

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1295

October 2024

港内・港外における海藻の生育基盤の工夫の効果に関する検討

岡田知也・玉上和範・秋山吉寛・内藤了二

Study on the Effects of Artificial Seaweed Substrates Inside and Outside Ports

OKADA Tomonari, TAMAUE Kazunori
AKIYAMA Yoshihiro B, NAITO Ryoji

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

港内・港外における海藻の生育基盤の工夫の効果に関する検討

岡田知也^{*}・玉上和範^{**}・秋山吉寛^{***}・内藤了二^{***}

要 旨

ブルーカーボン生態系として藻場拡大のニーズは社会的に高まっており、全国において様々な藻場の生育基盤の工夫に関する検討が実施されている。ところがそれらの検討結果は総合的に整理されていないため、ある水域で検討された結果を環境が異なる他の水域へ適用できるか判っていない。そこで著者らの一連の研究では、全国で実施された藻場の生育基盤の工夫に関する検討結果を収集し、種々の環境条件下での藻場の生育基盤の工夫の適用性を示すことを目的とする。昨年度取り纏めた国総研資料 No.1257 では、主に国土交通省が実施した事例について整理し、海藻種や環境条件を適切に考慮して生育基盤の工夫を選択することが重要であることを示した。しかし、海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の適用範囲を示すには、データ数が不十分であった。そこで本検討では、地方自治体等が実施した検討結果を加えて、データを 395 事例に拡充した。その結果、本検討では、環境条件として波浪条件に着目し、適用水域を港内、閉鎖性内湾に位置する港の港外（港外（閉鎖性））、外海に面した港の港外（港外（外洋））に区分して、海藻種毎の生育基盤の種々の工夫がどのような環境条件下で効果が期待できるかを示した。

キーワード：ブルーカーボン、生物共生型港湾構造物、ブルーインフラ、消波ブロック

^{*} 港湾・沿岸海洋研究部海洋環境・危機管理研究室長

^{**} 港湾・沿岸海洋研究部海洋環境・危機管理研究室交流研究員（東亜建設工業株式会社）

^{***} 港湾・沿岸海洋研究部海洋環境・危機管理研究室主任研究官

〒 239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5019 Fax：046-844-9265 email: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

Study on the Effects of Artificial Seaweed Substrates Inside and Outside Ports

OKADA Tomonari^{*}

TAMAUE Kazunori^{**}

AKIYAMA Yoshihiro B.^{***}

NAITO Ryoji^{***}

Synopsis

There is an increase social demand for the development of seaweed meadows as a blue carbon ecosystem, and several surveys of artificial seaweed substrates have been conducted throughout Japan. However, the results are not sufficiently organized to allow for comprehensive analysis, and it is therefore not possible to determine whether the results can be applied to other marine areas with different environments. Consequently, a series of studies were conducted by the authors with the objective of collating the findings of nationwide surveys of artificial seaweed substrates, with a view to demonstrating the applicability of such substrates in different environmental conditions. The technical note of NILIM No. 1257 provided a summary of the cases that had been carried out primarily by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport. It highlighted the importance of selecting artificial seaweed substrates that were appropriate for the species of seaweed and the environmental conditions. However, the available data were insufficient to demonstrate the range of applications of the artificial seaweed substrate for promoting seaweed growth. Consequently, this study augmented the data set to encompass 395 cases by incorporating the findings of surveys conducted by local governments and other entities. It concentrated on wave conditions as environmental conditions and divided the applicable water area into three sections: inside a port, outside a port in an enclosed bay (outside port (enclosed)), and outside a port facing the open sea (outside port (open)). It then demonstrated the extent to which the effects of artificial seaweed substrates could be expected for each species of seaweed.

Key Words: Blue carbon, green port structure, blue infrastructure, wave dissipating block

^{*}Head of Marine Environment and Emergency Management Division, Port, Coastal and Marine Department

^{**}Exchanging Researcher of Marine Environment and Emergency Management Division, Port, Coastal and Marine Department (TOA CORPORATION)

^{***}Senior Researcher of Marine Environment and Emergency Management Division, Port, Coastal and Marine Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone: +81-46-844-5019 Fax : +81-46-844-9265 e-mail: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 方法	1
2.1 データ収集	1
2.2 海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の区分	2
2.3 効果の定量化	3
2.4 環境指標	5
3. 結果	5
3.1 報告書データの概要	5
3.2 海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果	6
4. おわりに	10
謝辞	11
参考文献	11
解析に用いた報告書.....	12

1. はじめに

ブルーカーボン生態系（堀・桑江，2017）の面積拡大の実現および更なる拡大を目指し、国土交通省港湾局は、令和4年12月に、「海洋植物が持つCO₂吸収や水質浄化といった効果に着目し、ブルーカーボン生態系を活用したCO₂吸収源の拡大によるカーボンニュートラルの実現への貢献や生物多様性による豊かな海の実現を目指し、ブルーインフラの拡大を進めるため、『命を育むみなとのブルーインフラ拡大プロジェクト』をスタートさせる」ことを発表した（https://www.mlit.go.jp/report/press/port06_hh_000265.html）。他方、国土交通大臣の認可法人であるジャパンブルーエコノミー技術研究組合（Japan Blue Economy Association, JBE）が2020年に設立された。JBEでは、パリ協定の発効に伴い、ブルーカーボン生態系のCO₂吸収源としての役割その他の沿岸域・海洋における気候変動緩和と気候変動適応へ向けた取組みを加速すべく、新たなカーボンクレジットとしてJブルークレジット制度を創設している。この様にブルーカーボン生態系である藻場拡大の社会的ニーズは高まっている。

港湾における藻場造成基盤としては、生物共生型港湾構造物（国土交通省港湾局，2014）が有効な技術であるが、生物共生型港湾構造物を設置しただけで海藻が繁殖するほど、港湾域の水環境は必ずしも海藻の生育に良好な場所とは言えない。例えば、富栄養化した海域では、光量不足や細粒分の堆積による海藻の着生基盤の劣化（川崎・山田，1991；荒川・松生，1992）が課題となる。また、富栄養化していない海域でも、食害（斎藤・中村，1961；今井・新井，1986；増田ら，2000；野田ら，2002；山川・林，2004；金田ら，2006；二村ら，2007；山内ら，2009；小野寺・櫻井，2018）や栄養塩不足（代田，1995；水田ら，2001；川井ら，2003）等が課題となっている。加えて、温暖化に伴い、水温上昇や在来種以外の新たな食害生物の対策が、今後ますます必要になると考えられている。これらの課題に対して、細粒分が堆積しにくい被覆ブロック等の工夫、食害を防ぐブロック形状等の工夫、海藻の着底を促すブロック形状や表面形状等の工夫、海藻の成長を促す構造物の材質等の工夫など様々な生育基盤の技術開発が検討されている。また、水産分野においても、磯焼け対策ガイドライン（水産庁，2021）が令和3年3月に改訂されるなど、藻場の回復・維持に関する技術開発は重要視されている。しかし、それらの技術的な工夫は総合的に整理されていないため、ある水域で検討された結果を環境が異なる他の水域に適

用できるか判らないといった課題がある。

そこで著者らの一連の研究では、全国で実施された海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫に関する検討結果を収集し、種々の環境条件下での海藻の生育基盤の工夫の適用性を示すことを目的とする。昨年度取りまとめた国総研資料 No.1257（岡田ら，2023）（以下、令和4年度検討と呼ぶ）では、主に国土交通省が実施した海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果について整理し、海藻種や環境条件を適切に考慮して生育基盤の工夫を選択することが重要であることを示した。しかし、海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の環境条件に対する適用範囲を明確にするには、データ数が不十分であった。そこで本検討では、地方自治体が実施した検討結果を新たに加えてデータを拡充し、環境条件として波浪条件に着目し港内・港外に区分して、海藻の生育基盤の種々の工夫の効果がどの程度期待できるかを示すことを目的とする。

