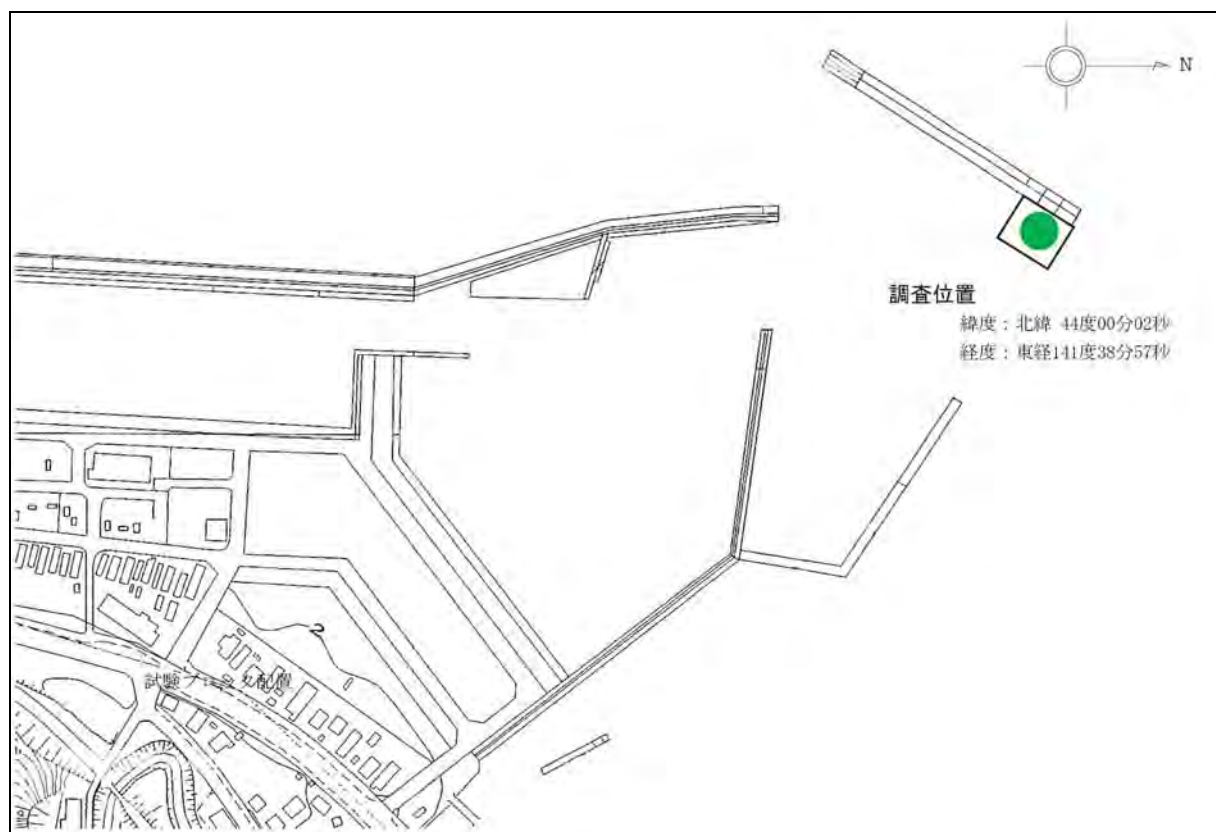


図 5-18 調査位置図

5-3-3 3年間の調査結果と考察

(1) 調査実施項目と実施時期

3年間の調査実施項目と実施時期は、表5-11、表5-12に示すとおりである。

表5-11 調査概要

項目	年度	調査日 (期 間)	調査項目	数量等
水質調査	平成16年度 平成17年度 平成18年度	H16.09.16、H16.11.23、H17.02.27 H17.07.21、H17.10.21、H18.02.20 H18.06.29、H18.10.23、H19.02.19	PH, SS, COD, DO, NO3-N, NO2-N, NH4-N, PO4-P, chl-a	1検体 9項目 9回
資源量調査	平成17年度 平成18年度	H17.07.21 H18.06.29	コドラードによる 坪狩り	2回
流況調査	平成16年度 平成17年度 平成18年度	H18.10.31～H18.12.03 H18.10.31～H18.12.03 H18.10.25～H18.11.27	電磁流速計(-2m, 固定設置) 流向・流速	34日間 10分間隔 3回
状況調査	平成16年度 平成17年度 平成18年度	H16.11.23、H17.02.27 H17.07.21、H17.10.21、H18.02.20 H18.06.29、H18.10.23、H19.02.19	水中写真撮影	8回
	平成16年度 平成17年度 平成18年度	H16.11.23、H17.02.27 H17.07.21、H17.10.21、H18.02.20 H18.06.29、H18.10.23、H19.02.19	ビデオ撮影	8回

表5-12 調査時期と実施項目

調査時期		水質調査	状況調査	流況調査	資源量調査
平成16年度	施工時(H16.09.16)	○			
	秋季(H16.10.31～12.03)	○	○	○	
	春季(H17.02.27)	○	○		
平成17年度	夏季(H17.07.21)	○	○		○
	秋季(H17.10.21～12.03)	○	○	○	
	春季(H18.02.20)	○	○		
平成18年度	夏季(H18.06.29)	○	○		○
	秋季(H18.10.23～11.27)	○	○	○	
	春季(H19.02.19)	○	○		

(2) 水質調査

1) 水質の状況

白谷漁港に設置された環境ブロック周辺の水質調査の結果は表 5-13 に示すとおりである。

表 5-13 水質調査の結果一覧表

調査月日		平成 16 年度			平成 17 年度			平成 18 年度		
		09/16	11/23	02/27	07/21	10/21	02/20	06/29	10/23	02/19
採水時刻		13:25	8:45	7:40	13:40	14:25	10:20	10:50	13:05	10:10
天気		晴	曇	晴	晴	晴	晴	晴	晴	雪
全 水 深	m	2.4	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5
採水水深	m	1.4	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5
気温	℃	22.0	11.6	-12.0	27.0	15.2	-0.6	16.0	14.3	-2.2
水温	℃	20.0	11.6	2.0	19.0	15.7	1.3	18.8	13.6	2.1
塩分	PSU	33.6	33.2	33.5	33.5	33.4	33.3	33.1	33.3	33.2
透 明 度	m	>2.4	0.6	>2.6	>2.6	>2.5	>2.5	>2.5	>2.5	>2.5
濁度		2.0	14.3	1.1	1.1	0.5	22.3	8.3	2.0	2.2
色相		淡緑色	淡灰緑濁色	淡緑色	淡緑色	淡緑色	淡緑色	淡灰緑色	淡緑色	淡灰緑色
臭気		無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭	無臭
pH		8.2	8.2	8.1	8.2	8.2	8.0	8.1	8.2	8.0
SS	mg/L	2	6	4	3	2	3	6	7	13
COD	mg/L	2.3	2.0	1.9	1.2	0.8	1.2	2.6	1.1	0.9
DO	mg/L	8.0	9.2	11.1	8.1	8.6	9.6	8.6	8.0	10.9
NO3-N	mg/L	ND	ND	ND	0.12	0.05	ND	0.12	ND	ND
NO2-N	mg/L	ND	0.011	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NH4-N	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PO4-P	mg/L	ND	ND	ND	0.003	0.003	0.012	0.004	0.006	0.014
Chl-a	μ g/L	ND	ND	1.80	0.20	0.20	0.30	1.67	0.88	0.86

