

雄冬漁港島防波堤背後小段における藻場造成機能の評価について(中間報告)

留萌開発建設部 留萌港湾事務所 第2工務課 ○東館 雅樹
川村 求
海津 博行

雄冬漁港では、防波堤背後に小段を設け、生物生息環境の創造を目的とした自然調和型の島防波堤を整備し、平成21年度に完成した。

背後小段にはウニの摂餌行動抑制とコンブ胞子の着生効率向上を目的とした機能を付加させており、本機能の効果に関する評価が必要である。また、今後同様の整備を計画する上でも知見の蓄積が重要であることから、現在モニタリング調査を実施中である。

本発表では、本防波堤の藻場造成機能に関する施設完成直後の調査結果について報告を行うものである。

キーワード：自然環境、再生・回復、保全・共生

1. はじめに

雄冬漁港では、近年深刻化する磯焼けに対応した自然調和型漁港として、藻場創出機能を有する背後小段付き島防波堤が建設されてきた。

藻場造成を目的とした防波堤背後小段の計画・設計では、藻場の形成する物理的要因を人為的に創出することが重要であり、北海道の日本海側では特に磯焼けの主要因であるウニの摂餌圧の抑制が最も必要な機能である。

1990年代後半から北海道各地の背後小段をフィールドとして、藻場造成の形成状況に関する調査が報告されてきた。特にウニと流速の関わりについては、多くの知見が蓄積されてきた。

雄冬漁港はこれらの多くの知見を計画の早い段階で参考にでき、小段の天端水深や被覆ブロックの整備内容に反映することができた事例である。

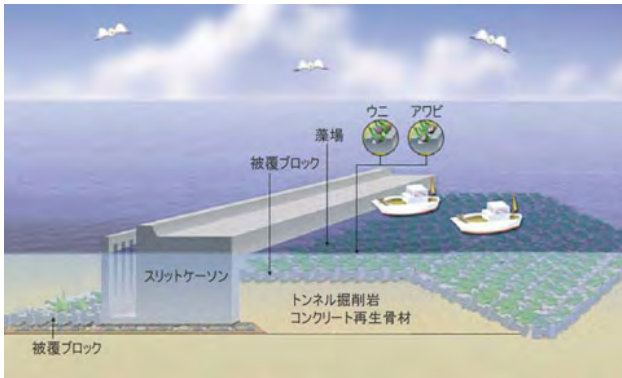


図-1 雄冬漁港 島防波堤のイメージ

背後小段付き島防波堤は平成14年から本体建設が始まり、平成20年には背後小段の被覆ブロック設置が一部完了し、平成21年には全ての被覆ブロック設置が完了した。藻場の形成効果の検証には、設置から数年経過後の安定した海藻群落の状況を確認する必要があるため、本稿では背後小段の物理環境の検証、海藻の着生状況の途中経過について報告する。