2. 方法

2.1 データ収集

(1) 調査データの入手

キーワードを「藻場」とし、デジタル化された業務報告書の入手ができそうな平成8年以降の調査業務を Web 検索した。検索された調査業務の業務概要から、港湾において海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫に関する現地試験を実施した調査業務と推測される報告書を抽出し、該当する報告書の発注機関から報告書を入手した。抽出された業務の発注機関は、国、都道府県、市町村等に及んだ。令和4年度検討では、データの整理方法の基盤を作る観点から、報告書提供の依頼先を国土交通省の各地方整備局および東京都に限定したが、本検討では地方自治体に拡大した。

(2) スクリーニング

入手した報告書に対して、表-2.1に示す項目について整理し、令和4年度検討と同様に、①海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫がされているか、②海藻の定量的データが取得されているか、③工夫の効果の定量的な評価が行われているか（対照地点との比較が行われているか）の3つの視点から、解析対象データとしての適・不適のスクリーニングを行った。スクリーニングの結果、解析に用いた報告書を付録表-A.1に示す。

(3) データベースとして抽出した項目

スクリーニングされた事例に対し、実施海域、実施構造物、実施箇所、生育基盤の工夫、海藻種を抽出した（表

表-2.1 報告書のスクリーニング用に整理した項目

分類	整理項目
一般事項	発注機関，業務件名，報告書名，調査の場所，調査の概要
調査概要	海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の概要，実施年度，モニタリング期間，モニタリング頻度，海藻種
モニタリング実施状況	対照区の有無，海藻の調査項目，物理環境の調査項目，水質の調査項目

表-2.2 データベース用に抽出した項目と内容

抽出項目	内容
実施海域	藻場分布（図-2.1）で設定された海区区分
実施構造物	護岸，防波堤，潜堤等
実施箇所	ブロック：根固めブロックや消波ブロック 壁面：護岸や防波堤等の壁面 遊水室：スリット型ケーソン遊水室 漁礁
生育基盤の工夫	形状変化，表面加工，栄養添加，石積・石籠，中空構造
海藻種	ホンダワラ類：アカモク，ノコギリモク，トゲモク，マメタワラ アラメ・カジメ類：アラメ，カジメ，ツルアラメ コンブ類：マコンブ，ホソメコンブ ワカメ類：ワカメ，ヒロメ 大型海藻：ホンダワラ類，アラメ・カジメ類等の大型海藻類 海藻類全般：アオサやイギス等の小型海藻も含む海藻類全般

-2.2).

実施海域は，令和4年度検討では，環境省が全国にわたる藻場の分布状況を把握するために作成した藻場分布図において設定した海区区分（https://www.biodic.go.jp/moba/1_2.html）に従ったが，本検討では，3.1節で示すように瀬戸内海沿岸の事例も多く加わったため，その海区区分に瀬戸内海沿岸地区を追加した（図-2.1）．実施構造物は，令和4年度検討と同様に，護岸，防波堤，潜堤に区分した．実施箇所は，令和4年度検討と同様に，根固めブロックや消波ブロック等のブロック，護岸や防波堤等の壁面，スリット型ケーソンの遊水室，漁礁に区分した．

2.2 海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の区分

海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫は，大分類と小分類で区分した．大分類は，形状変化，表面加工，栄養添加，石積・石籠，中空構造の5つとした（表-2.3）．令和4年度検討と同様に，形状加工は，稜角，



図-2.1 海区区分の設定（環境省自然環境局生物多様性センター，https://www.biodic.go.jp/moba/1_2.html）に瀬戸内海沿岸地区を追加。

表-2.3 海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫

適用箇所	生育基盤の工夫		内容
	(大分類)	(小分類)	
ブロック（根固ブロックや消波ブロック等）	形状変化	稜角	特徴：稜角が多い形状 期待する効果：稜角部を増やし海藻の付着を促進
		柱状	特徴：柱の様な突起物がある形状 期待する効果：平面部を少なくし細粒分の堆積を抑制，ウニの食害を抑制
		空洞	特徴：空洞部がある形状 期待する効果：流動による流れを発生させ，細粒分の堆積を抑制
ブロックや護岸，防波堤等の表面等	表面加工	凹凸加工	特徴：表面に碎石を埋め込む様な比較的大きな凹凸がある表面 期待する効果：海藻のタネが着底する表面積の増加、局所的な流動を促し細粒分の堆積の低減，及び稜角部を増やし海藻の付着を促進
		溝加工	特徴：溝がある表面 期待する効果：角部を増やし海藻の付着を促進
		粗面加工	特徴：多孔質材や人工毛等の微細な粗度や空隙がある表面 期待する効果：表面に微細な凹凸面を作り海藻の付着を促進
	栄養添加	—	特徴：海藻の成長に必要な栄養塩や鉄，アミノ酸等を溶出する基質 期待する効果：海藻の成長の促進
潜堤や漁礁等	石積・石籠	—	特徴：天然石又は人工石を積んだり，天然石や人工石、貝殻等を籠等に入れたりした構造 期待する効果：海藻のタネが着底する表面積の増加，及び稜角部を増やし海藻の付着を促進．また，間隙部に生物の生息を促進．
	中空構造	—	特徴：中空部をもつ構造物 期待する効果：中空部に魚類の生息を促進させ主に漁礁として利用．構造物の稜角部や上面に海藻の付着を促進．

柱状，空洞の3つの小分類に，表面加工は，凹凸加工，溝加工，粗面加工の3つの小分類に区分した．

令和4年度検討と異なる点は，新たに中空構造という大分類を設けたことである．令和4年度検討では，中空構造の事例が少なかったため中空構造の漁礁も空洞に含めていたが，本検討では中空構造の事例が多かったこと，および空洞型のブロックと中空構造の構造物の設置水深や場所が異なり波浪に対する機能が異なることから，空洞と中空構造と分け，中空構造は適用箇所を潜堤や漁礁等の区分に配置した．

2.3 効果の定量化

(1) 効果指標の定量化の変更

令和4年度検討では，着生・成長を促す生育基盤の工

夫の効果指標は，式（1）で示す様に単位面積当たりの海藻の現存量（湿重量又は被度）の対照区との比として定義した．評価においては，比が1.0より大きい場合は効果がある，比が1.0以下を効果がないとした．

$$\text{効果指標} = \frac{\text{試験区における海藻現存量の最大値}}{\text{対照区における海藻現存量の最大値}} \quad (1)$$

ここで，対照区とは，対策が行われた構造物又はそれに類似した条件下にあつて，生育基盤の工夫を施していない地点・区画を意味する．また，生息基盤の工夫の効果の評価の単純化を図るため，時間変動成分は除外し，試験区および対照区共に試験期間中の最大値の値を用いた．

本検討では、試験区における海藻現存量の最大値を用いることは同じであるが、対照区の花藻現存量を試験区と同じ時期および同程度の水深帯の花藻現存量を用いることに変更し、効果指標を式(2)で定義した。

$$\text{効果指標} = \frac{\text{試験区における花藻現存量の最大値}}{\text{対照区における試験区データと同じ時期および同じ水深帯の花藻現存量}} \quad (2)$$