また、各水質項目の経年変化を図 5-19、図 5-20 に表した。

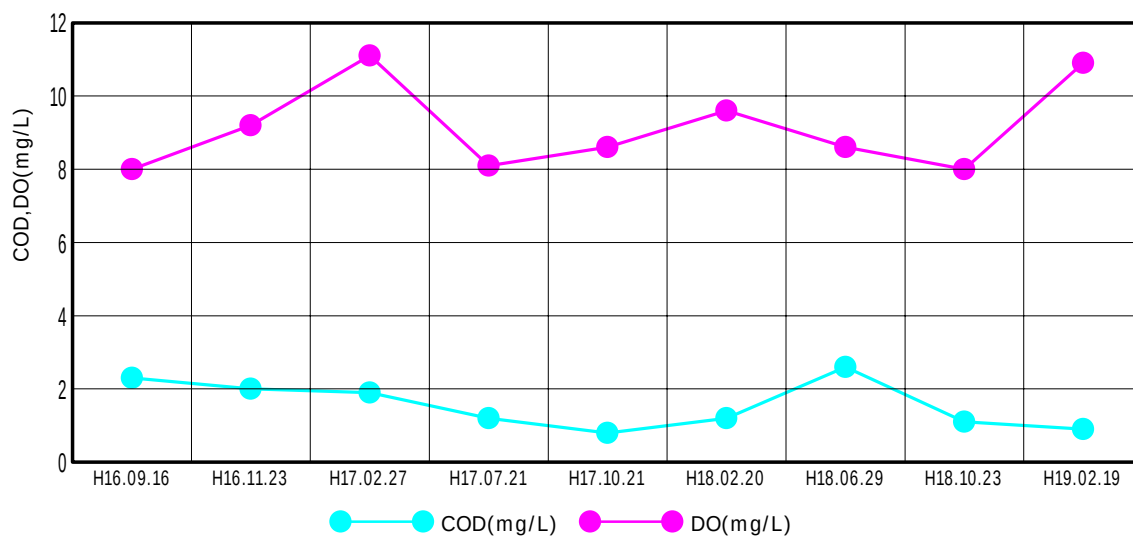
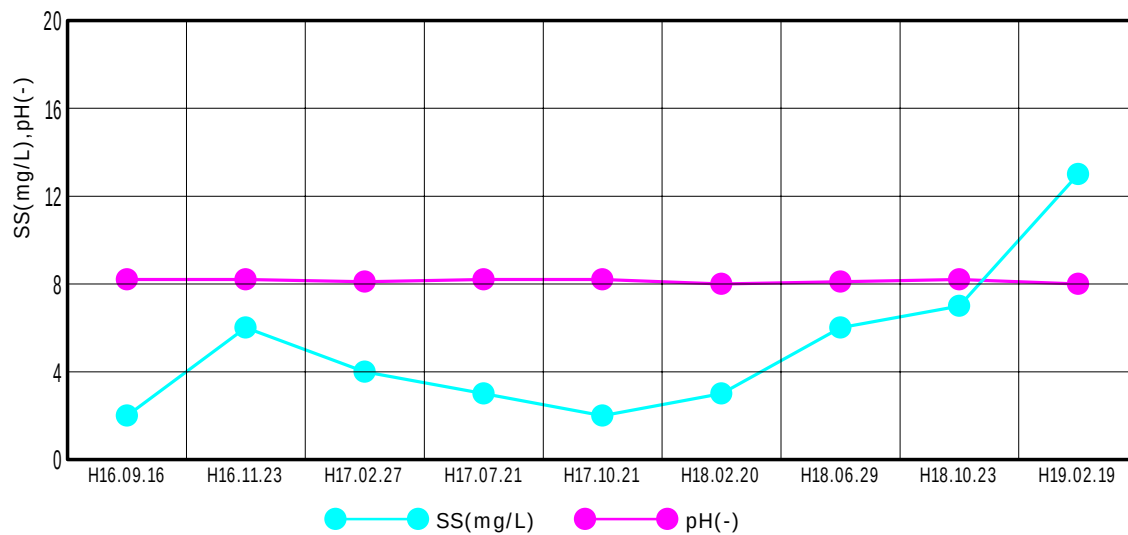
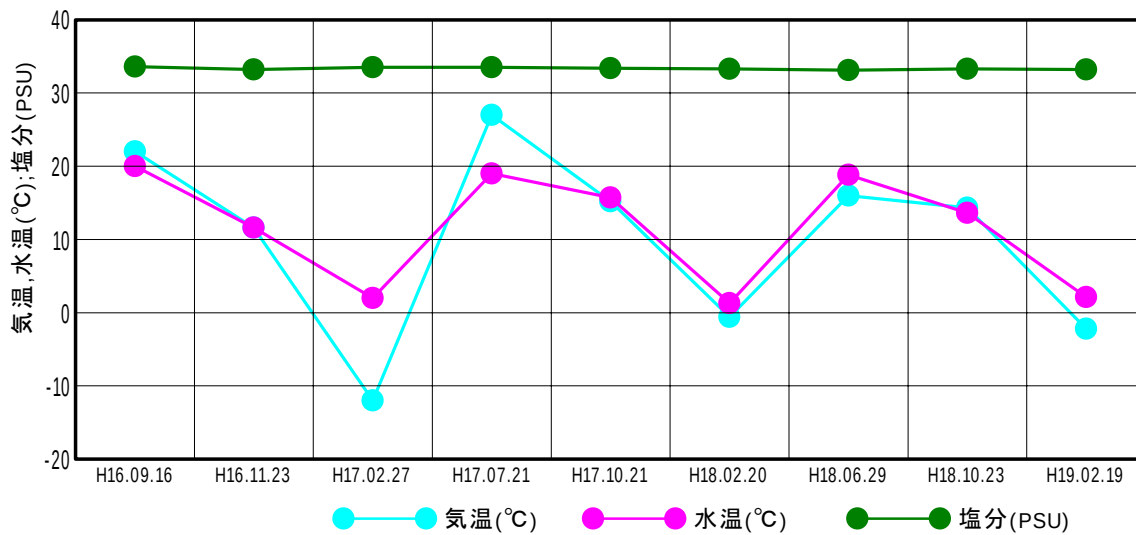


