砂浜域の港湾構造物における 藻場の持続的な形成要因

佐藤 仁¹・山本 潤¹・山内弘明²・今林 弘²・山下俊彦³

¹正会員 (独法) 土木研究所寒地土木研究所(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)
90190@ceri.go.jp

²国土交通省北海道開発局釧路開発建設部釧路港湾事務所(〒084-0914 釧路市西港1丁目)
yamauchi-h22aa@hkd.mlit.go.jp

³正会員 北海道大学教授 大学院工学研究院(060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
y-toshi@eng.hokudai.ac.jp

砂浜域に位置する重要港湾釧路港の島防波堤では、浚渫土砂を利用した背後盛土により、浅場を利用した岩礁性藻場の創出機能を付加させている。本構造物の藻場機能については、初期段階の検討は行われているが、長期的な藻場の形成過程や環境条件などについては不明な点が多い。

本研究は、長期間にわたる調査により、砂浜域に形成された岩礁性の藻場創出効果の持続要因について検討した。その結果、砂浜域に創出された背後盛土は、岩礁性の海藻群落が持続的に形成され、十分に藻場創出機能を有している。また、海藻着生は天端部に限られるが、濁りのある砂浜海域においても海藻の生育に必要な光環境が良好であることが判明した。

Key Words : Kushiro Port, breakwater rear step, seaweed bed, generation change, light and turbidity

1. はじめに

北海道東部太平洋に位置する重要港湾釧路港の島防波堤は、浚渫土砂を利用した水深の浅い背後盛土構造を付加させている。この構造物は、防波堤に求められる本来機能に加えて、背後盛土上の浅場を利用して藻場造成を図り、水生生物の生息環境の創出をめざしている(図-1)。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など、様々な機能が複合的に機能しており、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⁾。

背後盛土上における藻場の形成については、北原ら²⁾、佐藤ら³⁾がその初期段階における海藻繁茂状況や生物生息状況等を検討している。それによると、背後盛土は整備から約2年半経過した段階において藻場造成効果が認められ、沿岸構造物の自然環境調和機能が発現していることが判明している。しかしながら、その後の藻場の状況や生物生息場としての効果については検討されていない。一方、岩礁性藻場の形成要因については、いわゆる磯焼けが顕著に見られる日本海側における研究事例は多いものの、当海域のような砂浜海域に新たに創出された岩礁性藻場の特徴については不明な点が多い。特に藻場造成効果を持続させるためには、海藻の遷移や多

図-1 背後盛土付防波堤の特徴

年生海藻の生態サイクル、新規加入群による世代交代の有無が重要な要素となる。

本研究は、初期段階におけるこれまでの検討結果とあわせて、藻場の生態サイクルに沿った長期間にわたる海藻着生効果の知見を加え、砂浜域に形成された岩礁性の藻場造成効果の持続要因について検討したものである。

2. 藻場創出に関わる環境因子

一般的に藻類の生育環境因子は物理的要因，化学的要因，動力学的要因，生物的要因などに分類される（表-1）³⁾．例えば，北海道日本海側の磯焼けを受ける岩礁地帯では，水温上昇，栄養塩類，藻食動物（ウニ類）の食害などが因子となる．しかしながら，砂浜域に形成される岩礁性藻場においては，

①光量子量

②浮泥堆積量

が重要な因子になると考えられる．このうち，光量子量は光合成に不可欠であり，釧路周辺海域が高栄養塩・低透視度を特徴とする親潮の影響を受けていることから最も重要な因子である．他方，浮泥は一定以上の厚さで海藻の付着基盤に堆積した場合，海藻胞子の着生阻害や着生した胞子も成長が阻害される要因となる．つまり，背後盛土上に造成された藻場においては，その生長に十分な光量子量の到達深度の確保と海藻着生阻害を引き起こす浮泥の払拭の2点が，藻場を持続的に維持させる条件と考えられる．

3. 調査方法

(1) 釧路港島防波堤背後盛土について

対象とする釧路港島防波堤の標準断面図を図-2

表-1 藻類の生息環境因子

物理的要因	光(光量子量) 付着基質(浮泥の状況、安定性、表面形状等) 温度(海水温) 淡水(河川水、降雨等)
化学的要因	塩分 栄養塩類(窒素、リン等必須代謝物質) 光合成を行うための遊離二酸化炭素 pH 汚染(有機質、無機質、生物質)
動力学的要因	海水の流動(海流、波浪、潮汐、湧昇流) 潮汐による干出 風
生物的要因	藻食動物による食害 基質への競合 繁茂による光の制限