(2) 評価方法の変更

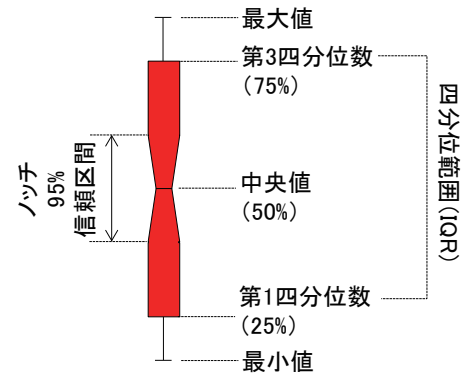
令和4年度検討では、箱髭図を用いて、中央値が1.0より大きい場合を、効果があるとした。箱髭図では、箱の下側が第1四分位数（下から1/4の部分にあるデータの値）、箱の真ん中の横線が第2四分位数（中央値）、箱の上側が第3四分位数（上から1/4の部分にあるデータの値）を示す（図-2.2(a)）。下の髭はデータの最小値、上の髭はデータの最大値を示す。なお、本検討では、箱の上下端から四分位範囲（第1四分位数から第3四分位数）の1.5倍を越えるデータは外れ値とみなし、それ以内の最大・最小値を最大・最小値として髭を示している（図-2.2(c)）。

図化する際には、効果指標が5.0以上場合は5.0とした。このように上限を5.0とすることに加えて、効果指標は比率であるにもかかわらず、対照区の1/2倍と2倍が図において同程度の差に見えない欠点があった。そこで図において、効果指標を表す縦軸を常用対数で示すことに変更した。 $\log$ （効果指標）が0より大きい場合が、効果があるとなる。対数表示することにより、5以上の値もそのままの値を用いることができ、1/2倍と2倍は、効果の閾値となる0から同程度の差となる利点がある。なお、ここで $\log$ （効果指標）の解釈について留意点を次に記す。効果指標は対象区との比である。よって効果指標が1、つまり $\log$ （効果指標）が0の場合は増殖効果がないと解釈するが、そのことは必ずしも海藻が生育しないことを意味しない。対照区および試験区において同等の花藻が繁茂する場合も $\log$ （効果指標）は0となる。勘違いし易い点であるので、注意が必要である。

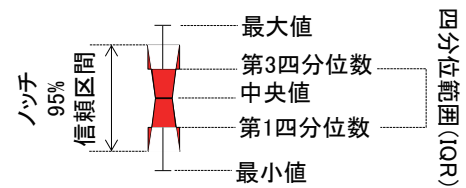
本検討では、箱髭図に中央値の95%信頼区間を示すノッチ（切り込み）を新たに表示し、効果の判定にノッチを考慮することとした（図-2.2(a), (b)）。95%信頼区間の場合のノッチの幅は次式で計算される。

$$\text{ノッチの幅} = \text{中央値} \pm 1.57 \times \text{四分位範囲} / n^{1/2} \quad (3)$$

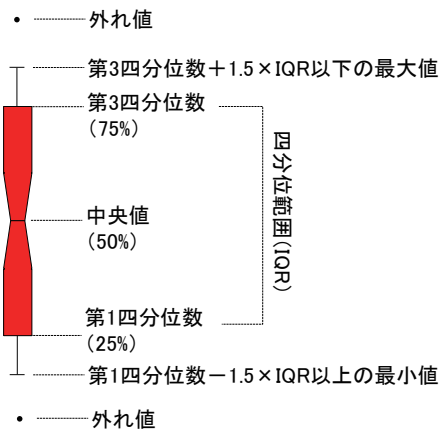
ここで、 n はサンプル数である。



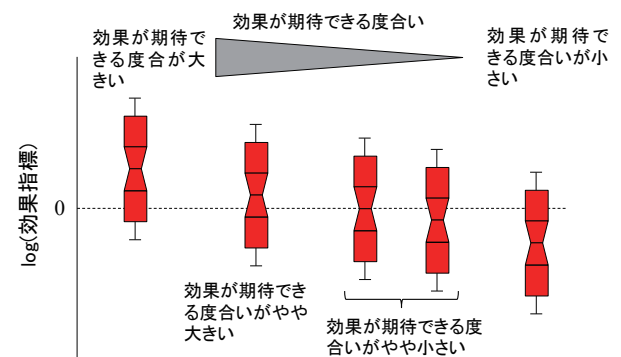
(a) 外れ値が無い場合



(b) ノッチが四分位範囲よりも大きい場合



(c) 外れ値がある場合



(d) ノッチを考慮した解釈

図-2.2 箱髭図の見方 (a) 外れ値が無い場合、(b) ノッチが四分位範囲よりも大きい場合、(c) 外れ値がある場合、(d) ノッチを考慮した解釈

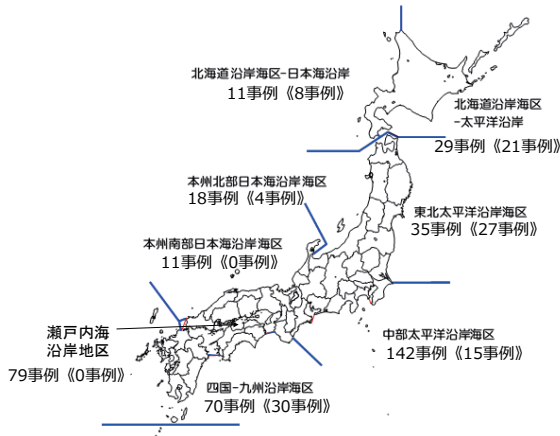


図-3.1 海域毎の事例数. 《》は令和4年度検討に用いた事例数を示す.

中央値が0より大きくかつノッチの下限が0より大きい場合を、効果が期待できる度合いが大きいとし、中央値が0より大きくかつノッチの下限が0以下の場合(95%信頼区間に0が含まれる場合)は、効果が期待できる度合いがやや大きいとした(図-2.2(d)). 中央値が0以下かつノッチの上限が0以上の場合(95%信頼区間に0が含まれる場合)は、効果が期待できる度合いはやや小さいとした. 中央値が0以下かつノッチの上限が0より小さい場合を、効果が期待できる度合いが小さいとした. なお、データ数が2個以下では、評価ができないためノッチを示していない. データ数が1個の場合はその値を、データ数が2個の場合は平均値を横線で示している.

2.4 環境指標

令和4年度検討では、海藻の成長の阻害要因(低透明度、細粒分の堆積、高波浪・流速、高水温)に対して、環境指標として、COD、類型指定、フェッチ(吹送距離)、年最高水温を用いた. これらの環境指標を用いて整理することは、各環境指標に対する増殖効果の違いを示すことができる長所があった一方で、それぞれの環境指標の範囲に該当するデータ数が少なく信頼度が劣る短所があった. そこで本検討では、環境指標に対する増殖効果に関して、生態学的な詳細さよりも実用性を重視することとした.

著者らがこれまでに参加した藻場の再生・創造の多くの現場では、“増殖を期待する海藻種は、周辺海域に生育している海藻を対象とすること”を基本としていた. この基本に従うと、対象とする海藻種は周辺海域に生育しているので、その対象海藻種に対してその海域の水質は概ね適していると見做すことができる. よって、

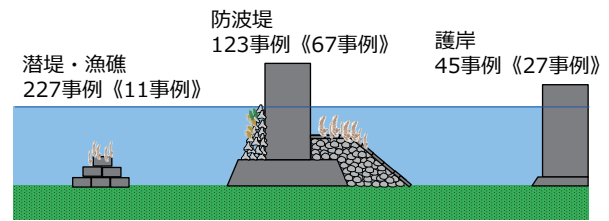


図-3.2 海藻の生育基盤の工夫が実施された構造物とそれぞれの事例数. 《》は令和4年度検討に用いた事例数を示す.