図 5-19 水質の経年変化

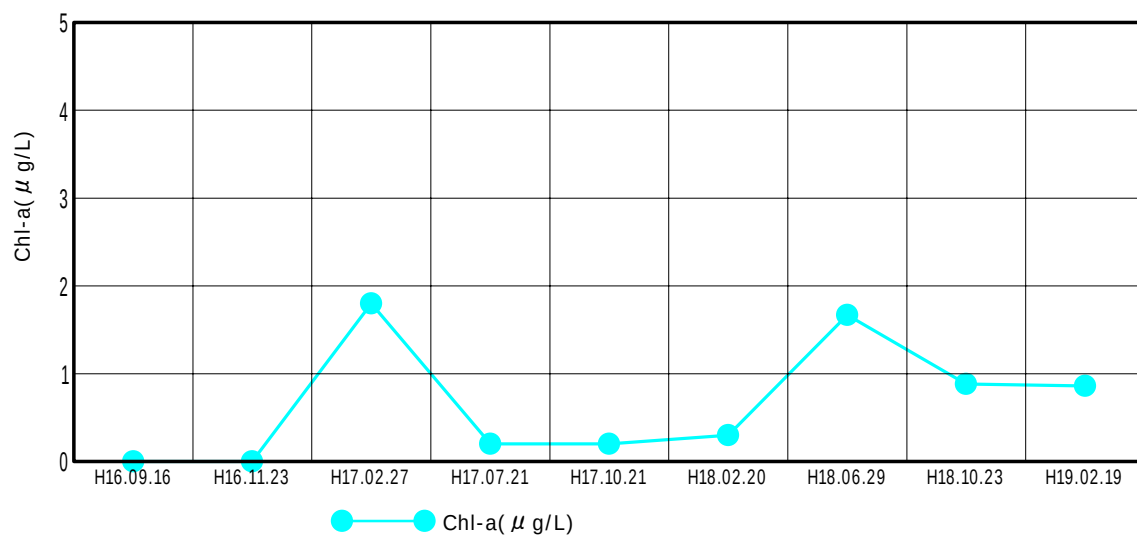
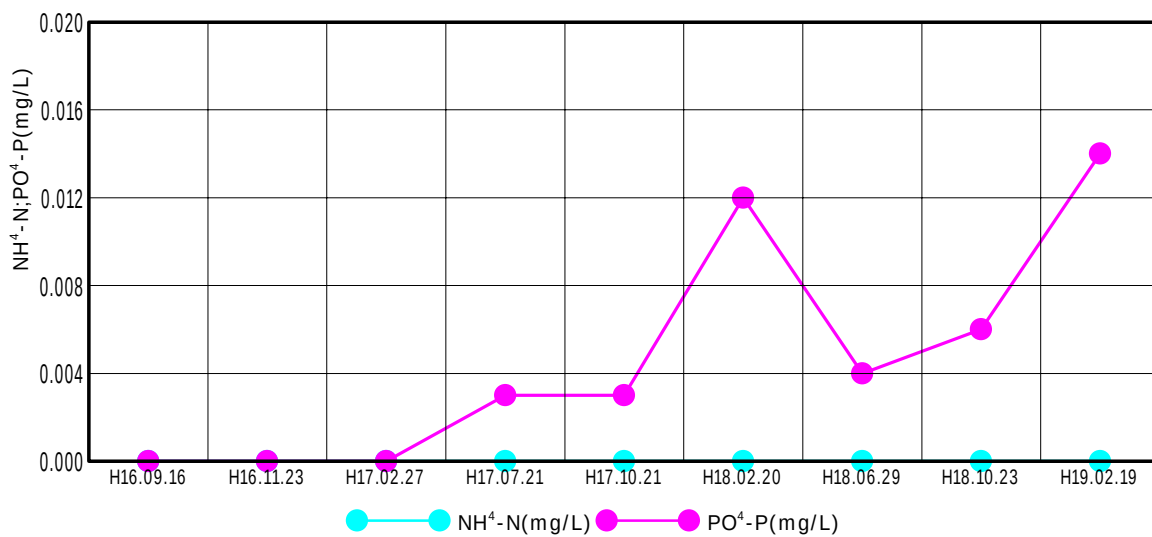
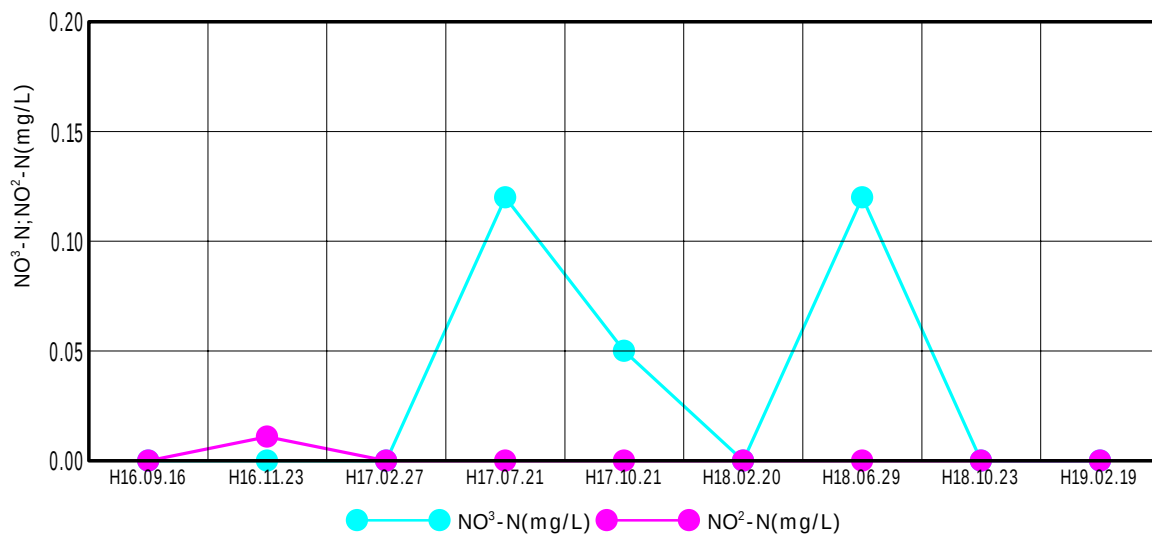


図 5-20 水質の経年変化

(3) 流況調査

1) 流況の経年変化

臼谷漁港に設置された藻場環境ブロック周辺の流向頻度図を図 5-21 に示し、流況の経年変化を表 5-14 に示した。

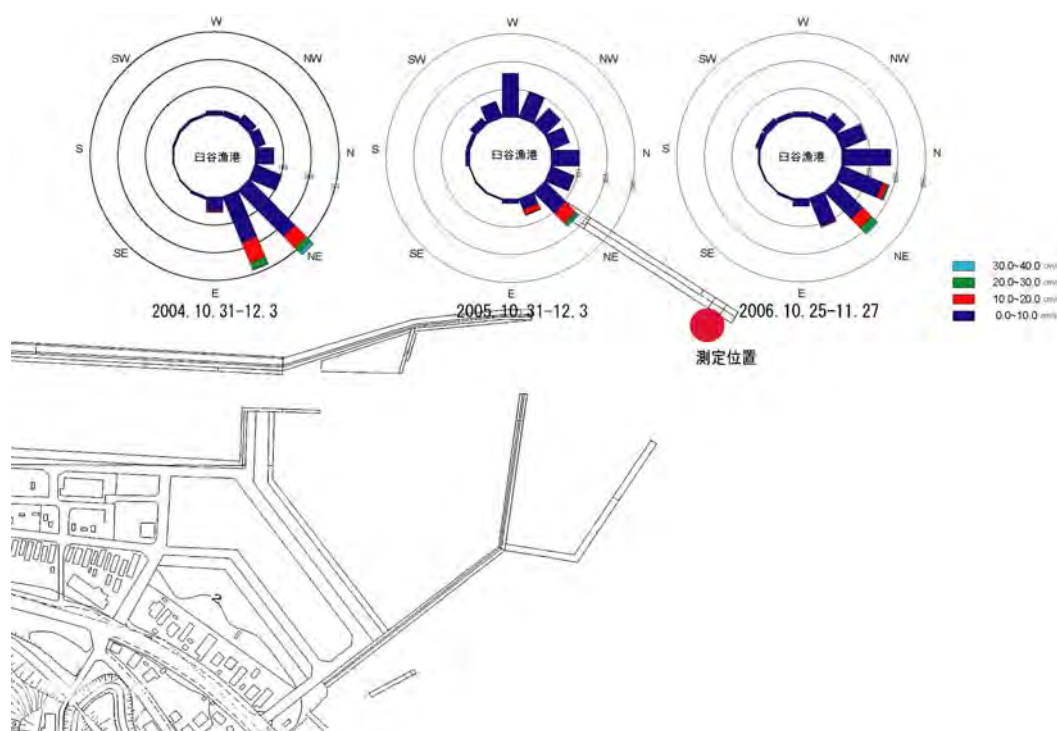


図 5-21 流向流速の経年変化

表 5-14 流向流速の経年変化の状況

年度	最大流速	卓越流向	卓越流速
平成 16 年度	0.49m/s	NE (32.9%)	0.1m/s 以下 79.5%
平成 17 年度	0.45m/s	NE (17.5%)	0.1m/s 以下 90.5%
平成 18 年度	0.47m/s	NE (21.7%)	0.1m/s 以下 88.8%