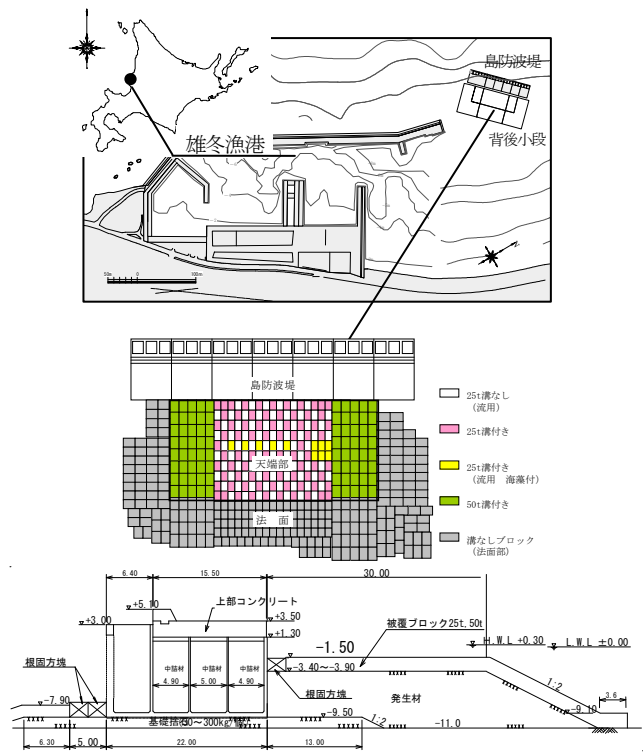


図-2 雄冬漁港 島防波堤背後小段

2. 背後小段の藻場形成状況

背後小段の設計条件において、構造物の安定上必要となる被覆ブロックの質量の他に、藻場形成機能として天端高、ブロックの表面形状が挙げられる。

特に天端水深は、海藻の成長(光、流速)、ウニによる摂餌圧(流速)の両面に関する重要な要素である。北海道におけるこれらの条件は表-1 に示すように具体的な値として明らかになっている。表に示した事例は代表例であり、特に流速については多くの知見が蓄積されている。

また、被覆ブロックの表面形状については、これまでの事例を参考として、本事業において数値計算および実証試験において最適な形状を求めたものである。

次以降では、これら諸条件についての雄冬漁港での追跡調査の検証結果について述べる。

3. 背後小段の評価

(1) 背後小段の物理的機能

a) 波浪流速

ウニは波浪による海底面上の振動流速(以下波浪流速)が速いと摂餌行動が低くなり、海藻の幼芽の時期に摂餌が高いと藻場を形成できない。

当海域における藻場を形成するホソメコンブの成長時期は2月後半～3月頃であることから、この時期の波浪流速が重要である。具体的には、ウニの摂餌を制限する波浪流速 25cm/s 以上の出現頻度が 60～70%以上必要と言われている(竹田他 1999)²⁾。

背後小段建設後、小段天端部で波浪流況観測を実施した結果を図-3 に示す。また、実測期間の波浪流速の推移を検証するため、小段天端部の波浪流速とナウファス波高との相関をとり、年間の推移を推定した結果も同時に示した。

ホソメコンブの成長時期である 2～3 月における波浪流速の推移をみると、25cm/s 以上の出現頻度は 90%以上となっており、この時期はウニの摂餌圧が低減されることが期待できる結果となった。また、ウニの漁期である 6～8 月をみると、波浪流速 25cm/s 以上の頻度は 30%以下となり、この時期にはウニの摂餌行動は可能となり、ホソメコンブがウニの餌量として利用されることが期待できる結果となった。

また、小段天端部と港外における波高を比較してみると、図-4に示すように、小段天端部、つまり島防波堤背後では、港外の波高が2m未満のときは約1/3の値であったが、港外の波高が2m以上になると0.5～0.8m前後とほぼ一定であった。このように、港外の波高にかかわらず、小段天端部では波高が0.8mを超えることはほとんどない。

表-1 北海道における藻場造成の形成条件の概要

| 要素 | 形成条件 |
|--------|--|
| 光量 | 日補償積算光量 (0.52mol/(m ² ・d))以上の光量が必要である(太平洋のナガコンブ)(坂西他2001) ¹⁾ |
| 流速(食害) | ウニの摂餌を抑制する波浪流速25cm/s以上の出現頻度が60～70%以上である。(竹田他1999) ²⁾ |
| 流速(成長) | 流速が速いほど栄養塩の吸収効率が高くなる(～30cm/s)(桑原他1998) ³⁾ |
| 栄養塩 | 萌芽期(冬季)～成長期(春季)の栄養塩濃度が(5μmol/l)以上必要である(瀬戸他2001) ⁴⁾ |
| 表面形状 | 溝の付いたブロックは海藻の着生を促進する(菅原他2007) ⁵⁾ |

