



久遠漁港における藻場機能の回復の効果検証と 施設の維持管理について

—背後小段での潜堤構造の効果検証・施設の維持管理—

函館開発建設部 江差港湾事務所 工務課 ○小杉 海
坂下 勲
日本データサービス株式会社 小野 雄

久遠漁港周辺海域は、磯焼け現象の進行に伴い藻場の消失が著しく、沿岸漁業へ大きな影響をもたらしている。この課題に対し、南防波堤・南護岸に越波対策を図るとともに藻場創出機能を確保するため背後小段を備えた潜堤構造を取り入れ、令和3年度に施設が概成した。本報では、藻場モニタリングの経年変化状況と2地点の流速観測結果から数値解析的手法を用いて通年の小段全体の流動について評価し、整備効果および藻場を継続的に形成させるために実施する維持管理手法について報告する。

キーワード：再生・回復、磯焼け、潜堤、背後小段、流動環境、磯焼け対策、維持管理

1. はじめに

久遠漁港周辺海域では、昭和33年頃から磯焼け現象が進行し平成25年までの間に約8割の藻場が減少している(北海道立水産試験場, 1992)¹⁾。その結果、重要な沿岸漁業資源であるウニ・アワビは餌料不足をきたし、藻場を棲み場とする多数の魚類が来遊しなくなるなど、沿岸漁業へ大きな影響を与えている。

このような状況を踏まえ、平成26年5月に「久遠地区磯焼け対策緊急整備事業計画書」を策定し、越波対策として実施予定であった南防波堤(改良)および南護岸(改良)を、藻場造成機能を有した構造へ変更し、令和3年度までに潜堤延長L=175m(背後小段約100m)の整備を実施した。久遠漁港周辺海域では事前の調査から、ウニの分布密度が高く、透過波高を低減する「潜堤」と流動を促進する「背後小段」の整備により、コンブの初期生長期である1~3月を含む秋季から春季のウニによる摂餌圧を減少させ、幼芽の生き残りを高め、藻場を持続的に形成させる構造である。また、当海域における磯焼けの要因として挙げられる高水温・貧栄養、母藻(コンブ)不足による胞子供給量の減少に対するソフト対策を、平成26年11月から導入し、その後ソフト対策とモニタリング調査を実施してきている。

本施設は平成26年度の整備着手から10年が経過し、コンブ・ワカメの発芽・繁茂が11サイクル目を迎えている。

高水温・貧栄養の海況では、ウニの摂餌圧を排除しただけではコンブ群落は形成できず、コンブの生育には一定量の栄養塩が必要である。高水温・貧栄養の海況で海

藻類を生育させるためには、ウニの摂餌行動を抑制、および生育に必要な栄養塩を供給できる流動環境は極めて重要な因子と考えられる。そのため、潜水技師による観察結果で植生やウニ生息密度が異なり、海藻の生育環境に違いがあると推察される小段の北西部と南東部の2地点で流速観測を行い、小段上の流動環境を把握した。

本報告では藻場モニタリングの経年変化の状況と現地流速観測結果を用い、数値解析的手法により年間を通した小段全体の流動環境を評価し、ウニの摂餌圧抑制、藻場形成の持続性などについて確認するとともに、施設に隣接したアワビの漁場への影響など二重堤の整備効果を検証するものである。

加えて、藻場創出機能を付加したハード対策とともに、母藻確保(ソフト対策)など漁業者自らが主体となって藻場の回復を計画・実行できるよう技術開発データの蓄積ができた。そこで、植生遷移や環境変化などに対応した対策をとりまとめ、継続的に藻場が形成できるよう維持管理の技術を指針となるようとりまとめた。

2. 久遠漁港周辺海域における磯焼けとその対策

2.1 久遠漁港周辺海域における磯焼けのしくみ

磯焼け現象の原因としくみを明らかにするためには、磯焼け初期段階で消失するコンブ・ワカメなどの大形褐藻が、生育要因(水温・栄養塩・流動など)の変化によって衰退するしくみを明確にすることが重要である。