2) 流向・流速の変化

調査を開始した平成 16 年当時は調査地点は島防波堤北端部に位置していたが、調査開始以降に防波堤が北方(防波堤に向かって右側)へ数メートル延長された。

平成 16 年から平成 18 年の 3 カ年の変化をみると、島防波堤に沿った北東流が卓越し、出現する最大流速も 0.45~0.49cm/s と概ね一致していた。この結果、頻度分布で平成 17 年以降やや北よりの流れの頻度が増加しているものの、全体的な流況としては島防波堤の延長による影響はほとんど見られない。

したがって、流況調査は秋季調査しか実施していないが、海藻類の生育状況を観察した 3 年間では大きな流況変化はなかったものと考えられる。

(4) 状況調査

海中に設置した各種藻場環境ブロックに着底している海藻類の状況を把握するため、水中写真と水中ビデオを撮影したのが状況調査である。

状況調査は、平成 16 年 10 月から平成 19 年 2 月まで計 8 回行い、それぞれ 10 月に 3 回、2 月も 3 回、7 月は 2 回実施してきた。

ここでは、各藻場環境ブロックの季節変化が把握できるように順番に水中写真を並べて表 5-15～表 5-21 に掲載した。

1) 秋季の状況

10 月から 11 月にかけては、海藻の着生を目視により確認することはできない。平成 18 年は例外的に末枯れして脱落しているはずのホソメコンブ（1 年生）が付着したままであった。これらのホソメコンブは平成 19 年 2 月の調査時にもアマモブロックやバイオブロックにその基部が確認できた。このような残存した基部は、新規海藻群が付着する際にその基質面積を減少させることにつながるため、秋季には完全に脱落している状態が望ましい。

2) 春季の状況

2 月には 10cm 程度の新規海藻群の付着が確認されている。主に確認できるのは、緑藻類ではアナアオサ、褐藻類ではホソメコンブ、ワカメ、紅藻類ではモロイトグサ、イギス等である。平成 16 年から平成 18 年を通して確認できる海藻類は概ね同じであった。

3 カ年の写真を比較すると、調査時期はほぼ同じであるが、海藻類の成長度合いが異なることがわかる。秋季に着底してからの水温や光量の違いによって成長速度も異なるものと思われる。

3) 夏季の状況

6 月から 7 月には、ホソメコンブの群落が確認でき、基質となる環境ブロック表面のほとんどはそのホソメコンブの根部に覆われており、アナアオサやイギスなどは残されたわずかな基質に付着している状況であった。平成 17 年 7 月の調査時にはホソメコンブの葉部は既に末枯れが始まっていた。このことから、臼谷漁港周辺海域の海藻（特にホソメコンブ）の盛期としては 6 月中旬から下旬ごろと推定される。

表 5-15 EMO ブロックの状況写真

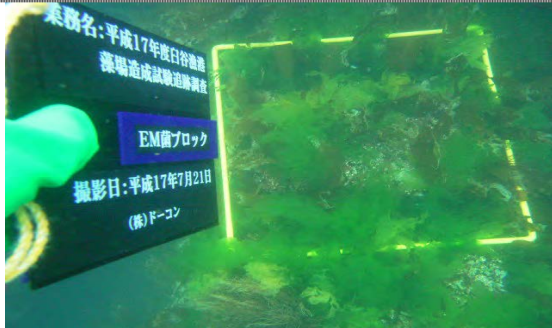
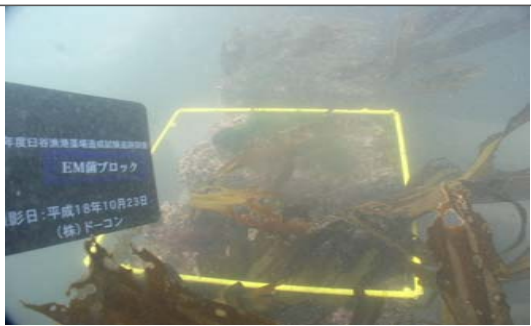
平成 16 年 11 月 (水温 11.6℃)	平成 17 年 2 月 (水温 2.0℃)	平成 17 年 7 月 (水温 19.0℃)
		
平成 17 年 10 月 (水温 15.7℃)	平成 18 年 2 月 (水温 1.3℃)	平成 18 年 6 月 (水温 18.8℃)
		
平成 18 年 10 月 (水温 13.6℃)	平成 19 年 2 月 (水温 2.1℃)	
		

表 5-16 ソイルブロックの状況写真

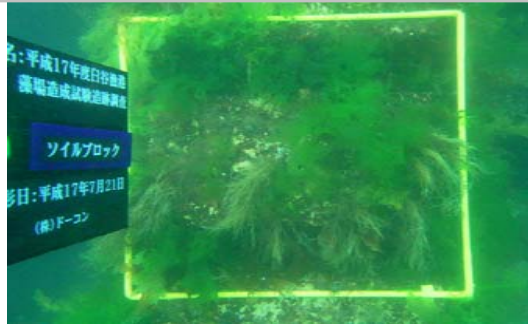
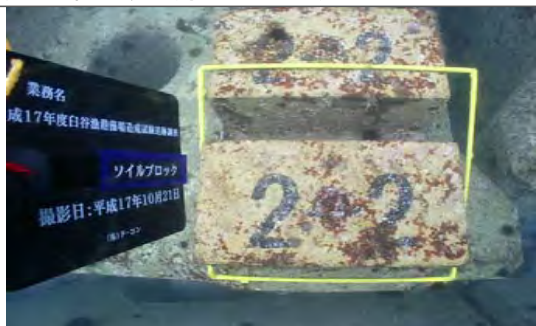
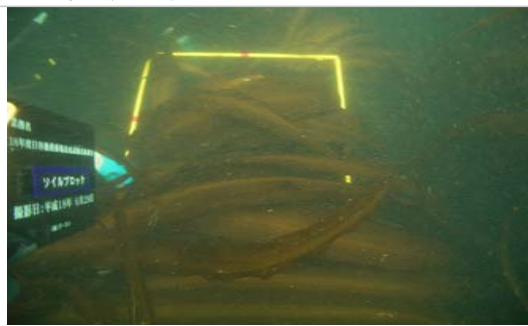
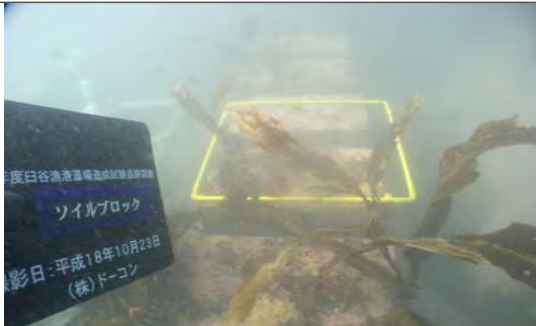
平成 16 年 11 月 (水温 11.6℃)	平成 17 年 2 月 (水温 2.0℃)	平成 17 年 7 月 (水温 19.0℃)
		
平成 17 年 10 月 (水温 15.7℃)	平成 18 年 2 月 (水温 1.3℃)	平成 18 年 6 月 (水温 18.8℃)
		
平成 18 年 10 月 (水温 13.6℃)	平成 19 年 2 月 (水温 2.1℃)	
		