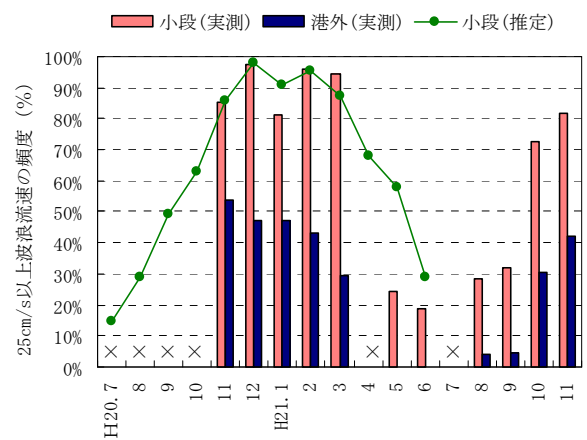


図-3 25cm/s以上の波浪流速の頻度

小段の推定流速はナウファス(留萌)からの流速推定値である

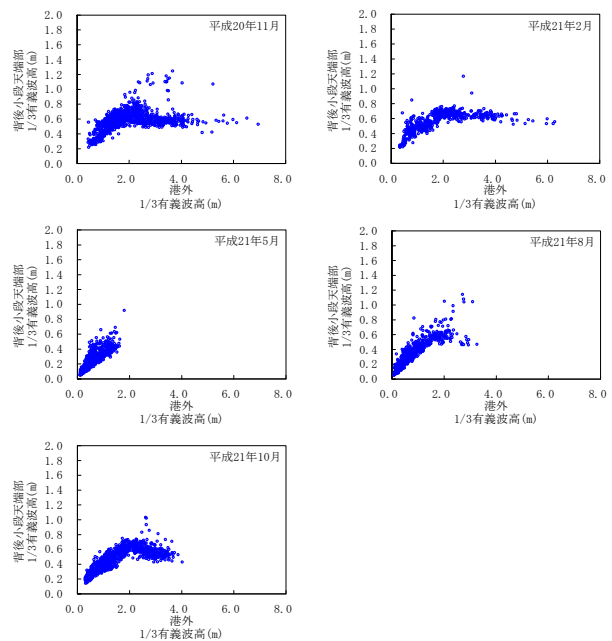


図-4 小段天端部と港外における波高

地元から聞き取った磯舟の作業限界波高は約0.5mであり、ウニ漁期の8月における0.5m以下の1/3有義波高の頻度が港外の52%に対し背後小段は8%であることから、背後小段はウニ漁業の操業環境として安全となり、高齢者に配慮した構造と言える。

b) 光量

藻場の形成に必要な光量の指標として、コンブの呼吸と光合成がつりあう補償光量が挙げられる。この光量は一日の積算光量で評価するため、日補償積算光量と呼ばれている。ホソメコンブの日補償積算光量についての知見はないが、北海道のナガコンブでは、日補償積算光量は $0.52\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上であるとされている(坂西他 2001)¹⁾。

図-5 は背後小段上および法面上で測定した光量の連続観測結果から日積算光量を求め、ナガコンブの指標 $0.52\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以上の出現頻度を示したものである。日積算光量は季節によって大きく異なっており、春季で高く、冬季、秋季で低い。これは太陽高度の他、海水中の濁度も影響していると思われる。当海域では秋季、冬季に波高が高くなるため、海底の巻上げにより濁度が高くなっているものと推察される。

小段上(水深-1.5m)において、特に藻場形成上重要である冬季～春季の日積算光量が日補償積算光量を上回る頻度は 98%(冬)～100%(春)であることから、光環境は良好であると言える。

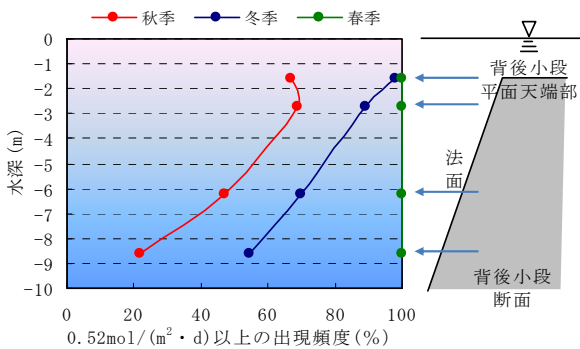


図-5 日補償積算光量の出現頻度

c) 栄養塩と流速

藻場の形成に必要な無機栄養塩は、一般的に制限要因となる無機態窒素について $5\mu\text{mol}/\text{l}$ 以上必要であると言われている(瀬戸他 2001)⁴⁾。しかし、同著によると、対馬暖流の影響下にある北海道日本海側は全般的に栄養塩が乏しく、特に無機態窒素の硝酸態窒素が欠乏している。

背後小段の整備は無機態窒素を供給しないため、栄養塩についてはバックグラウンド環境としての位置づけである。

図-6 は、平成 15 年度に実施した背後小段設置位置における水質調査の結果である。それによると、冬季の 12～2 月にかけての無機態窒素の合計は $2.6\sim 5.8\mu\text{mol}/\text{l}$