久遠漁港の沿岸域を含む北海道日本海沿岸のホソメコンブの生育地帯では、対馬暖流の強勢化(吾妻, 1997)²⁾

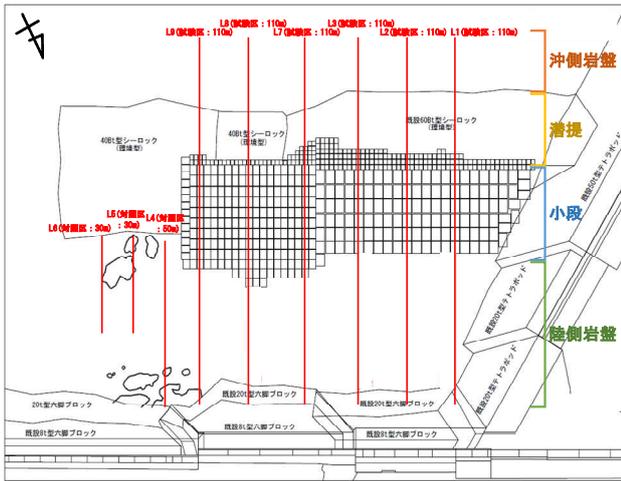


図3.1 藻場モニタリング調査位置

3.2 現地波浪観測および解析手法

ウニの摂餌行動に最も影響を与える外力は、流速振幅である。そこで、流速とウニの摂餌行動を定量的に把握するために、現地に流速計を設置し観測を行い、流速振幅を算定した。

1) 現地波浪観測

設置箇所は波浪の影響を受けるため、架台に流速計を取付けアンカーボルトで固定し、耐波性能を高めて現地に設置した(図 3.2)。設置期間は海藻類の初期生長期を含む令和 3 年 10~令和 4 年 2 月までの約 5 ヶ月間の連続観測を行った。観測は水塊が停滞しているとみられる北西部 (St. A) と、調査結果から摂餌圧が抑制されているとみられる南東部 (St. B) の 2 地点で行った。また、観測機器の設定は観測間隔 60 分、観測時間 20 分 (サンプリング間隔 0.5 秒) とした。

2) 最大底面軌道流速振幅

2 地点で観測した流況調査結果から摂餌が減少する 25cm/s 以上の流速頻度は、各地点で高いことが確認されていた。そこで、本報告では、2 地点で観測した結果から数値解析的手法を用いて年間を通じた小段全体の流速観測について評価した。

ウニは瞬時的に生じる流れに対しても敏感に反応して生息に影響を及ぼすことから、小段上の流動環境を評価する際に用いる流速は、潜堤を通過した波による岸沖方向の軌道振幅流速の最大振幅の水平方向成分 (理論値) を採用する (以下、底面軌道流速と称す)。底面軌道流速は背後小段の天端上 (水深 1.5m) で観測した有義波高から微小振幅理論により導出した。

また、久遠漁港から対象施設までの波高分布は、水深変化や屈折・回折、反射および砕波を考慮できる「ビジネス方程式」を基本式としたモデルを用いて計算した。



図3.2 流速観測機器の形状・設置位置

4. 効果の検証

4.1 整備された二重堤の越波対策施設としての効果

檜山漁業協同組合大成支所への聞き取りによると、二重堤の施工後は大型低気圧の来襲時においても南護岸への越波被害は確認されず、対策施設整備により越波防止が図られている。

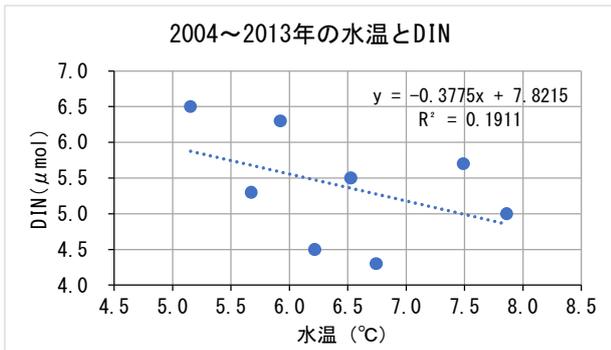
4.2 背後小段上における海藻の生長

海藻は窒素やリンなどの栄養塩を葉体から吸収して生長する。貧栄養の海況では海水中の栄養塩濃度が非常に低いため、新鮮な海水が十分に葉体に供給されなくなると、栄養塩不足となり生長が制限される。