表 5-17 石炭灰ブロックの状況写真

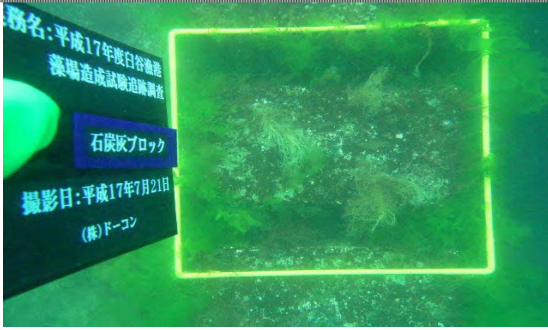
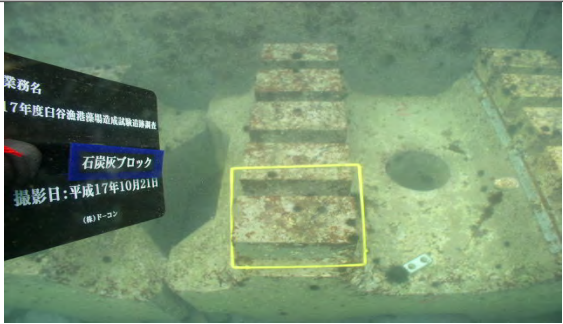
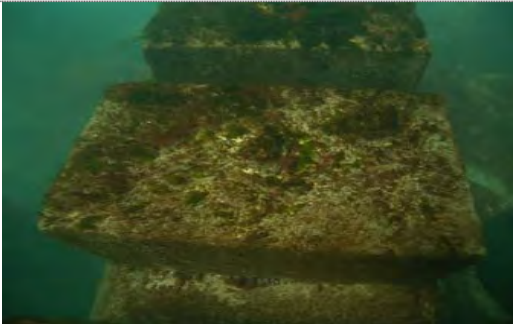
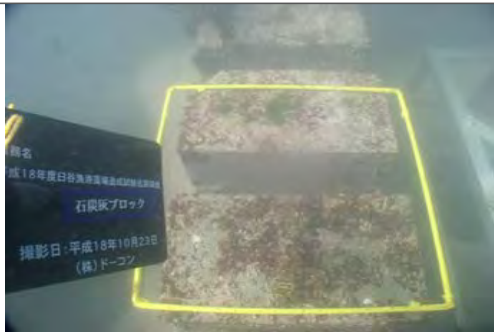
平成 16 年 11 月 (水温 11.6℃)	平成 17 年 2 月 (水温 2.0℃)	平成 17 年 7 月 (水温 19.0℃)
		
平成 17 年 10 月 (水温 15.7℃)	平成 18 年 2 月 (水温 1.3℃)	平成 18 年 6 月 (水温 18.8℃)
		
平成 18 年 10 月 (水温 13.6℃)	平成 19 年 2 月 (水温 2.1℃)	
		

表 5-18 木炭ブロックの状況写真

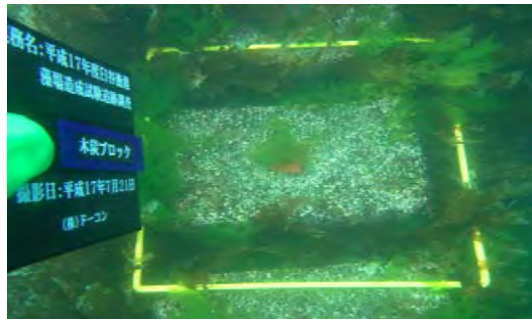
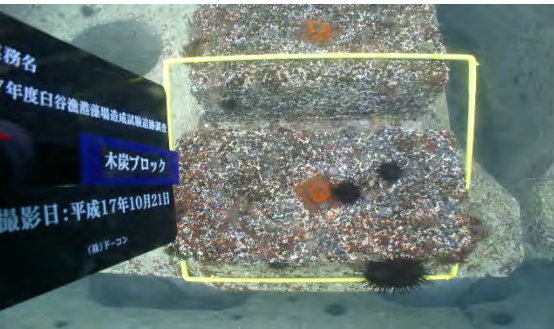
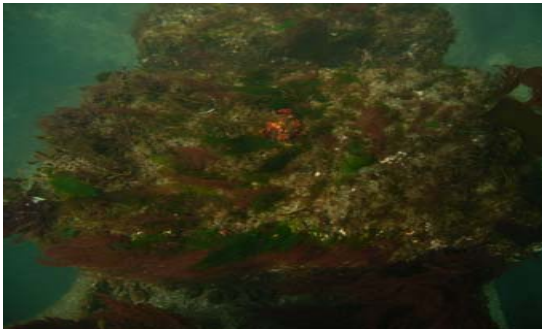
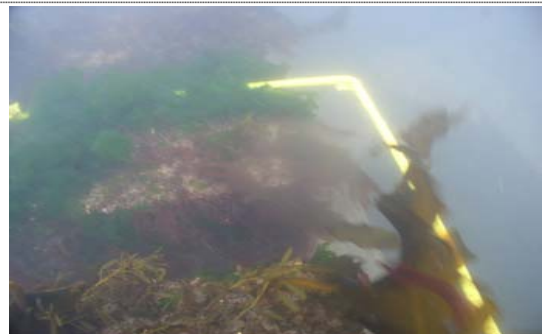
平成 16 年 11 月 (水温 11.6℃)	平成 17 年 2 月 (水温 2.0℃)	平成 17 年 7 月 (水温 19.0℃)
		
平成 17 年 10 月 (水温 15.7℃)	平成 18 年 2 月 (水温 1.3℃)	平成 18 年 6 月 (水温 18.8℃)
		
平成 18 年 10 月 (水温 13.6℃)	平成 19 年 2 月 (水温 2.1℃)	
		

表 5-19 アマモブロックの状況写真

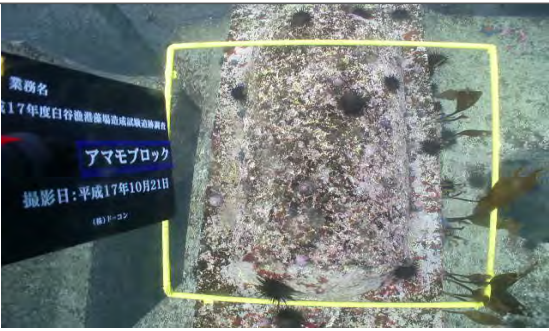
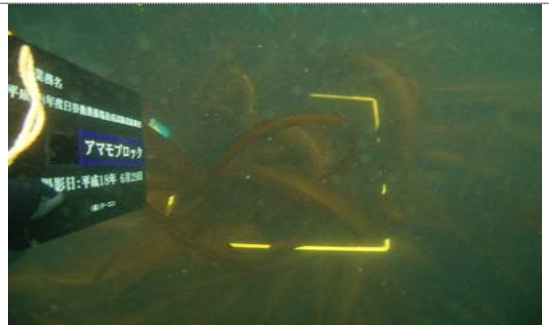
平成 16 年 11 月 (水温 11.6℃)	平成 17 年 2 月 (水温 2.0℃)	平成 17 年 7 月 (水温 19.0℃)
		
平成 17 年 10 月 (水温 15.7℃)	平成 18 年 2 月 (水温 1.3℃)	平成 18 年 6 月 (水温 18.8℃)
		
平成 18 年 10 月 (水温 13.6℃)	平成 19 年 2 月 (水温 2.1℃)	
		

