

北海道日本海沿岸における 磯焼け箇所への藻場回復について — 寿都漁港の総合的な磯焼け対策施設の経過報告 —

小樽開発建設部 小樽港湾事務所 第2工務課 ○後藤 和哉
同 増田 亨
(独) 土木研究所寒地土木研究所 水産土木チーム 佐藤 仁

北海道の日本海沿岸では、栄養塩の乏しい海域特性及び冬季の水温上昇に伴うウニの被害に起因する磯焼けが発生しており磯根漁業に深刻なダメージを与えている。寿都漁港においては、これまで藻場の創出機能を付加した施設整備を行ってきた。しかしながら、海域の高水温状態など近年の予想を上回る環境変動により、これらの施設においても磯焼けの影響を受けており藻場機能の低下が問題となっている。

本論文は過年度の報告に引き続き、同漁港において平成24年度より着手した上記施設の改良を含む磯焼け対策施設の整備状況並びに藻場造成機能の初期の発現状況について報告するものである。

キーワード：磯焼け、藻場回復、嵩上げ、ウニ摂餌圧

1. はじめに

藻場が大規模に消失するいわゆる磯焼け状態が全国的に発生し問題視されている。藻場は海洋生物の産卵場、摂餌場あるいはそれ自身が基礎生産者としての役割を持つ等、様々な機能が複合的に作用しており、良好な海域環境を創造するための基盤となるものである¹⁾。

これまで北海道内では、磯焼け対策として10年以上前から防波堤や護岸等への藻場造成機能を付加した自然環境調和型沿岸構造物が整備されてきた²⁾。しかしながら、基質の経年劣化や近年の水温上昇等により藻場造成効果の低下が懸念されている中で、長期的な調査事例は少ない。また、熊谷ら³⁾は、整備後10年以上経過したこれらの構造物を対象にモニタリング調査を行い、こうした問題点を指摘した。

以上より、地元寿都町、小樽開発建設部、(独)寒地土木研究所等は、総合的な磯焼け対策と水産生物の生育環境づくりを推進を目的とした検討を行い、磯焼け海域における藻場回復を目指した直轄整備の事業化について検討した⁴⁾。

本論文は、北海道日本海沿岸の磯焼け地帯に位置する寿都漁港において、既存の自然環境調和型沿岸構造物における藻場造成機能の評価および対策手法として現地で開催されている試験施工の検討経過を述べる。さらに、上記の検討により事業化された磯焼け対策施設の整備状況並びに藻場造成機能の初期の発現状況について報告するものである。

2. 藻場造成機能の評価

(1) 寿都漁港背後小段付傾斜堤

調査対象とした北海道日本海側に位置する寿都漁港(写真-1)の背後小段付傾斜堤(図-1、写真-2)は、寿都地先約500m沖の水深約10m付近に位置する。周辺は岩礁帯であり、この地帯の水産有用種であるホソメコンブ(*Laminaria religiosa* Miyabe)を始めとする大型藻類の分布域である。しかしながら、近年は天然藻場においてもコンブ類等の大型藻類が繁茂しない状況が続いている。

佐藤ら⁵⁾は、同施設の藻場造成機能について、施設完成から現在までの長期的な変遷について検討した。その結果、背後小段上は天然岩礁以上の藻場造成効果を有しているが、その年の冬季水温(5°Cが境界)に強く依存



写真-1 寿都漁港

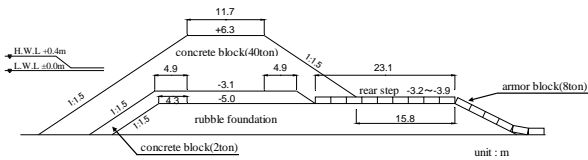


図-1 背後小段付傾斜堤断面図

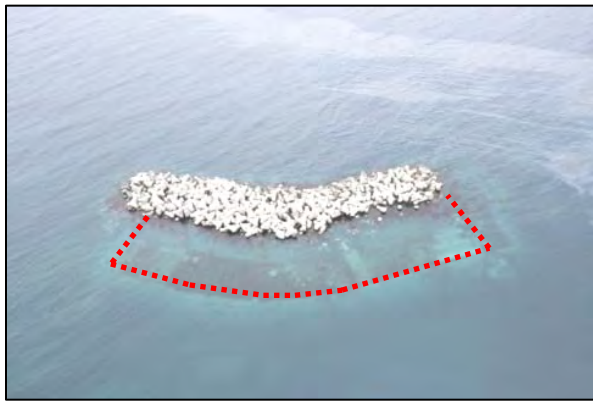


写真-2 背後小段付傾斜堤 (赤線部が背後小段)