川俣 (2004)⁹⁾は振動流中におけるアラム幼胞子体の生長を測定し、その純同化率 (単位時間当たり単位葉面積当たりの葉重量の増加) が栄養塩 (硝酸塩 $[NO_3^-]$) 濃度と流速 (U) との積 (栄養塩フラックス) の増加に伴って増加することを示している。したがって、栄養塩濃度が同じであれば、流速が大きいほど海藻の生長は良い。

図 4.1 は、2004~2013 年 2 月に茂津多岬西方の対馬暖流域において、測定された溶存態無機窒素濃度 (DIN) の値 (栗林ら, 2014)¹⁰⁾および同年 2 月のせたな町大成水産種苗育成センターで観測された水温を用いて、水温と DIN の関係式を算出して示したものである。また、表 1 は、その関係式、水温、流速振幅から小段上における DIN フラックスを推定して示したものである。さらに、図 4.2 は、川俣(2004)⁹⁾のアラム生長係数の式に推定した DIN フラックスを代入し生長係数を算出した結果を示したものである。

図 4.1 から、水温が低いと栄養塩濃度が高い傾向 (負の相関) がみられる。また、図 4.2 から、DIN は $4.5 \mu\text{mol}$ 程度の濃度で小段上における生長係数は、アラムの最大生長係数 $3.58 \times 10^{-3} \text{g/day/cm}^2$ に近似した。このことから、初期生長期の小段天端 1.5m では十分に栄養塩が海藻に供給され、栄養塩濃度が生育阻害要因にならないものと推察される。



(栗林ら (2014) のDINおよび大成水産種育苗育成センターの水温 参照)

図 4.1 茂津多岬西方海域のDINと大成の水温の関係 (2004~2013年2月)

表 4.1 DIN フラックスと生長係数推定結果

DINフラックスと海藻生長係数		水温 °C	推定 DIN μmol	平均 流速振幅 cm/s	DIN フラックス cm/s · μmol	生長係数 × 10 ⁻³ g/day/cm ²
令和4年	1月 St. A	8.3	4.4	64	279.4	3.43
	St. B			73	318.7	3.45
2月	St. A	6.5	5.4	73	392.0	3.47
	St. B			82	440.3	3.48
令和5年	1月 St. A	8.3	4.7	53	248.5	3.41
	St. B			62	290.7	3.43
2月	St. A	7.4	5.0	41	206.1	3.38
	St. B			47	236.3	3.40
最大生長係数						3.58

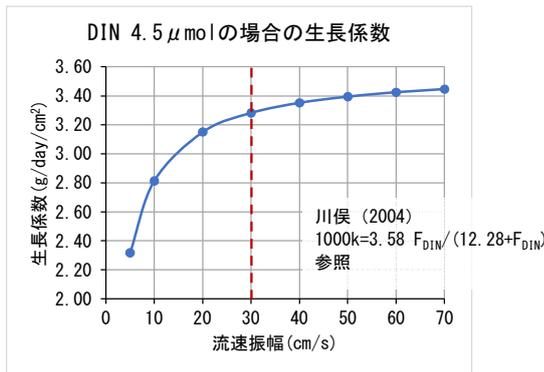


図 4.2 DIN 4.5 μmol の場合の生長係数

4.3 ウニ類の摂餌圧抑制効果

海藻類の初期生長期で背後小段と背後小段陸側の天然岩礁におけるウニ生息密度の推移を図 4.3 に示す。

背後小段とその陸側に位置する天然岩礁の水深が異なるため単純な比較はできないが、明らかに天然岩礁より背後小段においてウニ生息密度が低い傾向がみられる。また、海藻初期生長期の背後小段では海藻が生育しないとされる 4 個体/m² 以下 (沢田ら, 1981) ⁵⁾ に対し 1.5 個体/m² と極めて生息密度が低い。このことから、水深 1.5m の高天端の背後小段では、ウニの摂餌行動が抑制される流動環境になっているものと推察される。