表 5-20 バイオブロックの状況写真

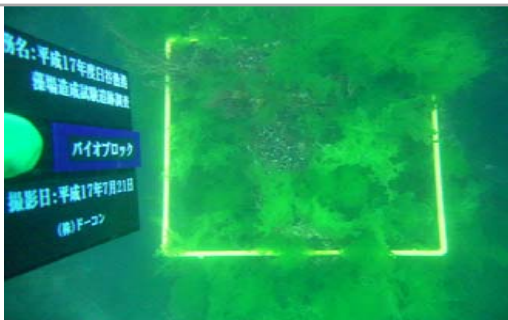
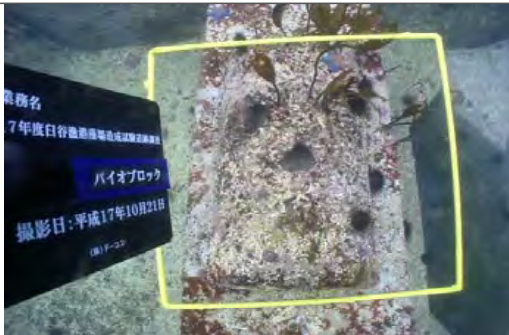
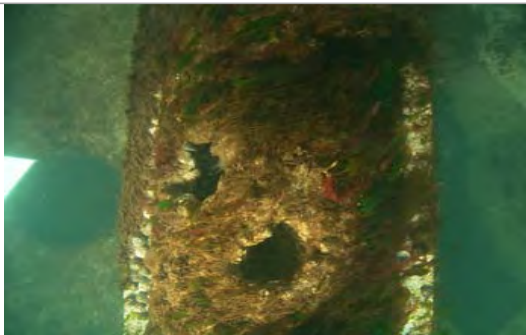
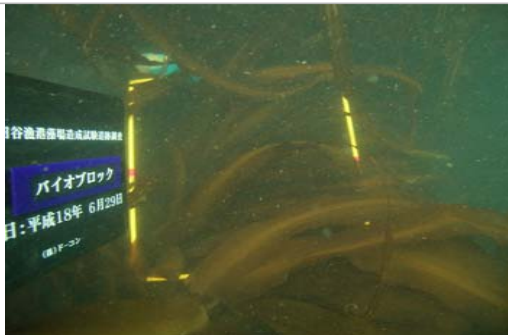
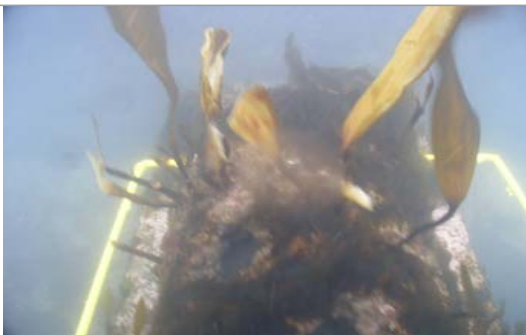
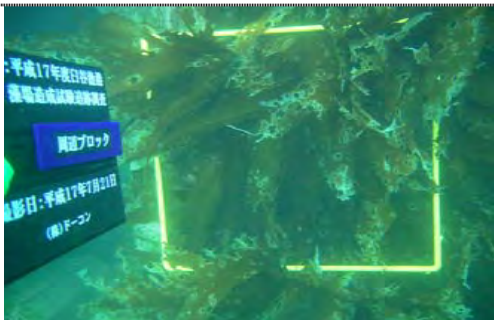
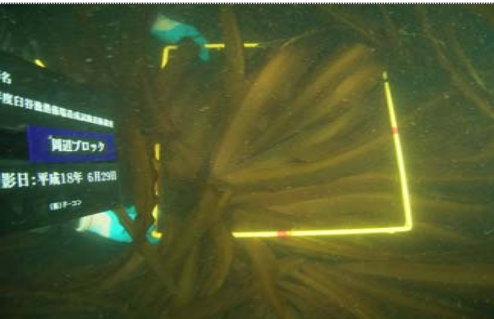
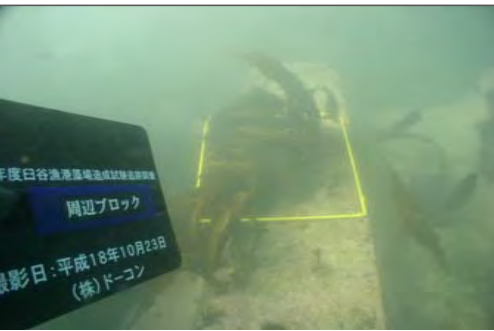
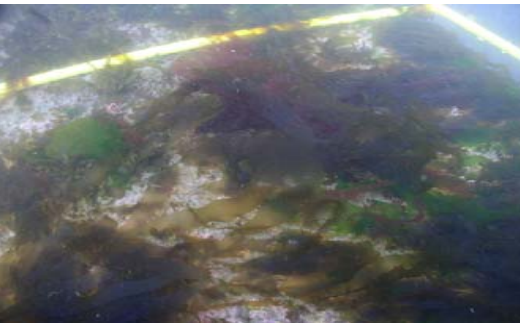
平成 16 年 11 月 (水温 11.6℃)	平成 17 年 2 月 (水温 2.0℃)	平成 17 年 7 月 (水温 19.0℃)
		
平成 17 年 10 月 (水温 15.7℃)	平成 18 年 2 月 (水温 1.3℃)	平成 18 年 6 月 (水温 18.8℃)
		
平成 18 年 10 月 (水温 13.6℃)	平成 19 年 2 月 (水温 2.1℃)	
		

表 5-21 周辺ブロックの状況写真

平成 16 年 11 月 (水温 11.6℃)	平成 17 年 2 月 (水温 2.0℃)	平成 17 年 7 月 (水温 19.0℃)
		
平成 17 年 10 月 (水温 15.7℃)	平成 18 年 2 月 (水温 1.3℃)	平成 18 年 6 月 (水温 18.8℃)
		
平成 18 年 10 月 (水温 13.6℃)	平成 19 年 2 月 (水温 2.1℃)	
		

5-3-4 ブロックの総合評価

平成 16 年から実施してきた各種追跡調査の中でも、主として平成 17 年 7 月 21 日、平成 18 年 6 月 29 日に行った資源量調査結果をもとに、藻場環境ブロックの性能についての評価を行った。

今回の調査では、無機物的、有機的な栄養分をコンクリートブロックの中に添加した 6 種類の藻場環境ブロックを設置し、従来から使用されてきたコンクリートブロック（ここでは「周辺ブロック」と称す）と比較してきた（図 5-22 参照）。

ここでは、まず従来のコンクリートブロックである「周辺ブロック」と無機物・有機物を添加した藻場環境ブロックとを比較し、その後 6 種類の藻場環境ブロックの藻場を形成するための性能について評価を行った。

(1) 周辺ブロックと藻場環境ブロックとの比較

表 5-22 には藻場環境ブロックと周辺ブロックの資源量調査から得られた出現種数と湿重量を示した。これからわかるように、周辺ブロックは湿重量で平成 17 年が 3 位、平成 18 年が 7 位であり、出現種数では平成 17 年、18 年ともに 7 位であった。

湿重量で比較すると、藻場環境ブロック群が絶対的に有意性があるとはいえないが、概ね良好な結果であったと考える。また、海藻の出現種数では、2 年とも 7 位であったことを考えると藻場環境ブロック群の優位性が現れていたといえる。