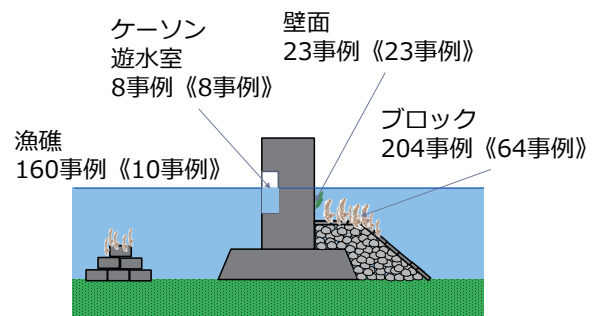


図-3.3 海藻の生育基盤の工夫が実施された箇所とそれぞれの事例数. 《》は令和4年度検討に用いた事例数を示す.

CODや類型指定、水温等の水質に関する環境指標は、影響が最も強い環境指標ではなく、影響が最も強い環境指標は、生息基盤の設置個所で大きく異なる可能性のある物理指標であると考えられる. そこで本検討では、代表的な物理指標として波浪条件を扱うこととした.

令和4年度検討では、波浪条件の代替指標として吹送距離を用いた. 本検討では、より実用性を考慮して区分を単純化し、各区分のデータ数を担保するため、次の3区分に分割することとした. ①港内、②閉鎖性内湾に位置する港の港外(港外(閉鎖性)), ③外洋に面した港の港外(港外(外洋))である. 波浪条件としては、①港内は波浪が弱い水域、②港外(閉鎖性)は波浪が中程度の水域、③港外(外洋)は波浪が強い水域となる.

3. 結果

3.1 報告書データの概要

(1) 実施海域

実施海域毎の内訳は、北海道沿岸海区-太平洋沿岸が29事例《令和4年度:21事例》(以下《》内は令和4年度検討の値を意味する)、北海道沿岸海区-日本海沿岸が11事例《8事例》、東北太平洋沿岸海区が35事例《27

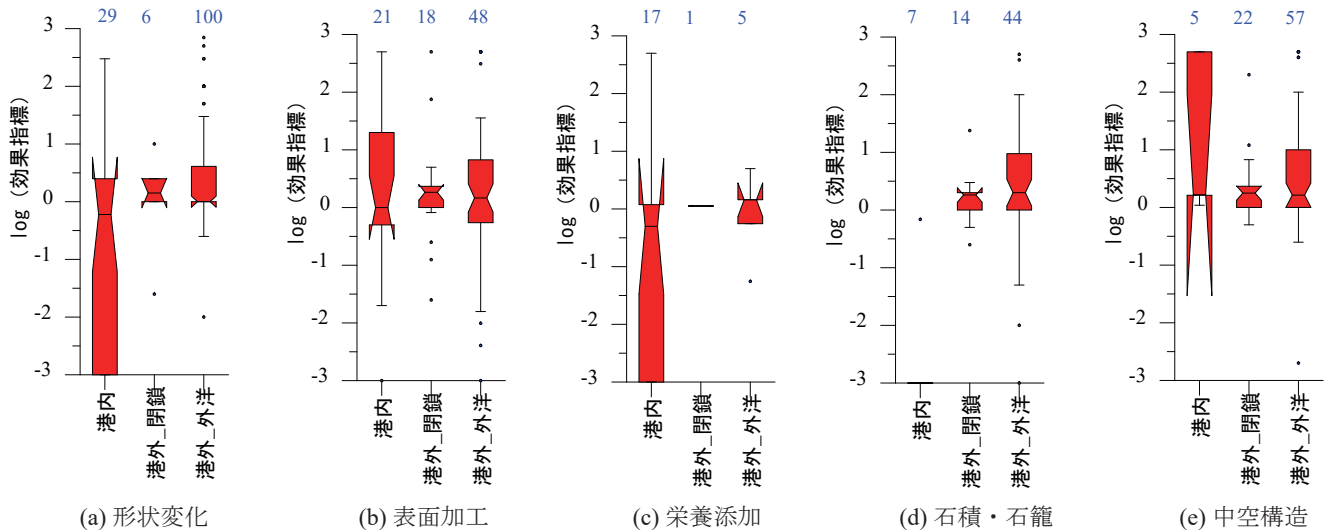


図-3.4 各水域区における海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果（海藻種および環境条件の区分無し）。図の上の数字はデータ数を示す。

事例》，本州北部日本海沿岸海区が18事例《4事例》，中部太平洋沿岸海区が142事例《15事例》，本州南部日本海沿岸海区が11事例《0事例》，瀬戸内海沿岸地区が79事例《0事例，18事例あったが四国・九州沿岸海区に含めた》，四国・九州沿岸海区では70事例《30事例》であった（図-3.1）。中部太平洋沿岸海区が大きく事例数が増えた。本州南部日本海沿岸海区は令和4年度には事例が無かったが，本検討では事例を追加することができた。

(2) 工夫が実施された構造物

生育基盤の工夫が実施された構造物は，護岸が45事例《27事例》，防波堤が123事例《67事例》，潜堤・漁礁が227事例《11事例》であった（図-3.2）。本検討では，令和4年度検討と較べて，潜堤・漁礁が大きく増加した。

(3) 工夫が実施された箇所

生育基盤の工夫が実施された箇所は，ブロックが204事例《64事例》，壁面が23事例《23事例》，スリット型ケーソン遊水室が8事例《8事例》，漁礁が160事例《10事例》であった（図-3.3）。漁礁が大きく増加していたのに対して，壁面およびスリット型ケーソン遊水室の事例の増加はなかった。

(4) 生育基盤の工夫のタイプ

生育基盤の工夫（大分類）は，形状変化が135事例《39事例》，表面加工が88事例《36事例》，栄養添加が23事例《13事例》，石積・石籠が65事例《17事例》，新たに加えた中空構造は84事例であった。形状変化の小分類である稜角は109事例《30事例》，柱状は19事例《4

事例》，空洞は7事例《5事例》であった。表面加工の小分類である凸凹加工は32事例《11事例》，溝加工は45事例《17事例》，粗面加工は11事例《8事例》であった。

(5) 海藻種

海藻種は，ホンダワラ類が85事例《17事例》，アラメ・カジメ類が59事例《17事例》，コンブ類が45事例《25事例》，ワカメ類が38事例《5事例》であった。海藻種を詳細に分類せずに大型海藻類や海藻全般とした事例はその他とし168事例《41事例》だった。

3.2 海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果

(1) 海藻種の区分無しの場合

全ての海藻種に対して，海藻の着生・成長を促す生育基盤の各工夫（形状変化，表面加工，栄養添加，石積・石籠，中空構造）の港内，港外（閉鎖性），港外（外洋）別の増殖効果を箱髭図で示す（図-3.4）。形状変化では，効果が期待できる度合いが大きい水域区分はなかった。表面加工では，効果が期待できる度合いが大きい水域区分は港外（閉鎖性）のみであった。栄養添加では，効果が期待できる度合いが大きい水域区分はなかった。石積・石籠では，効果が期待できる度合いが大きい水域区分は，港外（閉鎖性）および港外（外洋）であった。中空構造では，効果が期待できる度合いが大きい水域区分は，港外（閉鎖性）および港外（外洋）であった。