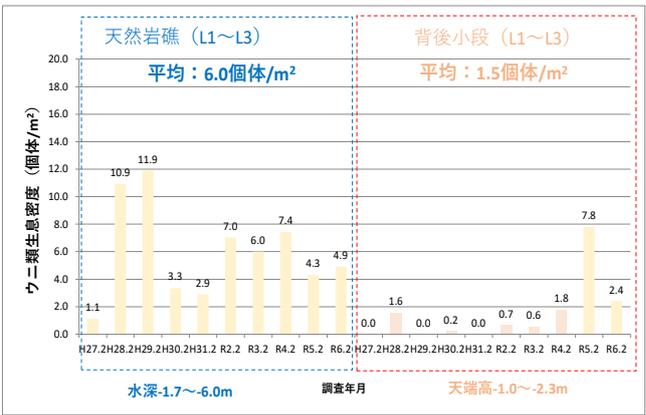


図 4.3 ウニ類生息密度の推移【2月海藻類初期生長期】

背後小段上のコンブ類に対する流動環境を評価する基準を表 4.2 に示す。また、潜堤背後小段における流速 25cm/s 未超過確率の分布範囲を季節別に図 4.4 に示す。

この結果をもとに、背後小段および潜堤上で、流速 25cm/s 未超過確率 40% 以下となった範囲について、背後小段および潜堤それぞれの施設全体に占める面積比として表 4.3 に整理した。

なお、藻場の形成には海藻類の初期生長期段階にあたる冬季から春季にかけてウニの摂餌圧を減少させることが重要である。このため、特に冬季と春季の流動環境について着目した。

背後小段においては冬季~春季にかけて、背後小段上では施設全体の 60% 以上、潜堤では施設全体に広がっており、ウニ類の摂餌行動が制限される海藻群落形成に有利な流動環境であると推定された。

以上の結果から、潜堤及び背後小段は、潜堤と東護岸間の天然岩礁や周辺海域と比較して、海藻初期生長段階において広範囲に流速の大きな環境が形成されており、幼芽がウニ類からの摂餌を免れ生き残り、藻場形成に有利な環境を構築していると考えられた。

表 4.2 ウニの食圧を受けない評価基準

ウニ類の食害に関する基準流速	25/cm/s
上記の発生頻度	累加出現率 (未超過確率) が30~40%以下

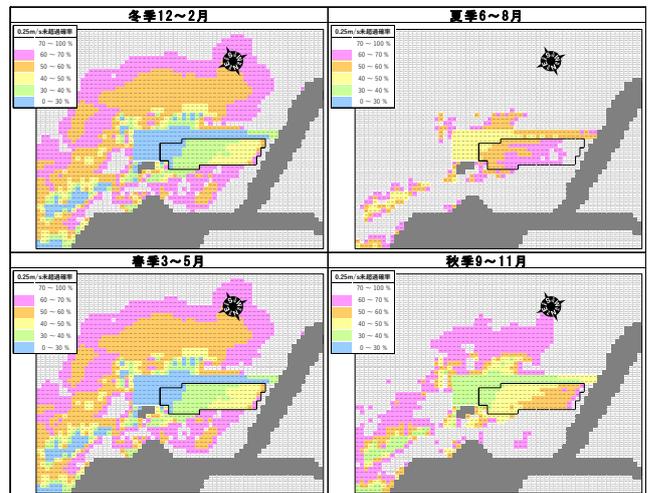


図 4.4 流速 25cm/s の未超過確率分布

表 4.3 藻場が形成される確率

	冬季	春季	夏季	秋季
背後小段	62%	62%	0%	13%
潜堤	100%	100%	0%	87%

※流速25cm/s未超過確率40%以下の施設全体面積に対する割合

4.4 藻場形成の持続性

高天端の背後小段上において、海藻繁茂期に藻場が継続的に形成されているかについて以下に評価する。

海藻類の繁茂期で背後小段と背後小段陸側の天然岩礁における大形植物現存量の推移を図4.5に、藻場の形成状況を写真4.1、写真4.2に示す。なお、大形海藻とは、藻場形成種であるホソメコンブとワカメの2種を示す。また、図中には、せたな町大成水産種育苗センター（北海道栽培漁業振興公社, 2016～2024）¹¹⁾で観測した、海藻初期生長期である1～3月の水温データをプロットした。

海藻繁茂期である7月の大形植物（平均現存量）について9年間の推移をみると、天然岩礁の521.2g/m²に対して、背後小段では5倍以上の2,703.1g/m²の現存量で、天然岩礁では生育がみられない年があっても、年変動はあるものの藻場が継続して形成されている。