しており年変動が大きい。よって、近年の北海道日本海沿岸の高水温状態が続く環境下では天然藻場を含めて海藻の着生が少ない磯焼け状況にあり、背後小段の藻場機能も失われている。従来の構造物では、この予想を上回る水温上昇により、キタムラサキウニ(*Strongylocentrotus nudus*)の食害が顕著となり、あわせて既存構造物上の流動環境ではウニの摂餌活動の抑制には不十分であることが判明している。

(2) 既設天端上の藻場造成機能の評価

前述の既存構造物上の流動環境とウニの摂餌活動の関係について検討した結果を図-2 に示す。図は 2011 年 2 月 3 日から 2 月 21 日までの約 18 日間における背後小段上の振動流速の時系列である。

Kawamata(1998)⁶⁾による室内実験より、キタムラサキウニは流速 0.25 m/s 以上で摂餌が減少し、摂餌可能な振動流の限界は 0.4 m/s であることが判明している。そこで、図中にキタムラサキウニの摂餌減少ライン (0.25 m/s) と摂餌限界ライン (0.4 m/s) をそれぞれ波線で示

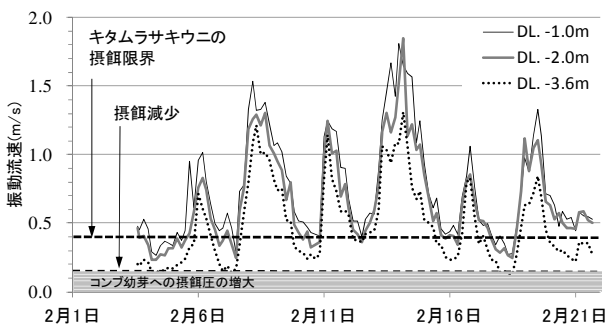


図-2 水深別の振動流速(2011/2/3~2/21)

した。既設の背後小段天端は期間によっては摂餌限界流速以下になり、さらに摂餌減少流速をも下回る状況になることから、コンブ幼芽への摂餌圧が増大して食害を受ける環境にある。一方、DL -0.5 m 及び -2 m 付近は、背後小段天端に比べて振動流速が大きく、ほとんどの期間において摂餌限界流速を上回っている。

次に、既設天端上におけるキタムラサキウニの摂餌圧の定量化を試みた。キタムラサキウニの摂餌圧 F は振動流速と季節(水温)により変化することが判明している。まず、波動流速によるキタムラサキウニの摂餌圧の影響については同じく川俣によって提案された次式により求められる。

$$\frac{F}{F_s} = 1 - \exp \left[- \exp \left(- \frac{u_{\max} - 27.1}{4.27} \right) \right] \dots \dots (1)$$

ここに F :ウニ 1 個体の日間摂餌量(g/day/個)、 F_s :静水中におけるウニ 1 個体の日間摂餌量(g/day/個)、 u_{\max} :底面軌道流速振幅(cm/s)である。今回、(1)式の u_{\max} については、沖波浪のデータからブシネスク方程式による波浪変形計算を実施し、図-3 に示す背後小段上 10 地点 (a~j) の波高分布を求め振動流速値に変換した。この式は前述のように、流速が 20cm/s を越えるとウニの摂餌圧が静水中と比較して減少し、40cm/s 以上では摂餌量はほぼゼロになることを表している。

また、季節(水温)によるキタムラサキウニの摂餌圧 F_s については、Kawamata(1997)⁷⁾により提案された次式から求められる。

$$F_s = 0.333\theta(1 - \theta) \left[1 + 0.344 \sin \left(2\pi \frac{J-48.5}{365} \right) \right] L^2 \dots \dots (2)$$

ここに、 T :水温(°C)、 $\theta:0.653(T-0.63)/27.36$ 、 J :1 月 1 日からの経過日数、 L :ウニの殻径(cm)である。なお、ウニの殻径 L は過去の調査結果より、背後小段上のキタムラサキウニの平均殻径である 5 cm として計算した。