効果が期待できる度合いがやや大きい水域区分は，形状変化に対する港外（閉鎖性），表面加工に対する港外（外洋），栄養添加に対する港外（外洋），中空構造に対

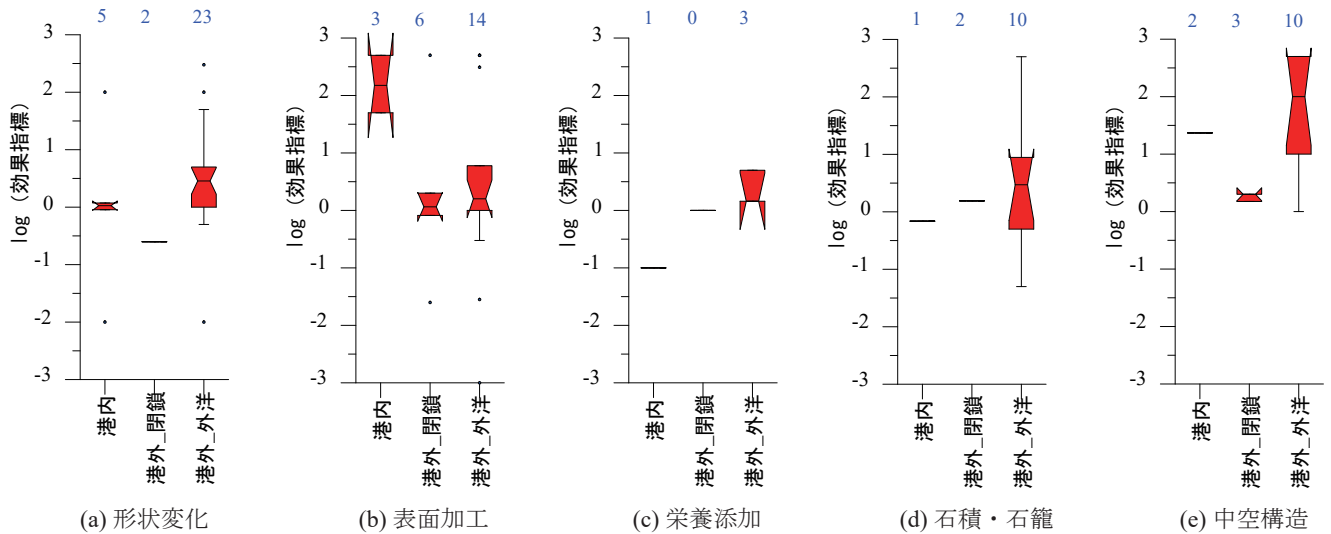


図-3.5 各水域区における海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果（ホンダワラ類）。図の上の数字はデータ数を示す。

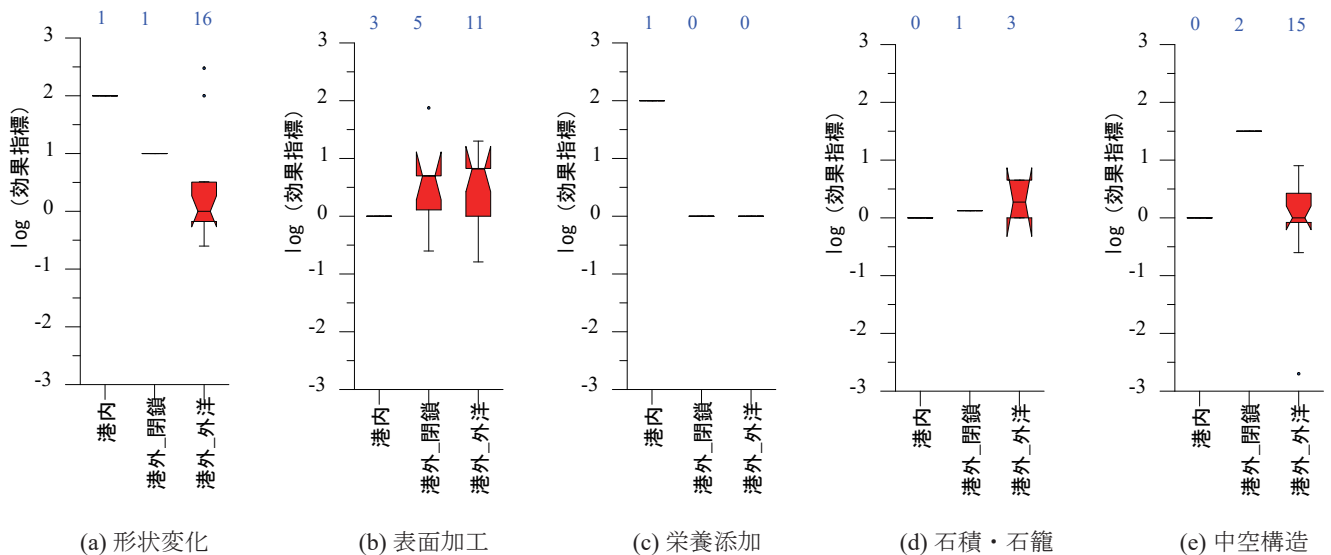


図-3.6 各水域区における海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果（アラメ・カジメ類）。図の上の数字はデータ数を示す。

する港内であった。

効果が期待できる度合いがやや小さい水域区は、形状変化に対する港内、表面加工に対する港内、栄養添加に対する港内であった。

石積・石籠に関して、港内は効果が期待できる度合いが小さい水域区分であった。

(2) 海藻種の区分有りの場合

a) ホンダワラ類

ホンダワラ類に対して、海藻の着生・成長を促す生育基盤の各工夫（形状変化、表面加工、栄養添加、石積・石籠、中空構造）の港内、港外（閉鎖性）、港外（外洋）

別の増殖効果を箱髭図で示す（図-3.5）。形状変化では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は港外（外洋）のみであった。表面加工では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は港内のみであった。栄養添加および石積・石籠では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は無かった。中空構造では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は港外（閉鎖性）および港外（外洋）であった。

効果が期待できる度合いがやや大きい水域区分は、形状変化に対する港内、表面加工に対する港外（閉鎖性）および港外（外洋）、栄養添加に対する港外（外洋）、石

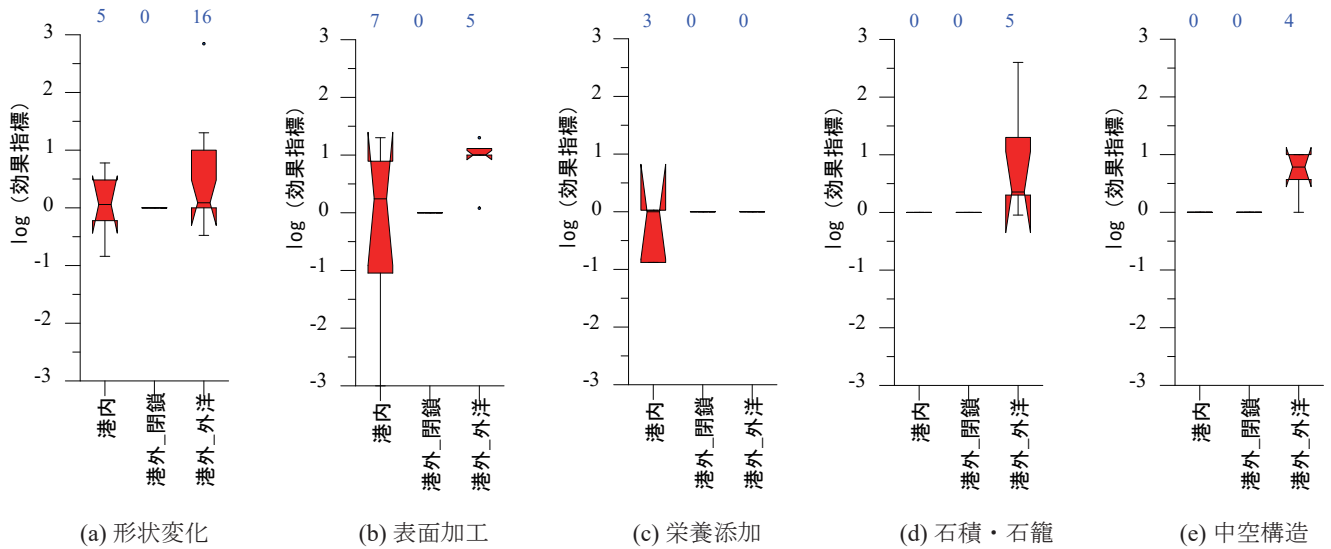


図-3.7 各水域区における海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果（コンブ類）。図の上の数字はデータ数を示す。