二重堤施設の建設による流速振幅の増加は、栄養塩フラックスを増加させコンブ科の生産力を維持している。さらに、ウニ類の摂餌行動を抑制し、幼芽の生き残りを高めている。これにより、幼芽が生長して継続的な藻場形成に繋がっているものと評価できる。

なお、水温と海藻繁茂の関係については、冬季水温が低ければ植物現存量が高い傾向がみられる。



図 4.5 背後小段部における大形植物現存量



写真 4.1 コンブ藻場 (R3.7 撮影)



写真 4.2 ワカメ藻場 (R3.7 撮影)

4.5 整備された施設の活用

令和3年7月調査時に、背後小段ではアワビ漁が行われていた（写真4.3）。漁業協同組合への調査直後のヒアリングでは、他の海域は、磯焼け現象によって海藻がほとんど生育していないが、背後小段上には毎年海藻が確実に繁茂していることが示された。また、5月の背後小段上でのアワビ漁時には、エゾアワビが視認できないほどに海藻が繁茂していたことも示されている。

背後小段の被覆ブロックの溝部に蟄集するエゾアワビの生息状況を写真4.4に示す。エゾアワビはブロックの溝部に高密度（写真14個体）で生息し、タモ網などの漁具で採取がしやすく、天然岩礁の複雑な凹凸や狭い溝などがある基質より、漁獲効率が高いものと推察できる。

以上のことから、整備した背後小段上では継続して藻場が形成されていることにより、アワビ漁場が成立していると考えられる。



写真 4.3 小段アワビ漁 (R3.7 撮影)



写真 4.4 溝部アワビ (R4.10 撮影)

潜堤に隣接するアワビ島は、アワビの好漁場である（アワビ島の位置は図3.2参照）。令和3年度にアワビ島の沖合に潜堤を構成する消波ブロックが設置され、この影響により流動が変化し、アワビ島周辺での海藻の生育やエゾアワビの生息に影響が生じることが考えられた。しかし、現時点における藻場調査データからは、海藻の生育量やエゾアワビの現存量の変化は年変動の範囲と考えられ、施設整備による明確な影響はみられていない。施設完成後の状況など、今後の推移を把握し、生態への影響を継続して把握する必要がある。

なお、漁業者は天然岩礁のアワビ島でアワビの生息個体数が減少しても、背後小段が新たなアワビの好漁場として漁業生産に貢献する代替施設になると期待している。

5. 藻場形成の維持管理手法

高水温・貧栄養の海況に対抗する技術として、高天端としたことで小段上における栄養塩フラックスが増加して、最大生長係数に近似した生長が得られ、今後も栄養塩濃度が生育阻害要因とならないものと推察される。しかし、背後小段に形成される藻場は、今後基質の経年劣化や近年の水温上昇などの環境変化により藻場造成効果が維持できない場合も考えられる。具体的には、水温依存的に発現する無節サンゴモ、および経年的な植生遷移による藻場形成種の着生阻害、さらに水温上昇による植

食動物であるウニ類の摂餌行動の活発化、夏場の高水温により夏～秋に母藻の死亡率が高まり、遊走子の供給が少なくなることなど、機能の低下に至ることが想定される。これに対応するために本磯焼け対策では、藻場創出機能を付加したハード対策とともに、コンブ幼芽などに対して過剰な摂餌圧によって海藻の生産性が低くなるという悪循環のサイクルを断ち切るためのウニ密度管理、および遊走子の供給に対応した母藻ロープの施設（海中林）の設置など漁業者自らが主体となって藻場の回復を計画・実行できる技術開発を行ってきた。

得られたデータを基に、ウニ密度管理については「潜水除去」、「船上除去」、「カゴ採取」の除去効果の最大化と管理コストの確保等について検討した。また、母藻ロープについては日本海沿岸域での冬季風浪に対する耐波性能の確保とコンブを優占種とする維持管理手法について検討した。この結果をハード対策およびソフト対策の手法、効果の検証、および植生遷移や環境変化に対応した対策について継続的に藻場を形成させる技術指針としてとりまとめた。

指針に示した藻場分布状況については、国立研究開発法人 寒地土木研究所と共同研究した定量的な把握方法をもとにとりまとめたものである。写真 5.1 に示すホソメコンブは、技術改良を重ねた施設で優占的に着生して、1m 当たり 10kg の現存量であった。そこで、効果の持続性を確保するためには図 5.1 に示すように、簡易的なモニタリングや日々の施設観察から、対策の効果を検証してソフト対策（基質清掃、ウニ密度管理、母藻ロープ設置）を行使する維持管理が必要であるものとする。