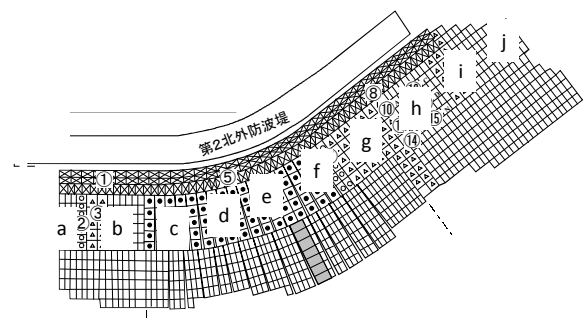


図-3 背後小段付傾斜堤断面図

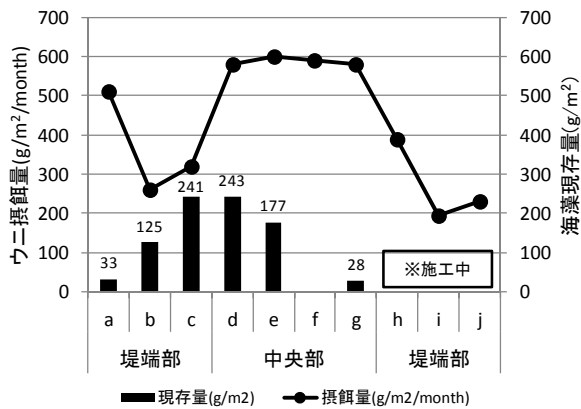


図-4 背後小段上の海藻量とウニ摂餌量

キタムラサキウニの摂餌量とその時点の現地海藻現存量の比較を図-4に示す。図の横軸は既設背後小段上の算定位置、縦軸は左軸に月間のウニ摂餌量(2013年4月)、右軸には各算定地点でモニタリングした海藻現存量(2013年3月末)をプロットした。なお、ウニ摂餌量の算定に用いるキタムラサキウニの個体数(個/m²)は、寿都漁港周辺海域の平均個体数である20個/m²とした。また、堤端部h, i, jは工事を実施しているため、海藻現存量は把握していない。

まず、波浪が小さく摂餌の影響が大きい4月の小段上の環境において、波当たりの弱い中央部ではキタムラサキウニの摂餌活動が活発で摂餌量がおおよそ月間600g/m²まで達することがわかる。一方、堤端部では回折波等により波当たりが強く、キタムラサキウニの摂餌活動が抑制される傾向にある。その結果、摂餌量は中央部に比べ半分以下にまで減衰することが推定された。なお、堤端部aの箇所は、背後小段の法面部に当たり、水深が深くなっていることから、振動流速は小さくなり摂餌量は逆に大きくなる結果となった。

2013年3月末時点における海藻の現存量は、地点b~eにおいて120~240g/m²となっている。しかしながら、キタムラサキウニの摂餌量がこの値を上回っているため、例えば4月に生長する海藻量を見込んでも、高密度に分布するキタムラサキウニの食害によって海藻が全て消失するものと推察される。なお、地点a、地点f~gにおいては既に食害を受けて消失したものと考えられる。

よって、現在の既設背後小段天端の環境では海藻の生育が期待できず、キタムラサキウニの食害を抑制するための流動環境の構築が必要である⁸⁾。また、ウニ食害による磯焼け状況を評価するためには、ウニの摂餌量と対象となる海藻量の収支を把握する必要がある。そのためには、少なくとも冬期から春期における月間毎のデータの取得と検討が必要と考えられる。

(3) 嵩上げによる藻場造成機能の評価

既存背後小段天端の嵩上げ改良が必要なのは前に述

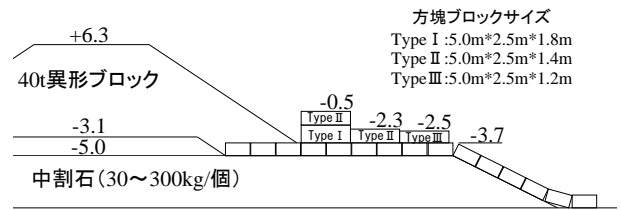


図-5 ブロック設置による実証試験断面



写真-3 嵩上げ試験施工状況

べたが、実際に藻場が回復し維持されるかどうかは、事前に現地を確認する必要がある。そこで、現地において嵩上げの効果が発現されるかどうかを実証試験によって検討した。実証試験は、2010年9月に図-5、写真-3に示すとおり、既設背後小段天端上にL 5.0 m x B 2.5 m x H 1.2~1.8 mの根固方塊ブロックを計8個設置し、-0.5 m、-2.3 m、-2.5 mの異なる天端水深を持つ小段を創出して藻場造成機能を検討した。