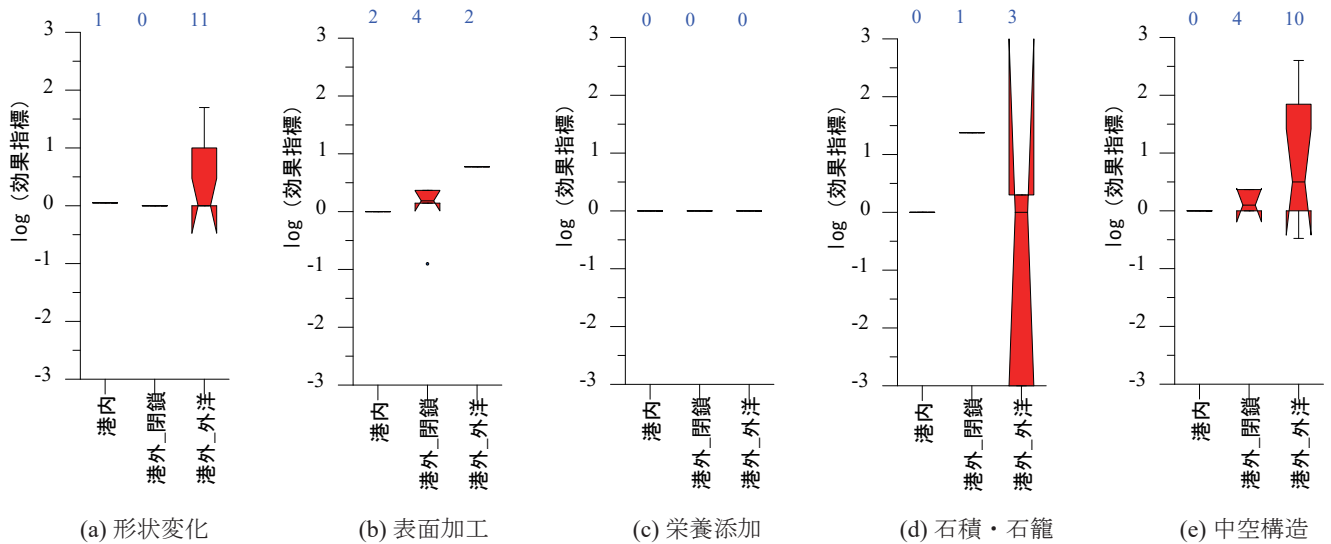


図-3.8 各水域区における海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果（ワカメ類）。図の上の数字はデータ数を示す。

積・石籠に対する港外（外洋）であった。

効果が期待できる度合いがやや小さい水域区分および効果が期待できる度合いが小さい水域区分は無かった。

b) アラメ・カジメ類

アラメ・カジメ類に対して、海藻の着生・成長を促す生育基盤の各工夫（形状変化、表面加工、栄養添加、石積・石籠、中空構造）の港内、港外（閉鎖性）、港外（外洋）別の増殖効果を箱髭図で示す（図-3.6）。形状変化では、効果が期待できる水域区分は無かった。表面加工では、効果が期待できる水域区分は港外（閉鎖性）および港外（外洋）であった。栄養添加、石積・石籠および中空構造では、効果が期待できる水域区分は無かった。

効果が期待できる度合いがやや大きい水域区分は、石

積・石籠に対する港外（外洋）のみであった。

効果が期待できる度合いがやや小さい水域区分は、形状変化に対する港外（外洋）のみであった。効果が期待できる度合いが小さい水域区分は無かった。

c) コンブ類

コンブ類に対して、海藻の着生・成長を促す生育基盤の各工夫（形状変化、表面加工、栄養添加、石積・石籠、中空構造）の港内、港外（閉鎖性）、港外（外洋）別の増殖効果を箱髭図で示す（図-3.7）。形状変化では、効果が期待できる水域区分は無かった。表面加工では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は港外（外洋）のみであった。栄養添加および石積・石籠では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は無かった。中空構

造では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は港外（外洋）のみであった。

効果が期待できる度合いがやや大きい水域区分は、形状変化に対する港内および港外（外洋）、表面加工に対する港内、石積・石籠に対する港外（外洋）であった。

効果が期待できる度合いがやや小さい水域区分は、栄養添加に対する港内のみであった。効果が期待できる度合いが小さい水域区分は無かった。

d) ワカメ類

ワカメ類に対して、海藻の生育基盤の各工夫（形状変

化、表面加工、栄養添加、石積・石籠、中空構造）の港内、港外（閉鎖性）、港外（外洋）別の増殖効果を箱髭図で示す（図-3.8）。形状変化では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は無かった。表面加工では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は港外（閉鎖性）のみであった。栄養添加、石積・石籠および中空構造では、効果が期待できる度合いが大きい水域区分は無かった。

効果が期待できる度合いがやや大きい水域区分は、中空構造に対する港外（閉鎖性）および港外（外洋）であった。

表-3.1 海藻種で整理した海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果の期待度。○印は効果が期待できる度合いが大きいケースを示し、△印は効果が期待できる度合いがやや大きいケースを示す。－印は効果が期待できる度合いがやや小さいケースを示す。無印はデータが2個以下のケースを示す。

海藻種	水域区分	形状変化	表面加工	栄養添加	石積・石籠	中空構造
ホンダワラ類	港内	△	○			
	港外（閉鎖性）		△			○
	港外（外洋）	○	△	△	△	○
アラメ・カジメ類	港内		－			
	港外（閉鎖性）		○			
	港外（外洋）	－	○		△	－
コンブ類	港内	△	△	－		
	港外（閉鎖性）					
	港外（外洋）	△	○		△	○
ワカメ類	港内					
	港外（閉鎖性）		○			△
	港外（外洋）	－			－	△

表-3.2 水域区分で整理した海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫の効果の期待度。○印は効果が期待できる度合いが大きいケースを示し、△印は効果が期待できる度合いがやや大きいケースを示す。－印は効果が期待できる度合いがやや小さいケースを示す。無印はデータが2個以下のケースを示す。

水域区分	海藻種	形状変化	表面加工	栄養添加	石積・石籠	中空構造
港内	ホンダワラ類	△	○			
	アラメ・カジメ類		－			
	コンブ類	△	△	－		
	ワカメ類					
港外（閉鎖性）	ホンダワラ類		△			○
	アラメ・カジメ類		○			
	コンブ類					
	ワカメ類		○			△
港外（外洋）	ホンダワラ類	○	△	△	△	○
	アラメ・カジメ類	－	○		△	－
	コンブ類	△	○		△	○
	ワカメ類	－			－	△