に示す．背後盛土は越波した波を減衰させる打込対策部 40m，海藻を繁茂させる藻場部 60m に大別される．藻場部の構造は水深-15m 程度の砂地盤から水深-5m まで浚渫土砂で嵩上げし，雑割石，大割石で被覆（水深-3m）を行い，その上に起伏工（水深-1m）を設置している．本断面構造は，1998 年～2007 年に開催された「釧路港島防波堤施設検討委員会」で検討されたものである．本検討では，「構造面」・「施工面」・「環境面」から様々な検討が成されている．

なお，島防波堤は，1998 年 6 月に旧運輸省から藻場機能を持つ「水生生物との協調型防波堤」として，直轄事業では初めてエコポートモデル事業に認定された．2011 年 3 月現在，図-3 に示すとおり島防波堤本体工は全体計画延長 2,500m のうち 1,660m が完成し，背後盛土部分は 1,600m のうち実証試験区間として 100m が完成している（2005 年 12 月完成）．

図-3 釧路港島防波堤平面図

(2) 背後盛土の藻場環境に関する調査

藻場の把握は，実証試験区間が完成した直後の 2006 年からのモニタリング調査で行っている．背後盛土上における調査箇所を図-4 に示す．調査は毎年，海藻が最も繁茂している夏期，年間を通じて最も波高が高い秋期，海藻が生長する春期の 3 期に実施している．海藻繁茂調査は，A 区画～E 区画の

図-2 釧路港島防波堤の標準断面図

図-4 起伏工調査箇所

測線長 100mにわたりダイバーの目視観察によって、緑藻、褐藻、紅藻ごとの葉体被度を把握した。また、夏期においては海藻の着生量を把握するため、代表地点において調査枠 (0.5m×0.5m) を設定して付着生物 (植物、動物) を採取し、種の同定、個体数、湿重量の生物分析を行った。他に葉上葉間生物調査も実施している。

物理量は光量子量観測、濁度観測を実施している。各調査とも (株) JFE アドバンテック社製のメモリー式観測機器 (ALW-CMP, ACLW-CMP) を用いて 15 昼夜から 30 昼夜ほどの連続観測を実施してデータを取得した。

4. 結果と考察

(1) 海藻の繁茂状況

a) 海藻出現種の変遷

背後盛土完成後、最初の海藻繁茂期となる2006年7月には、既に褐藻綱であるナガコンブ (*Laminaria longissima* Miyabe), ガッカラコンブ (*Laminaria coriacea* Miyabe) などのコンブ属や緑藻綱のアナアオサ、紅藻綱のフイリタサ、カレキグサなどの出現が確認された。その後、2007年 (2年目)、2008 (3年目) と経過するごとに海藻の出現種は増加している。ここで、図-5は2006年から2010年までの海藻繁茂期における、背後盛土上で確認された海藻の出現種類数の割合を示したものである。種類数の出現割合から見ると初年度の2006年は、紅藻綱が先行して

図-5 海藻出現種類数

出現しているが、2年目になると、コンブ類が属する褐藻綱が出現し始めてきたことがわかる。3年目以降は種類数から見れば一定の出現数となり、ほぼ紅藻綱：褐藻綱：緑藻綱=20：10：1の割合となる。このように、施工当初から3年目くらいまでは、単年生の紅藻綱や多年生の褐藻綱 (コンブ類) の占有に競合が見られる。その後は、海藻の種類数は増加し藻場の多様性が図られるが、海藻種類の構成は一定となっているものと考えられる。

b) 海藻現存量

2006年度から2010年までの各年度におけるコンブ類の区画内現存量の経年変化を図-6に示す。区画とは、図-4に示した起伏工別に赤枠で囲った5区画のことを指す。なお、各区画には起伏工として写真-1に示すような4種類のコンクリートブロック (A区画にAブロック等) を配置している。また、天端水深は、起伏工A~D区画でD.L-1.0m、起伏工を配置しないE区画でD.L-3.0mである。

起伏工における現存量は、2007年 (2年目) が最も多く、以降は増減を繰り返しながら藻場が維持されている。しかしながら、起伏工がないE区画は、4年目以降はほとんどコンブ類が生育していない状況にある。

写真-1 起伏工用コンクリートブロック

図-6 区画内のコンブ類の現存量 (海藻繁茂期7月)