施工後より、毎年のホソメコンブの繁茂期である5~6月における天端水深-0.5mに設置したブロック上面の海藻着生状況を写真-4に示す。既設天端部は海藻の着

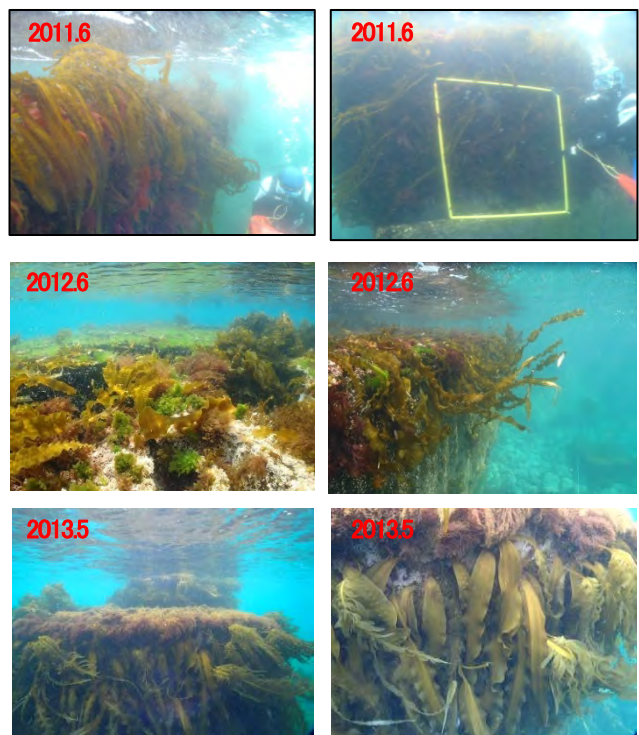


写真-4 嵩上げ箇所の状況

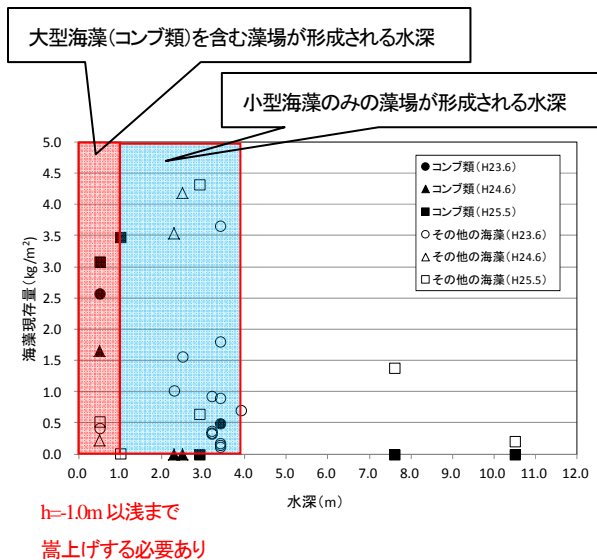


図-6 水深帯別の海藻現存量（海藻繁茂期）

生が見られず磯焼け状態のままであったが、嵩上げ箇所ではホソメコンブやワカメを始めとする多種類の海藻が着生している。また、図-6 は同じく 2011 年～2013 年の海藻繁茂期の背後小段ならびに近接する天然岩礁における水深帯別の海藻現存量を示したものである。既設背後小段天端(-3.7m)以深においては海藻類の着生は小さい。一方、根固方塊ブロックで嵩上げた水深帯 (-0.5, -2.3m, -2.5m) は、海藻類の着生が大きかった。特に、最上段の箇所付近は大型海藻（コンブ類）の着生が確認された。これらのことから、既存背後小段の嵩上げがコンブ藻場の維持回復に有効であることが判明した。また、コンブ類を含む多様な種類の藻場を回復させるためには水深-1.0m 以浅（赤色部分）まで嵩上げする必要があるものと推察される。

3. 背後小段部の嵩上げ改良工事

以上の評価・検討により背後小段部を改良する対策方針が決定し事業化がなされた。具体的な嵩上げ改良構造を図-7 に示す。既設構造断面に対して赤色で示すとおり、基礎捨石と方塊ブロックを用いた嵩上げ (-1.0m) を行い、流動環境を改善する構造を設定した。また、天端に設置する方塊 (3.0×2.5×1.0) には溝きりを施し、