であり、藻場形成条件下限の $5\mu\text{mol}/\text{l}$ とほぼ同程度の濃度である。

このように、栄養塩濃度は藻場形成条件として限界状態に近いが藻場の形成が可能な範囲内にあるため、ウニの摂餌圧等の条件を整えることにより藻場形成が可能な海域であると言える。

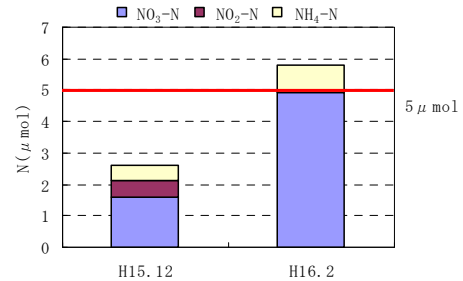


図-6 背後小段設置位置における水質調査結果

一方、流速の増大は栄養塩の吸収効率を向上させる効果があり、無機態窒素濃度 $5\mu\text{mol}/\text{l}$ 程度では流速 $30\text{cm}/\text{s}$ までは流速の効果があるとされている(桑原他 1998)³⁾。

平成 20 年度から実施した流速観測の結果から、港外と背後小段上の流速を比較すると、図-7 に示すように、小段の天端水深が浅くなることにより流速が増大しており、特にコンブの萌芽期(冬季)～成長期(春季)において約 $15\text{cm}/\text{s}$ 増大したことがわかった。この流速の増加量は、図-8 に示すように栄養塩に換算して $0.7\mu\text{mol}/\text{l}$ の添加効果があったことを示している。

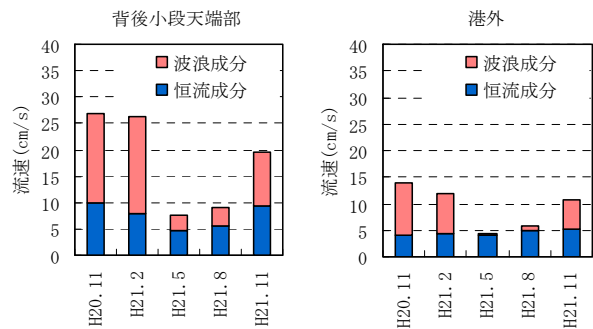


図-7 背後小段上と港外の流速の比較

恒流成分：波浪成分を除くスカラー流速の期間平均

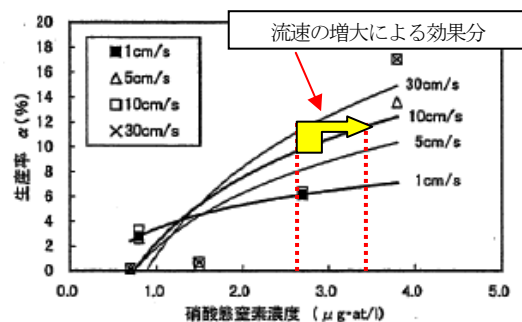


図-8 硝酸態窒素濃度と生産率の関係 (桑原他(1998)を改変)

(2) 造成効果の検証

a) 食害生物の状況

小段設置後のウニの分布状況、特に小段天端上と法面との比較状況を図-9に示した。

背後小段にはキタムラサキウニとエゾバフンウニの2種が出現しており、北海道日本海に一般的に見られる種である。

調査は平成20年12月、平成21年3月、5月、8月、10月に行った。ウニの分布に重要な波浪流速は、冬は摂餌行動を抑制する程度に高く、夏には低い傾向にあったため、波浪流速25cm/s以上の頻度75%以上の12月、3月、5月を冬季、75%未満の8月、10月を夏季として、それぞれで比較した。

藻場の形成条件として重要なウニの個体密度については、その上限は4個体/m²であり、これを超える密度では食害により海藻は生育しないとされている(沢田他1981)⁶⁾。