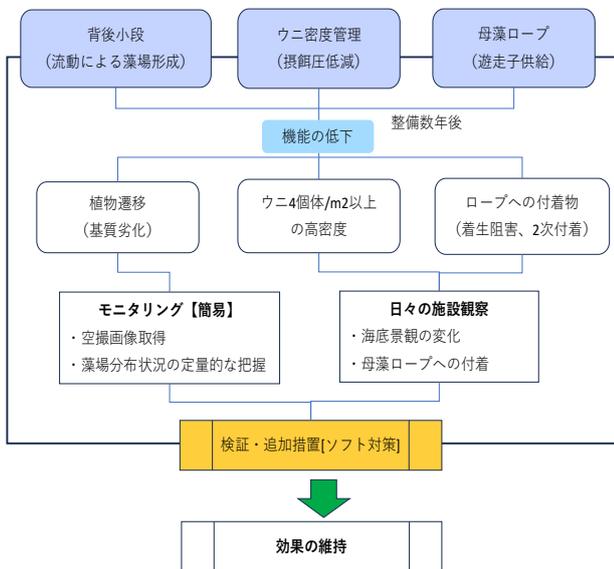


図 5.1 効果の持続性を確認するためのフロー

久遠漁港周辺海域と同様に、磯焼け現象を呈する海域では、環境変化を踏まえた本指針のソフト対策を継続して実施することにより、確実に藻場を継続して形成・拡大し、磯根資源を増やすことができるものとする。



写真 5.1 ホソメコンブの着生状況 (H27.6 撮影)

6. おわりに

高水温・貧栄養の海況を呈する海域で、本施設が藻場機能の回復に一定の効果があることが確認された。これにより、令和 4 年 3 月に閣議決定された「漁港漁場整備長期計画」の「養殖適地の拡大」、「カーボンニュートラルにむけた藻場の保全と創造」を推進することができるものとする。そこで、持続可能な藻場機能の管理・保持に向け、新たな事業効果として期待されるカーボンクレジットの活用などを検討していきたい。

持続可能な藻場機能の管理・保持に向けては、技術指針としてとりまとめたソフト対策を環境変化などを踏まえ継続して実施する必要がある。

【参考文献】

- 1) 北海道立水産試験場(1992)：北海道南西部大成町の磯焼け。研究報告38号
- 2) 吾妻行雄(1997)：キタムラサキウニの個体群動態に関する生態学的研究。北水試研報, 51, 1-66
- 3) 谷口和也(1991)：CO₂気候変化と増・養殖業への影響-藻類、農業および園芸, 66, 215-220
- 4) 吉田吾郎・新村陽子・樽谷賢治・浜口昌巳(2011)：海藻類の一次生産と栄養塩の関係に関する研究レビュー。水産総合センター研究報告, 34号, 1-31
- 5) 菊地省吾・浮永久(1981)：藻場・海中林の水産上の効用。藻場・海中林, 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, pp. 2-9.
- 6) 沢田満, 三木文興, 足助光久(1981)：コンブ藻場, 日本水産学会編, 藻場・海中林, 恒星社厚生閣, pp. 130-141
- 7) 川俣 茂(2001)：北日本沿岸におけるウニおよびアワビの摂食に及ぼす波浪の影響とその評価, 水研センター研報, 第1号, pp. 59-107.
- 8) 竹田義則・坪田幸雄・永田晋一郎・袖野宏樹(1999)：自然環境調和型構造物における藻場の流速とウニの食害に関する研究。海岸工学論文集, 第46巻, pp. 1221-1225
- 9) 川俣(2004)：振動流中におけるアラメ幼胞子体の成長速度, 平成16年度日本水産工学会学術講演会講演要旨集, 25-28
- 10) 栗林 貴範・阿部 剛史・門谷 茂(2014)：北海道日本海沿岸における栄養塩濃度の長期トレンドと海藻藻場。沿岸海洋研究 第52巻, 第1号, pp75-8.
- 11) 北海道栽培漁業振興公社(2016~2024)：北海道沿岸漁場海状観測取りまとめ