このようにブロックに着生していた海藻類の湿重量、出現種数で評価すると、藻場環境ブロック群は周辺ブロックと比較して、一定の効果が見込めるものと考えられる。

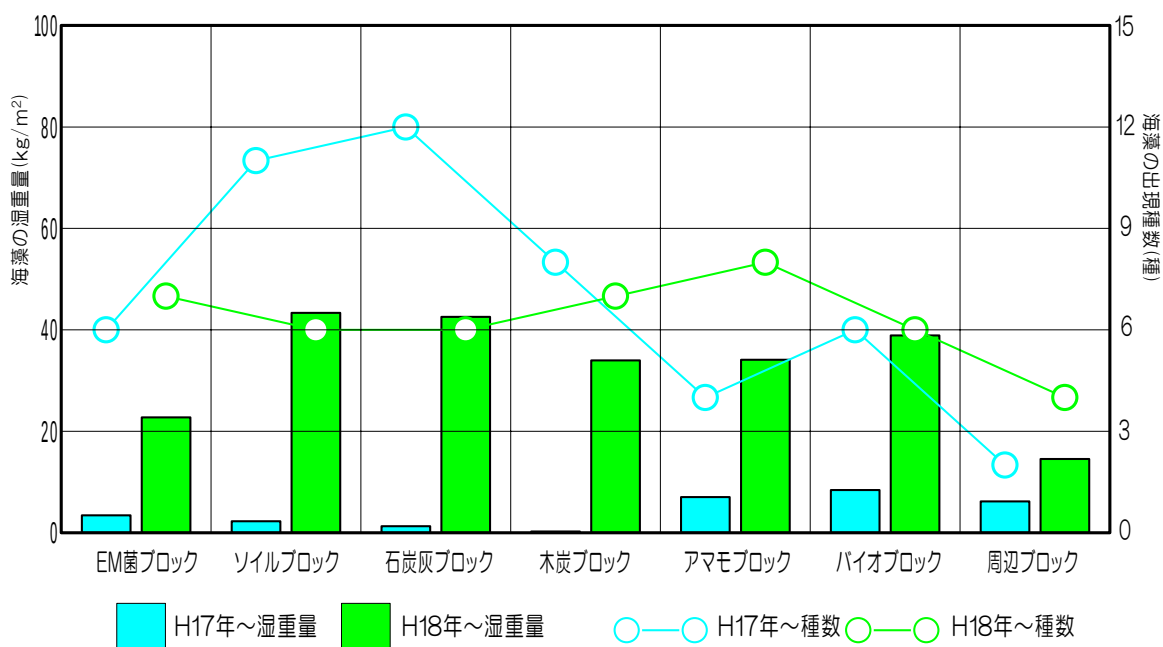


図 5-22 平成 17, 18 年度の藻場環境ブロック及び周辺ブロックの資源量調査結果の比較図

表 5-22 平成 17, 18 年度の藻場環境ブロック及び周辺ブロックの資源量調査結果とその順位

ブロック名	湿重量(g/m ²)		種数		順位			
					湿重量(g/m ²)		種数	
	H17	H18	H17	H18	H17	H18	H17	H18
EMO ブロック	3,410.5	22,749.6	6	7	4 位	6 位	4 位	2 位
ソイルブロック	2,298.2	43,357.3	11	6	5 位	1 位	2 位	4 位
石炭灰ブロック	1,299.1	42,579.6	12	6	6 位	2 位	1 位	4 位
木炭ブロック	230.5	33,999.6	8	7	7 位	5 位	3 位	2 位
アマモブロック	7,040.2	34,110.5	4	8	2 位	4 位	6 位	1 位
バイオブロック	8,416.2	38,933.2	6	6	1 位	3 位	4 位	4 位
周辺ブロック	6,178.0	14,540.8	2	4	3 位	7 位	7 位	7 位

(2) 藻場環境ブロックの評価

これまでの追跡調査の結果を踏まえて、各種藻場環境ブロックの評価を行い、表 5-23～25 にまとめた。

表 5-23 藻場環境ブロックの評価(1)

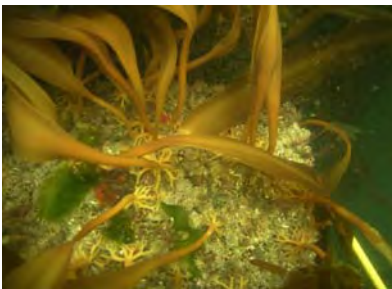
ブロック	項目	記事				写真
EMO ブロック	特徴	ポーラスコンクリートにEMOを添加した藻場環境ブロック。有用な働きをする微生物80余種を添加することで良好な藻場環境が期待できる。				
	資源量	水平	平成17年	6種	2,755.5 g/m ²	
			平成18年	7種	28,441.8 g/m ²	
		斜面	平成17年	3種	4,065.5 g/m ²	
			平成18年	5種	17,057.3 g/m ²	
	総評	ポーラスコンクリートの凹凸面を利用することで、着生面積を増やし基質としての有効性を期待したが、平成18年の海藻着生量としては、藻場環境ブロック中最低であった。 また、中に注入したEMOの効果も顕著には現れなかった。				
評価	△					
ソイル ブロック	特徴	ソイルミックスという土砂まじり土を固化物とした藻場環境ブロック。これに含まれる多量の灰分には、カルシウム、マンガン、酸化鉄、マグネシウム等のミネラル分を含んでいるため、良好な藻場環境が期待できる。(写真左側)				
	資源量	水平	平成17年	9種	3,172.7 g/m ²	
			平成18年	6種	58,570.9 g/m ²	
		斜面	平成17年	9種	1,423.6 g/m ²	
			平成18年	3種	28,143.6 g/m ²	
	総評	平成18年の海藻着生量は最も多い。出現種数も比較的多く、環境ブロックとして有効なブロックと考えられる。 ブロックの表面は凹凸がなく滑らかであったが、平面部分にもコンブの着生が見られた。				
評価	○					

表 5-24 藻場環境ブロックの評価(2)

ブロック	項目	記事				写真
石炭灰 ブロック	特徴	石炭灰を低アルカリ型の多孔質な固化物とした藻場環境ブロック。多孔質な性状により微生物の吸着が期待できるとともに栄養塩類も含んでいるため、良好な藻場環境が期待できる。(写真右側)				
	資源量	水平	平成17年	11種	1,775.5 g/m ²	
			平成18年	6種	66,917.3 g/m ²	
		斜面	平成17年	8種	822.7 g/m ²	
			平成18年	4種	18,241.8 g/m ²	
	総評	平成18年の着生量は水平部分に設置したブロックでは1位となった。このブロックも表面が滑らかであり、藻場造成への利用に有効なブロックと考えられる。				
評価	○					
木炭 ブロック	特徴	粗粒木炭を用いて炭の持つ多孔質と吸着性を損うことなく成型した藻場環境ブロック。木炭の大きな表面積により微生物やプランクトンが吸着し良好な藻場環境が期待できる。				
	資源量	水平	平成17年	6種	335.5 g/m ²	
			平成18年	7種	39,560.9 g/m ²	
		斜面	平成17年	6種	125.5 g/m ²	
			平成18年	4種	28,438.2 g/m ²	
	総評	海藻着生量はやや劣る結果であったが、出現種数では平成17年に11種と良好な結果となった。				
評価	△					

表 5-25 藻場環境ブロックの評価(3)