冬季では、小段天端上のウニの個体数は0.1~0.5個体/m²程度と低く、法面では0.2~1.5個体/m²と若干高い傾向にあった。これは小段天端上で波浪流速によるウニの摂餌行動が抑制されているためであると思われる。しかし、先の生育条件の上限4個体/m²と比較すると天端上、法面上共に低いことから、概ね食害が抑制されていると思われる。一方夏季では、冬季とは逆にウニは小段天端上に多く法面には少ない。特に小段天端上のウニの個体数は44.6~94.5個体/m²と非常に高いことがわかった。これは夏季では小段全体で流速が低く、ウニの摂餌行動が抑制されないからであり、小段天端上に多いのは後述するようにホソメコンブが豊富に着生しているからであると思われる。

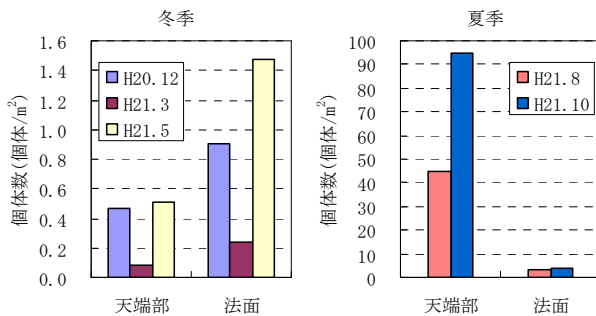


図-9 小段設置後のウニの分布状況

b) 海藻分布特性

小段設置後の海藻の着生状況として、本海域の藻場構成種であるホソメコンブの着生状況をウニの分布とともに図-10に示した。ホソメコンブの着生状況を示す指標は、潜水目視によるコンブの葉体被度(被覆率)である。調査時期は前述のウニの調査と同様小段設置後3ヶ月毎に実施した。