図-7 ブロック天端上のコンブ類現存量

起伏工用コンクリートブロックにおけるコンブ類の着生部位は、ほとんど天端上のみであることが目視観察で判明している。そこで、ブロックの天端面積に対するコンブ類の現存量を図-7a 並びに図-7b に示す。なお、図の横軸は各ブロックの1個当たりの天端面積に設置個数をかけた起伏工天端総面積をとり、縦軸は区画内のコンブ類現存量の5カ年の累積量をとった。なお、起伏工が無い区画Eについては便宜上、ブロック天端面積を0m²とした。図よりまず、天端面積が大きいブロックの方が海藻の着生には有利に働くことが示唆される。写真-1 に示したDブロック(区画D)は台形状をしており、逆に天端面積が他のブロックに比べて小さいことから、海藻着生が少ない環境にあるものと推察される。

また、5カ年全体(図-7a)においては各区画に相関が見られるが、直近の2カ年(図-7b)だけを見ると、起伏工が無い区画Eの現存量が大幅に減少している。そこで、統計解析におけるノンパラメトリック手法の一つであるKruskal-Wallis(クラスカル・ウォリス)⁵⁾による各区画の関連性を調べた結果を表-2に示す。初期段階(2006~2008年)では、

表-2 Kruskal-Wallis検定結果

対象年	統計量		判定
	KW	χ^2 有意水準 (0.05)	
2006~2010年	7.76	< 9.49	$p > 0.05$ 有意な差は無い
2006~2008年	9.11	< 9.49	$p > 0.05$ 有意な差は無い
2009~2010年	13.87	> 9.49	$p < 0.05$ 有意な差がある

有意な差は認められなかったが、その後の2カ年を対象とすると、区画Eの現存量の減少により、有意な差があると判定された。

代表種であるナガコンブの寿命は約3年である。整備直後には区画E(割石部)でもナガコンブの着生があり生長を続けていた。しかし、水深が起伏工より深い割石部は、窪地形状となっているため浮泥が堆積しやすい環境にある。これが、海藻着生を阻害する要因となり、ナガコンブの新規加入群が抑えられ世代交代が無かったことにより、初期段階を過ぎた4年目において海藻が消失したものと推察される。なお、起伏工(区画A~D)においては、森ら⁶⁾によると堆積した浮泥は波浪により十分に払拭され、コンブの着生に与える影響は小さいと報告している。よって、起伏工は年変動こそあるが海藻の生態サイクルがなされた中で藻場が形成され、その藻場を持続させるためには、新規加入群による世代交代が可能となる環境条件が必要になると考えられる。

(2) 起伏工における濁度と光量子量

当該砂浜海域において、海藻の生態サイクルに影響を与え藻場の持続性を阻害する濁度上昇(光量子量低下)について検討した。検討には、波浪が最も高くなる秋期(2010年10月~11月)と海藻生長期である春期(2011年2月)における海域の濁度および光量子量の観測結果を用いた。なお、濁度と光量子子の観測地点と水深は図-8に示すとおりである。

観測結果として時系列を図-9に示す。縦軸の日平均濁度は、全地点の10分間隔で測定した1日における濁度の平均値である。同じく日積算光量子量は、10分間隔で測定した1日分の光量子量を積算した値である。なお、ナガコンブの生育に必要な最低光量子量である日補償光量0.52mol/m²/dayを図中に示した⁷⁾。全体としては、秋期においては、ナガコンブの生育に十分な日補償光量を確保している。同じく、ナガコンブの生長にあたり最も光量が必要と考えられる春期(2011年2月)において、起伏工の天端水深(水深-1m)の妥当性を検証するために、異なる水深帯における濁度と光量子量を観測した。その結果を図-10に示す。なお、水深-2m、-3mは起伏工付近、水深-6mは土留堤法面部であり、この水深帯は島防波堤におけるこれまでの目視観測で確認されているナガコンブの着生の限界水深とされる付近である。図より、起伏工近辺のSt.1(-3m)およびSt.8(-2m)は、天候の違いによって日積算光量子量が変動しており、その数値はナガコンブの生育に必要な日補償光量を十分満足している。水深が深くなるSt.8(-6m)は、前述のナガコンブの日補償光量と同程度であり、この水深帯(-6~7m)がナガコンブの

図-8 濁度と光量子量の観測地点

図-9 濁度と光量子量の時系列 (2010年秋期)

図-10 濁度と光量子量の時系列 (2011年春期)

生育限界であることが改めて確認された。よって、天端水深を上げて海藻の生育環境の向上を図った背後盛土構造の効果が確認された。

また、2011年2月の背後盛土上の日平均濁度および日積算光量子量の関係を図-11に示す。この図より起伏工周辺である水深2m以浅の濁度は5FTU以下であり、過年度の調査結果³⁾によるナガコンブの生育基準(濁度8以下)を満足している。