ブロック	項目	記事				写真
アマモ ブロック	特徴	ポーラスコンクリート製品内部に有効微生物を固定・共生した腐植成分を充填し、ポーラスコンクリートの連続した内部空隙に生物膜層を形成させる。これによりアマモ胞子の着生生長を促す。 右2列がバイオブロック 左2列がアマモブロック				
	資源量	水平	平成17年	4種	9,394.5 g/m ²	
			平成18年	7種	45,322.7 g/m ²	
		斜面	平成17年	4種	4,685.9 g/m ²	
			平成18年	5種	22,898.2 g/m ²	
総評	調査開始初期、ブロックに固定したアマモが脱落したために、アマモの着生効果は確認できなかった。					
評価	△					
バイオ ブロック	特徴	B Tソイルという腐食物質に有効微生物を固定共生させたものをポーラスコンクリートブロックに注入した藻場環境ブロック。微生物の働きで有機物を無機化し栄養塩類を添加できるため良好な藻場環境が期待できる。 右2列がバイオブロック 左2列がアマモブロック				
	資源量	水平	平成17年	3種	13,856.4 g/m ²	
			平成18年	5種	62,801.8 g/m ²	
		斜面	平成17年	6種	2,975.9 g/m ²	
			平成18年	5種	15,064.5 g/m ²	
	総評	海藻の着生量は、今回調査を行った藻場環境ブロックの中で比較的上位にあった。アマモブロックと同様にブロックの破損が認められていた。他のブロックとは形状も異なり、中を空洞にしていたこともあるが、藻場造成用を使用する場合には強度に対する検討が必要である。				
	評価	○				

5-3-5 藻場造成とコンクリートブロック

水産庁は、「磯焼け対策ガイドライン」を発表して、魚介類の産卵・生育の場となる藻場が消失したまま回復しない『磯焼け』への対策を示す指針をまとめた。海藻を食べ尽くすウニやアイゴ・ブダイといった魚への対策を中心に解説した。

指針はまず、磯焼けの原因を把握する方法を記載した。磯焼け海域で夏に海藻を移植し、秋まで海藻の変化を把握する。海藻にかじった跡が残っている場合には魚が、海藻がなくなり海域に通常より多くウニがいる（1平方メートル当たり5匹以上）場合にはウニが、それぞれ原因として推測できるとした。

次に、ウニと魚について実用化のめどが立っている対策を解説した。ウニの場合は、潜水作業で除去することが有効だと指摘している。市民ダイバーと漁業者が協力してウニを除去した海域でコンブが再び繁茂した事例を紹介した。

一方、魚の場合は、網やカゴで海藻を防御することが有効だと指摘した。また、アイゴを刺し身や南蛮漬けに調理して食べるイベントを開催した事例を紹介、アイゴやブダイを取って食用とする方法の普及を提案した。

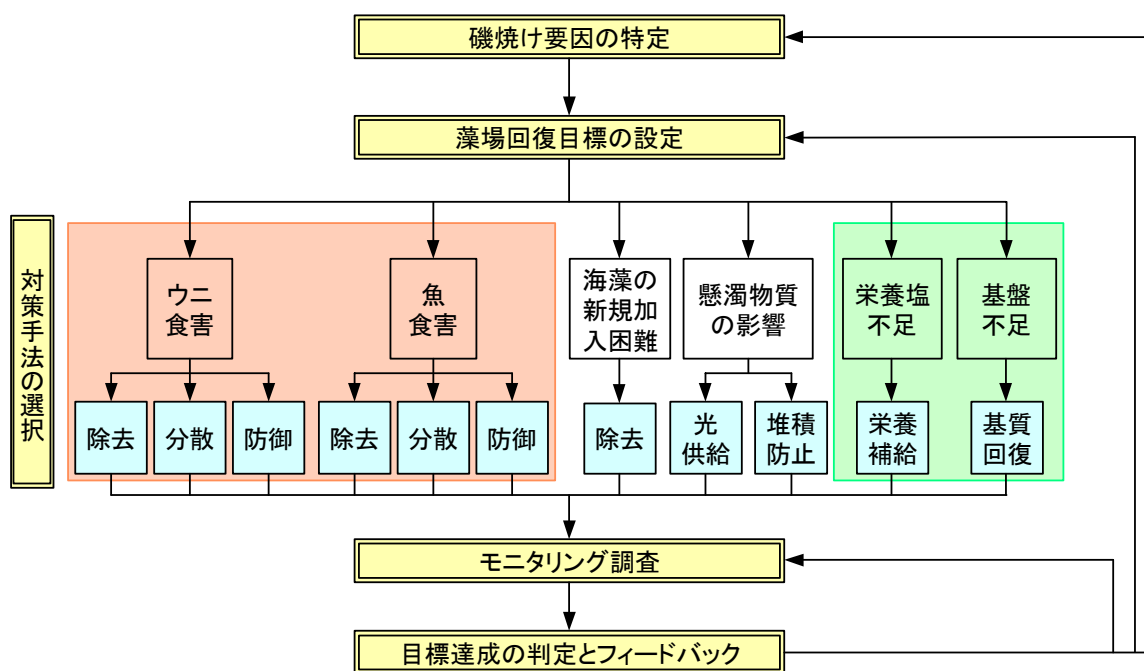


図5-23 磯焼け対策のフロー図

このガイドラインは、図5-23に示す図中のオレンジ色で囲まれた部分に対するものであり、本報告書で試験を行ってきた事項は緑色で囲んだ部分である。

本業務では、「栄養塩不足」と「基盤(コンクリート)不足」を一度に解消することを目的として、試験施工を行い3年間にわたってモニタリング調査を行ってきた。

これまで述べてきたように、海藻類の着生量、出現種数では従来のコンクリートブロックより若

干有意性が確認されたが、これらの藻場環境ブロックを従来のコンクリートブロックに置き換えることで磯焼けを解消できる確証はない。

しかし、本調査は平成16年から19年まで3カ年間にわたって実施してきたが、これまでの報告の中からいくつかの特筆すべき点があったので、列記する。

- ① 1年間を通じて海藻類の生活史を見た場合、遊走子が着底する時期には1～1.5ヶ月程度の開きがある。
- ② しかし、海藻類の盛期はある程度限られており、末枯れが始まると数週間で枯れてしまう。
- ③ 海藻類の資源量を正確に把握するためには、盛期に数年間継続して調査を行う必要があり、その際にはその年の冬の海水温によって資源量に差異が生じる。一般的に冬期の海水温が低い年はコンブはよくおがると言われている。

本調査では、着生量を計測した資源量調査結果に基づく考察が多くなったが、平成17年度は夏枯れがかなり進んだ状態での調査となり、平成18年度は盛期の調査であったため着生量に10倍程度の差異が生じた。また、平成18年度は海水温が夏から秋にかけても高い状況が続いたため、10月になっても夏枯れした海藻類が着生したままの状況であった。

このように海中における物理、化学、生物の状況が毎年同じ条件であれば各ブロックにおける特徴が顕著に現れるかもしれないが、海中において海藻類を生育させるためのファクターが多すぎるために磯焼けの原因、磯焼け解消の方策にまで辿り着けない理由となっているのではないだろうか。

「磯焼け対策ガイドライン」にもあるように磯焼けの解消に向けては、各種研究機関等でいろいろな研究がなされており、それぞれに効果が検証されている。

磯焼け対策の「基盤不足」を補う方策の大きな問題としては、新しいブロックや天然石を投入した場合、投入後1～2年間はよい効果が現れるが、3年目以降にはまた磯焼けに戻ってしまうということである。このように、成果を検証するまでには長い時間とそれに応じた追跡調査が必要なことも磯焼け原因の究明に至らないもうひとつの原因と思われる。

水産庁が作成したガイドラインには、「ウニ・魚の食害」、「海藻の新規加入困難」、「懸濁物質の影響」、「栄養塩・基盤の不足」と4つの原因のうち、海藻を捕食するウニや魚を『除去』『分散』『防御』することで目標達成に取り組む方針である。これについては、これまでの調査結果からその有効性が認められているが、広い面積を実施することは困難と思われる。

よって、栄養塩・基盤不足の解消に向けて基質と栄養塩が一体となった藻場環境ブロックの試験研究が今後も継続されることが望ましい。