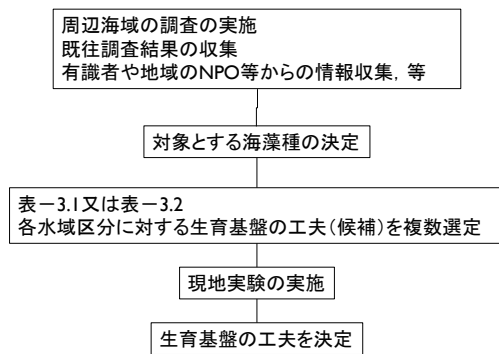


図-3.9 生育基盤の工夫の決定フロー

効果が期待できる度合いがやや小さい水域区分は、形状変化および石積・石籠に対する港外（外洋）であった。効果が期待できる度合いが小さい水域区分は無かった。

(3) 生育基盤の工夫の効果の整理

表-3.1は図-3.5から図-3.8の結果を海藻種毎に整理した表である。表中の○印は効果が期待できる度合いが大きいケースを示し、△印は効果が期待できる度合いがやや大きいケースを示す。－印は効果が期待できる度合いがやや小さいケースを示す。各海藻種に対して効果が期待できる度合いが小さいケースは無かった。無印はデータが2個以下のケースを示し、効果に対して評価ができない。3.(2)で述べた様に、効果指標はあくまでも対照区との比を示すものであり、海藻が繁茂しても対照区と同等ならばlog（効果指標）は0であることに注意が必要である。

これらのことおよび図-2.2で示す効果が期待できる度合いを踏まえると、実海域において生育基盤の工夫は、○印、△印の順番で選定するのが妥当であると考えられる。

表-3.1の見方の例として、対象種がアラメ・カジメ類の場合を、生育基盤の工夫の決定のフロー（図-3.9）を用いて示す。本フローは本検討結果を使う場合を想定して新たに提案するものである。

まず、周辺海域の調査実施、既往調査結果の収集、又は有識者や地域のNPO等からの情報収集等に基づいて周辺に生育している海藻種を明らかにし、その海藻種の中から増殖対象とする海藻種を決定する。次に、表-3.1を用いて、生育基盤の工夫の候補を複数選定する。対象種がアラメ・カジメ類の場合、選定する優先度が高い生育基盤の工夫は、○印の港外（閉鎖性）および港外（外洋）における表面加工となる。次の候補は、△印の港外（外洋）における石積・石籠となる。その次の候補はそれら以外となる。

候補選定後に、生育基盤の工夫（候補）に対して現地

実験を実施する。現地実験の結果から、生育基盤の工夫を決定する。決定に際しては、一つの工夫に限定するより、複数の工夫を採用した方が、生育基盤の多様性を形成でき、生物多様性の観点で有効である。また、環境変動に対する持続性の観点でも、複数の生育基盤があった方が持続可能性が高いと考える。

表-3.2は図-3.5から図-3.8の結果を適用水域区分毎に整理した表である。表中の凡例は表-3.1と同じである。表-3.1と同じ内容を、海藻種ベースから適用水域ベースに変えたものである。藻場の造成を検討する際には、あらかじめ適用水域が限定されている場合もあることから、本検討では水域区分ベースも参考として示している。

表-3.2の見方として、対象とする水域区分が港外（外洋）の場合を示す。

周辺に生育する海藻の情報から対象種がホンダワラ類の場合、選定する優先度が高い生育基盤の工夫は、○印の形状変化および中空構造となる。次に、△印の表面加工、栄養添加および石積・石籠となる。対象種がアラメ・カジメ類の場合、選定する優先度が高い生育基盤の工夫は、○印の表面加工となる。次に、△印の石積・石籠となる。対象種がコンブ類の場合、選定する優先度が高い生育基盤の工夫は、○印の表面加工および中空構造となる。次に、△印の形状変化および石積・石籠となる。対象種がワカメ類の場合、選定する優先度が高い生育基盤の工夫は、△印の中空構造となる。

4. おわりに

海藻の着生・成長を促す生育基盤の工夫に関する全国395事例の調査結果を用いて、環境条件として波浪に着目し、適用水域を港内、閉鎖性内湾に位置する港の港外（港外（閉鎖性））、外海に面した港の港外（港外（外洋））に区分して、海藻種毎の生育基盤の種々の工夫の効果がどの程度期待できるかを示した。

周辺海域に生育している海藻種から決定された対象種に対して、工夫の効果の期待の度合いを示した表を用いることで、水域の区分に応じて海藻の増殖効果の期待の度合いが大きい生育基盤の工夫を選ぶことができる。本検討結果は、実際の現場において海藻の生育基盤の工夫を選定する目安として位置付けるのが適切であり、実海域においては選定された工夫を中心として、適用実験を実施する必要がある。

本検討では、海藻種や工夫の違いで効果の差異が現れている理由に関する海藻の生態面からの考察には至って

いない。今後、海藻の生活史などの特性を踏まえた検討が課題である。

(2024 年 8 月 27 日受付)

謝辞

本資料を取りまとめるにあたり、**解析に用いた報告書(表 -A. 1)** に示す多くの機関から報告書のご提供を頂いた。記して御礼を申し上げる。

参考文献

荒川久幸, 松生 洽 (1992) : 褐藻類ワカメ・カジメ遊走子の着生と成長, 生残および成熟に及ぼす海底堆積粒子の影響, 日本水産学会誌, 58(4), 619-625.

今井利為, 新井章吾 (1986) : アカウニの食性と摂餌量について, 水産増殖, 34(3), 157-166.

小野寺理恵, 櫻井 泉 (2018) : 北海道寿都町沿岸におけるクボガイ *Chlorostoma lischkei* の分布, 生殖周期および食性, 日本水産学会誌, 84(1), 54-64.

金田友紀, 櫻井 泉, 山内茂樹, 神田謙治, 今村伸之 (2006) : ホンダワラ幼胚の食害と減耗防止技術開発, 平成 18 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 91-94.

川井唯史, 岡 直宏, 平岡雅規, 中明幸広 (2003) : ホソメコンブ配偶体の生長に及ぼす硝酸塩の影響, 水産工学, 41(1), 35-38.

川崎保夫, 山田貞夫 (1991) : 海中砂漠緑化技術の開発 第 5 報 アラメ, カジメ, クロメの配偶体および幼孢子体に対する成長限界光量と浮泥堆積量, 電力中央研究所報告, U91034.

国土交通省港湾局 (2014) : 生物共生型港湾構造物の整備・

維持管理に関するガイドライン, <https://www.mlit.go.jp/common/001048849.pdf>.

斎藤雄之助, 中村中六 (1961) : ワカメの害敵としてのアメフラシの生態に関する研究 -I, 日本水産学会誌, 27(5), 395-400.

水産庁 (2021) : 第 3 版 磯焼け対策ガイドライン, 水産庁.

代田昭彦 (1995) : 藻場の環境浄化機能, 日本水産工学会学術講演会学術講演論文集, 167-172.

二村和規, 高瀬 進, 畠本淳司 (2007) : カジメ *Ecklonia cava* 孢子体の生長に及ぼす連続暗条件の影響, 水産増殖, 55(1), 23-27.

野田幹雄, 北山和仁, 新井章吾 (2002) : 響灘蓋井島の秋季と春季における成魚期のアイゴの食性, 日本水産工学会誌, 39(1), 5-13.

堀 正和, 桑江朝比呂 (2017) : ブルーカーボンー浅海域における CO2 隔離・貯留とその活用ー, 地人書館, 245p.

増田博幸, 角田利晴, 林 義次, 西尾四良, 水井 悠, 堀内俊助, 中山恭彦 (2000) : 藻食性魚類アイゴの食害による造成藻場の衰退, 日本水産工学会誌, 37(2), 135-142.

水田浩之, 鳴海日出人, 山本弘敏 (2001) : ホソメコンブ配偶体の生長・成熟に及ぼす窒素・リンの影響, 水産増殖, 49(2), 175-180.

山内 信, 木村 創, 高橋芳明, 野田幹雄 (2009) : アイゴの摂食行動に及ぼすクロメ密度の影響について, 水産増殖, 57(3), 429-435.

山川 紘, 林 育夫 (2004) : 新潟県粟島におけるサザエの消化管内容物と海藻植生の関係, 水産増殖, 52(1), 57-63.