以上により、起伏工設置による天端の嵩上げは、

図-11 濁度と光量子量の関係 (2011年春期)

コンブ類の生育環境を向上させ新規加入群による世代交代を促し、藻場の持続性に寄与するものと考えられる。

(3) 生物生息分布

背後盛土上に生息する魚類、ウニ、カニ類の出現種と生息分布を把握することを目的に、生物追跡調査を行った。各区画において、幅約5mの範囲で南北方向に1往復半(約60m×3)の距離を目視観察することで、区画全体(約60m×15m)に生息する生物の出現箇所を把握した。確認された生物の生息分布を図-12に示す。魚類3種、ウニ類1種、カニ類2種の出現が確認された(写真-2)。個体数は、魚類が各区画で1～2個体、ウニ類が10個体以下/区画、カニ類が5個体/区画であった。魚類は特にB区画に多い傾向にある。これはB区画のブロック

図-12 生物生息分布図 (2009. 7)

写真-2 確認された魚介類の一例

が中空形状であるため、魚礁としての効果が発現しているものと推察される。底棲動物であるエゾバフンウニやクリガニは通路部や起伏工の区画でもブロックでは無く下部の割石に生息していることが確認された。これは、浅い水深帯での速い流れを嫌って水深の深い通路部やブロックの陰に生息する傾向があるものと推察される。以上のように、整備後4年が経過した時点においても、岩礁域に生息する魚類が多数蛸集しており、藻場の維持が多様な生物生息場環境を継続させているものと考えられる。

5. まとめ

砂浜域に新たに創出された疑似岩礁としての起伏工においては、

- ①岩礁性の海藻群落が持続的に形成され、十分に藻場創出機能を有している。
- ②起伏工用のコンクリートブロックにおける海藻着生は天端部のみに限られ、天端面積の大きい形状

を持つブロックが有利に働く傾向にある。

③起伏工天端が浅いため、濁りのある砂浜海域においても、海藻の生育に必要な光環境が良好である。

④藻場の形成に伴い魚類が蛸集し、産卵場、保育場、餌場などの多様な機能の持続性が確認された。

しかしながら、将来にわたって藻場環境を維持していくためには、長期的な気候変動や河川等陸域からの影響などが重要な課題となってくる。今後は、これらの影響を考慮しながら藻場造成効果の持続性について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 海の自然再生ワーキンググループ著：海の自然再生ハンドブック 藻場編，pp. 10，(株)ぎょうせい，2003.
- 2) 北原繁志・繁本 護・根本任宏・丸山修治：釧路港島防波堤背後盛土上の物理環境と藻場形成に関する研究，寒地土木研究所月報，No. 657，pp. 24-32，2008.
- 3) 佐藤 仁・福田光男・丸山修治・村井克詞：防波堤に形成された背後盛土における藻場機能について，海洋開発論文集，Vol. 25，pp. 329-334，2009.
- 4) (社)寒地港湾技術研究センター編：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 -藻場・産卵礁機能編-，pp. 13，1998.
- 5) 岩崎 学：統計的データ解析入門 ノンパラメトリック法，(株)東京図書，2006.
- 6) 森 信幸・橋詰知喜・丸山修治・坪田幸雄：釧路港藻場創出機能付き防波堤の堆積砂制御について，平成14年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp. 141-144，2002.
- 7) 坂西芳彦・鈴木健吾・宇田川徹・飯泉 仁・山本正昭：釧路沿岸における夏期のナガコンブの日補償深度，北海道区水産研究所研究報告，65号，pp. 45-54，2001.

SUSTAINABLE FACTOR OF SEAWEED BED AT COASTAL STRUCTURE IN SAND COAST

Jin SATO, Jun YAMAMOTO, Hiroaki YAMAUCHI, Hiroshi IMABAYASHI
and Toshihiko YAMASHITA

In the Kushiro port of Hokkaido, the rear step of shallow depth was made by using the dredged sand on the offshore breakwater. The purpose to set up the rear step is a creation of the seaweed bed in addition to the decrease of the transmission wave by the wave-overtopping and the cost reduction by the reinforcement of the main caisson.

This study is about the seaweed that grows thickly on the rear step and the environment of light on the rear step. The results are as follows: A large seaweed bed with mainly kelp is formed. It has been understood that the seaweed grows only to the upper part of concrete blocks. In this place, the amount of the photon is enough for photosynthesis of the kelp. The seaweed bed has changed from mainly diatom to mainly kelp. The species swarming in the marine forest increase every year.