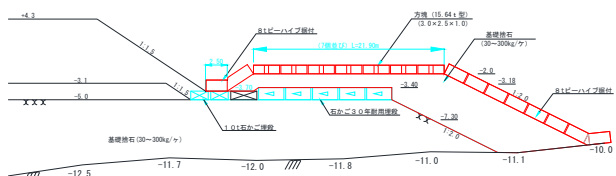


図-7 嵩上げ改良断面図

Kazuya Goto, Toru Masuda, Jin Sato



写真-5 方塊ブロック（溝付）



写真-6 嵩上げ改良（赤枠部）

海藻着生を促進する形状とした（写真-5）。施工は 2012 年度 (H24d)～2014 年度 (H26d) の 3 カ年を予定しており、写真-6 に示すとおり一部は天端面までの施工が完了している箇所も存在する。

2012 年度 (H24d) に改良施工された箇所（天端延長約 17m）における 2013 年 5 月の海藻着生状況を写真-7 に示す。天端上はアオサ属、アオノリ属、ホソメコンブなど多様な海藻が着生している。しかしながら、嵩上げた箇所にもかかわらず、ワカメやコンブの着生が少ない状況にある。これは天端施工時の海象条件が厳しく、方塊ブロックの設置が遅れたため、コンブ類の生長が期待できなかったものと推察される。岡元ら⁹⁾は他地域において、ブロックの設置時期の違いでコンブの遊走子が着底する前と後に分けられ、これを境に後になった箇所は概ね 1 年遅れで海藻が出現することを報告している。



写真-7 改良箇所の海藻着生状況（H24 施工区）

5. まとめと今後の課題

本論文では、藻場機能を有する背後小段付防波堤の評価を行い、大規模な環境変動による同機能の低下を回復するための手法について検討し、磯焼け対策事業の構築を図った。近年の北海道日本海沿岸の高水温状態が続く環境下では、天然藻場を含めて海藻の着生が少ない磯焼け状況にあり、背後小段の藻場機能も失われている。この海域においては、磯焼けの持続要因であるいわゆる高密度に分布するウニの食害が顕著であることから、高水温状態が継続されると藻場の回復が進展しないものと考えられる。この対策として今回、既存背後小段天端の高上げ整備事業の実施に至った。

今後は、事業効果の確認及び持続性の検証を行うことはもとより、海域の条件（水温・栄養塩・流動等）の違いや大規模な変動による環境機能を検討し、他地域へも応用できる沿岸構造物の事前の施設整備計画や事後の維持管理計画の策定に繋げていきたい。

参考文献

- 1) 向井 宏 (1996) : 藻場の生物群集(11)-沿岸環境と藻場-, 海洋と生物 107, 生物研究社, pp. 470-475.
- 2) (社) 寒地港湾技術研究センター (1998) : 寒冷地における自然環境調和型沿岸構造物の設計マニュアルー藻場・産卵機能編ー, pp13-37.

- 3) 熊谷直哉, 佐藤 仁, 福田光男, 吉田 徹, 黄金崎清人 (2009) : 防波堤背後小段の藻場環境について, 平成 21 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 63-66.
- 4) 松野 健, 今林 弘, 佐藤 仁 (2013) : 北海道日本海沿岸における磯焼け箇所の藻場回復についてー寿都漁港の総合的な磯焼け対策施設の検討・実施報告ー, 第 56 回北海道開発技術研究発表会, 環-1.
- 5) 佐藤 仁, 山本 潤, 黄金崎清人, 鳴海日出人, 清野克徳, 山下俊彦 (2011) : 背後小段部を有する防波堤構造物における藻場回復手法の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol. 67, pp. 1106-1110.
- 6) Kawamata, S.(1998) : Effect of wave-induced oscillatory flow on grazing by a subtidal sea urchin *Strongylocentrotus nudus*(A. Agassiz), *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 224, pp.31-48.
- 7) Kawamata, S(1997) : Modeling the feeding rate of sea urchin *Strongylocentrotus nudus*(A. Agassiz) on kelp *J. EXP. Mar. Biol. Ecol.*, 210, pp.107-127, 1997.
- 8) 水産庁(2007) : 磯焼け対策ガイドライン, (社) 全国漁港漁場協会, pp. 111.
- 9) 岡元節雄, 山本 潤, 田川人士 (2013) : 北海道太平洋沿岸の港湾構造物が副次的に有する環境調和機能に関する考察, 第 56 回北海道開発技術研究発表会, 環-6.