解析に用いた報告書

表-A.1 解析対象データとして用いた報告書. 数年に渡る継続調査の場合, 関連する調査の最終年度の報告書のみを掲載.

報告書 No	発注機関	報告書名 (最終年度)
1	北海道開発局釧路開発建設部	令和3年度 釧路港水質・流況その他調査業務報告書
2	北海道開発局室蘭開発建設部浦賀港湾事務所	平成17年度 浦河港藻場追跡調査業務報告書
3	北海道開発局室蘭開発建設部室蘭港湾事務所	平成21年度 登別漁港環境調査業務報告書
4	北海道開発局留萌開発建設部留萌港湾事務所	平成21年度 雄冬漁港海域生態調査業務報告書
5	北海道開発局留萌開発建設部留萌港湾事務所	平成24年度 留萌管内海域生態調査業務報告書
6	北海道開発局小樽開発建設部	令和3年度 小樽開発建設部管内海域環境創出効果検証業務報告書
7	北海道開発局函館開発建設部松前港湾建設事務所	平成11年度 松前港外2港海域生態調査(松前港編)報告書
8	北海道開発局函館開発建設部江差港湾事務所	令和2年度 久遠漁港磯焼け対策調査検討業務報告書
9	東北地方整備局秋田港湾事務所	平成22年度 秋田港港内長周期波観測外調査報告書
10	東北地方整備局釜石港湾事務所	平成26年度 粘り強い構造を導入した防波堤における環境共生検討業務報告書
11	関東地方整備局東京湾口航路事務所	平成20年度 東京湾口航路環境調査報告書
12	関東地方整備局千葉港湾事務所	平成24年度 東京湾藻礁石材モニタリング調査報告書
13	中部地方整備局清水港湾工事事務所	平成14年度 御前崎港藻場造成検証調査報告書
14	中部地方整備局名古屋港湾事務所	令和3年度 名古屋港浚渫土活用検討業務報告書
15	近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所	平成20年度 護岸への環境機能付加に関する技術検討調査報告書
16	四国地方整備局高知港湾・空港整備事務所	平成24年度 須崎港湾口地区藻場造成検討調査報告書
17	四国地方整備局	令和3年度 四国における生物共生を考慮した港湾整備手法検討業務報告書
18	九州地方整備局下関港湾事務所	平成30年度 関門航路(西側)土砂処分場水生生物環境調査報告書
19	九州地方整備局下関港湾事務所	令和3年度 下関港(新港地区)水生生物環境調査報告書
20	九州地方整備局北九州港湾・空港整備事務所	平成28年度 新門司沖生態系調査報告書
21	北海道宗谷総合振興局	平成29年度 日本海宗谷地区白浜増殖場生物調査委託業務報告書
22	秋田県秋田地域振興局農林部	平成28年度 戸賀漁場地区水産環境整備業務委託報告書
23	秋田県由利地域振興局農林部	令和元年度 秋田県(小砂川漁場)水産環境整備業務委託報告書
24	秋田県由利地域振興局農林部	平成28年度 秋田県(金浦漁場、平沢漁場)水産環境整備業務委託報告書
25	秋田県由利地域振興局農林部	平成23年度 金浦漁港地域水産物供給基盤整備事業業務委託
26	秋田県山本地域振興局農林部	平成28年度 秋田県(岩館小入川漁場)水産環境整備業務委託報告書
27	秋田県山本地域振興局農林部	平成29年度 八森漁場水産環境整備業務委託報告書
28	福島県いわき建設事務所	平成17年度 海岸生物環境調査業務委託(高潮対策費)報告書

29	茨城県農林水産部水産振興課	令和3年度 水産環境整備事業（茨城地区）環境生物調査業務報告書
30	静岡県産業部水産局水産振興室	平成21年度 地先型増殖場造成事業に伴う藻場調査業務委託報告書
31	静岡県経済産業部水産局水産振興課	平成22年度 南伊豆地区沿岸漁場整備実証事業に伴う田牛磯焼け調査業務委託報告書
32	三重県伊勢農林水産事務所	平成24年度 度会工区県単水域環境保全創造事業調査業務委託報告書
33	三重県伊勢農林水産事務所	平成25年度 三重保全二期地区甲賀工区水域環境保全創造事業調査業務委託報告書
34	三重県伊勢農林水産事務所	令和3年度 三重保全二期地区海女漁業等環境基盤整備事業磯焼け対策調査業務委託報告書
35	三重県伊勢農林水産事務所	令和3年度 三重保全二期地区海女漁業等環境基盤整備事業磯焼け対策調査業務委託報告書
36	三重県尾鷲農林水産商工環境事務所	平成20年度 熊野地区熊野工区海域現地調査業務委託報告書
37	三重県尾鷲農林水産商工環境事務所	平成23年度 引本地区県単沿岸漁場整備事業調査業務委託報告書
38	三重県尾鷲農林水産商工環境事務所	平成23年度 三重漁場地区紀北工区県営広域漁場整備事業調査業務委託報告書
39	三重県伊勢農林水産商工環境事務所	平成23年度 三重保全地区錦工区錦地区磯焼け対策調査報告書
40	三重県尾鷲農林水産商工環境事務所	平成24年度 紀北工区県単沿岸漁場整備事業調査業務委託報告書
41	三重県伊勢農林水産商工環境事務所	平成23年度 三重保全地区度会工区磯焼け対策調査業務委託報告書
42	三重県伊勢農林水産商工環境事務所	平成24年度 鰐湾地区県単水域環境保全創造事業度会工区調査業務委託報告書
43	三重県尾鷲農林水産商工環境事務所	令和3年度 東紀州海域海女漁業等環境基盤整備事業磯焼け対策調査業務委託報告書
44	福井県嶺南振興局水産漁港課	令和2年度 水産環境整備事業調査業務委託その1報告書
45	大阪府環境農林水産部水産課	平成17年度 りんくう地区外 広域型増殖場造成事業等調査委託報告書
46	大阪府環境農林水産部水産課	平成19年度 深日漁港自然調和型事業効果調査委託報告書
47	兵庫県淡路県民局洲本農林水産振興事務所	平成15年度 丸山漁港（サブポート）モニタリング調査業務報告書
48	兵庫県淡路県民局洲本農林水産振興事務所	平成16年度 丸山漁港自然調査型漁港づくりモニタリング調査報告書
49	神戸市みなと総局	平成30年度 神戸空港護岸部生物調査業務報告書
50	島根県浜田水産事務所	平成17年度 広域漁港整備事業浜田漁港自然調和型モニタリング調査業務報告書

51	香川県農政水産部水産課	令和3年度 塩飽地区佐柳工区増殖場モニタリング調査委託業務報告書
52	長崎県諫早土木事務所河港課	平成17年度 有喜地区広域漁港整備工事（有喜漁港追跡調査委託）報告書
53	長崎県長崎土木事務所	平成19年度 野母南海岸環境調査業務報告書
54	長崎県壱岐地方局建設課	平成19年度 大島地区広域漁港整備工事（自然環境事後調査委託）報告書
55	長崎県県央振興局河港課	平成24年度 有喜漁港生産基盤整備工事（藻場生育状況調査業務委託）報告書
56	長崎県水産部漁港漁場課	平成27年度 九十九島地区増殖場整備工事（効果調査業務委託）報告書
57	長崎県水産部漁港漁場課	平成27年度 下五島地区増殖場整備工事（効果調査業務委託）報告書
58	大分県農林水産部水産振興課	平成24年度 水産環境整備事業南海部地区蒲江南部漁場みごの浦工区モニタリング調査報告書
59	大分県農林水産部水産振興課	平成30年度 ヒジキ増殖場効果調査委託報告書

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1295 October 2024

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