調査の結果、ホソメコンブは2月頃から着生し、春季に最繁茂となる。その後衰退し、秋に一部を残してほぼ

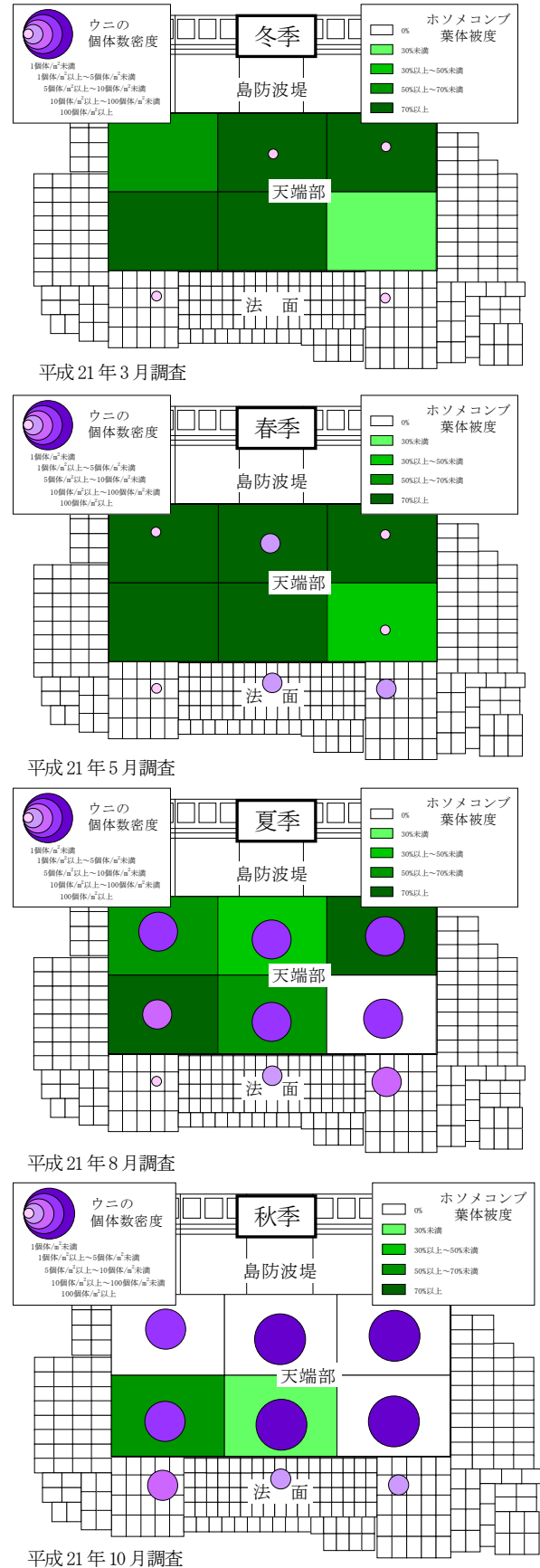


図-10 ウニとホソメコンブの分布

消失していた。当海域のコンブは全て1年生である。夏から秋にかけての衰退は摂餌と末枯れ(枯死、流失)によるものである。小段上の分布としては、天端上には最大平均被度 90%とホソメコンブがほぼ密生する状況であった。一方、法面は設置初期からほとんど着生しなかった。天端上と法面の着生状況の違いは、図-11 に示すように法肩部前後で明確に分かれており、ここでコンブの生育条件が大きく変わっていることが伺える。

これは、法面は流動環境がコンブの生育条件になかったことに加え、天端上に移動できないウニが法面に集中し、さらにウニによる摂餌圧が高まったことも可能性として考えられる。

また、ホソメコンブは当海域のウニ漁業が営まれる6～8月においても着生しているため、ウニ漁期に餌料を提供する環境が整っているものと思われる。

(3) 表面形状の評価

a) 溝の有無の検証

被覆ブロックの表面に付ける凹凸は海藻の着生を促進させる効果がある。その形状については菅原他(2007)⁹⁾にて報告したように、9 ケースの溝付きブロックにより試験施工し、数値シミュレーションも含めた検討の結果、最も効果があると考えられた case27 (溝深さ 10cm、凸部幅 10cm、溝幅 20cm)を採用し、背後小段の天端半分(法肩付近は全て)に溝付きブロックを採用した。

図-12 は試験施工で製作した 9 ケースの溝付きブロック(背後小段に流用)について、平面積あたりのコンブ着生本数を比較したものである。図に示したとおり、溝付きブロックの方が溝なしブロックよりも着生本数が多かった。

溝の形状による違いをみると、小段天端上に最も多く採用されている case27 よりも、case24 のほうが着生密度が高かった。

シミュレーションと試験施工においても case24 の方が着生密度は高いと推定されたが、付着生物などによって溝が埋没した場合、溝深さ(h)と溝幅(w)の比率が変化し、case24(w/h=4)より case27(w/h=2)の着生密度が高くなると推定されたため、設置後の効果の持続性を考慮して case27 を採用している。

ホソメコンブの着生状況をみると、写真-1 のように、凸部の角から溝にかけて着生が多いことがわかる。これは凸部によって形成された渦により、コンブの胞子が側面や溝の隅に多く滞留するためであると思われる。

町口他(1997)⁷⁾によると、ウニは流速が作用するような環境では、表面の凹凸基質に隠れる生態を持つため、ウニによる摂餌が増大する懸念が考えられたが、調査結果では本背後小段はウニの個体数は少なかった。これは天端水深が浅く波浪流速は充分大きいためウニは小段そのものに留まっていられず、ウニの摂餌圧を抑制することができたものと思われる。

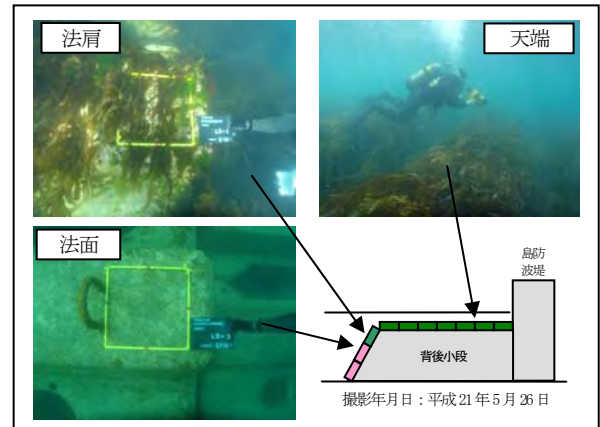
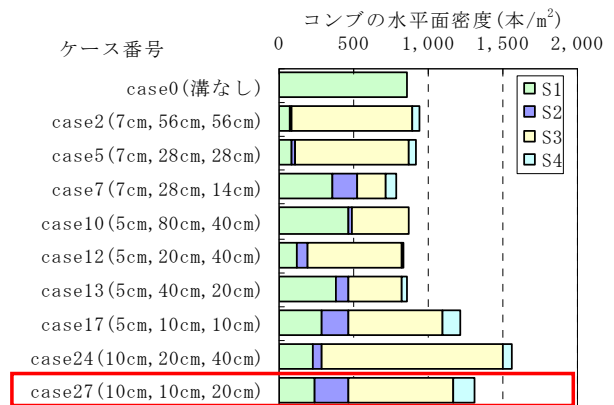


図-11 小段上の海藻(ホソメコンブ)分布



平成 21 年 5 月調査

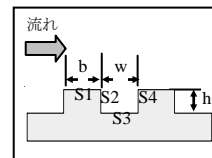


図-12 ケース別コンブ水平面密度

各ケース名に示した数値は溝形状のパラメータで、左から溝深さ h、凸部幅 b、溝幅 w である。

□で囲ったcase27は採用したブロックの表面形状である。



写真-1 表面形状に着生したホソメコンブ
撮影のため先端を刈り取っている。

4 考察

ホソメコンブなどの大型褐藻類は海藻群落の遷移過程の初期に現れる群落であるため、このような遷移初期に発生するコンブ群落を継続させるためには、新たに基質を投入させたり、既存緒基質を剥離するなどの人為的整備の他、ウニなどの植食生物に海藻を摂餌させることが重要である。また、本海域ではコンブをウニ・アワビの餌量として提供する必要もある。

一方、ホソメコンブの成長初期では植食生物は食害生物となるため、自然調和型防波堤における藻場造成では冬季にウニを排除し、夏季にはウニを許容する季節的なコントロールが必要となる。本漁港ではこの季節的コントロールが、前面海域の波浪環境に適するよう、天端水深によって可能となっていることが期待できる。

また、今後ウニ・アワビの漁場として利用するためには、種苗放流などを実施する場合のウニ・アワビの密度管理が重要である。

小段設置以降、物理環境、ウニの出現状況および海藻の着生状況ともに順調に経過しており、現在は想定どおりの機能と効果を発揮している。今後は、夏に蝟集したウニが再び移動するか確認する必要がある、流速からみると、ウニが再び小段天端部から移動するのは11月頃以降と予想され、今後のウニの出現状況、海藻の着生状況の追跡調査により検証する必要がある。

5 まとめ

本調査により以下のことが明らかとなった。

- 1) 背後小段が形成する物理環境は、ウニの摂餌圧を制限する流速、コンブの生育に必要な光条件、低い栄養塩の吸収効率を向上させる流速を満足する天端水深であったことが確認できた。
- 2) 夏季にはウニへの餌量提供に必要な静穏性も確保できたことから、ウニ漁場としての機能も発揮するものと期待できる。
- 3) 被覆ブロックの表面形状は、コンブ胞子の着生を促進する効果を発揮していることが確認できた。
- 4) 今後、ウニの出現状況、海藻類の着生状況について継続して調査し、背後小段機能の評価検証する必要がある。

参考文献

- 1) 坂西芳彦、鈴木健吾、宇田川徹、飯泉仁、山本正昭(2001)：釧路沿岸における夏季のナガコンブの日補償深度、北水研報告 65, pp. 45～54.
- 2) 竹田義則・坪田幸雄・永田晋一郎・袖野宏樹(1999)：自然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.
- 3) 桑原伸司・佐々木秀郎・北原繁志・松山恵二・清野克徳・谷野賢二(1998)：藻場生産力シミュレーションモデルの開発、海岸工学論文集, 第45巻, pp. 1101-1105.
- 4) せと雅文・川井唯史(2001)：海洋深層水の放水によるコンブ藻場形成に関する基礎的研究、平成13年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 75-78.
- 5) 菅原哲也・太田栄持(2007)：海藻着生に適した表面形状の定量化について—雄冬漁港背後小段における事例—, 第50回北海道開発局技術研究発表会論文集.
- 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) 町口裕二・山下卓也・阿久津孝夫・山下俊彦・南村尚昭・谷野賢二(1997)：振動流中のエゾバフンウニ稚仔の行動と基質形状に関する一考察, 海洋開発論文集第13巻, pp. 699-704.