

北海道東方砂浜域の沿岸構造物における 岩礁性藻場の環境性能評価

(独) 土木研究所寒地土木研究所 水産土木チーム ○佐藤 仁
釧路開発建設部 釧路港湾事務所 山内 弘明
同 今林 弘

釧路港島防波堤背後盛土は、沖合の水深の深い砂浜域に岩礁性の藻場を造成したものである。従って、浅瀬に見られる天然藻場とは生育環境が異なっており、背後盛土上の海藻生育の各種条件については不明な点が多い。

本報告は、背後盛土の整備直後からの藻場の形成状況及び海藻の生育因子である光量子量、濁度等の物理条件に関する現地調査結果を述べると共に、自然調和機能の一つである藻場創出の環境性能評価を検討したものである。

キーワード：防波堤背後盛土、藻場創出、環境因子、性能評価

1. はじめに

近年、港湾・漁港の整備においては、コスト縮減の他に、開発行為と海域環境の保全の両立が求められている。北海道東部に位置する重要港湾釧路港西港区の島防波堤では、浚渫土砂を利用して水深の浅い背後盛土の造成を計画し整備を行っている（図-1）。この背後盛土を有する防波堤は、①浚渫土砂のリサイクルと土砂陸上処分費の低減を図る、②本体直立部の押さえ盛土として機能することで本土工のスリム化を図りコストを縮減する、③島防波堤を越えてくる越波のエネルギーを散逸させ港内への伝達波の低減を図る、などの特徴がある。さらに、島防波堤はこれら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の創出を図り、自然環境調和機能を付加させている（図-2）。この藻場は、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⁾。

島防波堤背後盛土上における藻場の形成については、北原ら²⁾がその初期段階における海藻繁茂状況、生物生息分布状況等を検討している。しかしながら、砂浜海域において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く、藻場造成に関わる環境条件も解明されていない。

本報告は、背後盛土の整備直後からの藻場の形成状況及び海藻の生育因子である光量子量、濁度等の物理条件に関する現地調査結果を述べると共に、背後盛土上における藻場の形成とその藻場が有する魚類等の生息場機能について、現地における海藻繁茂状況、蝸集生物状況および藻場の形成に影響を与えると考えられる光量子量、

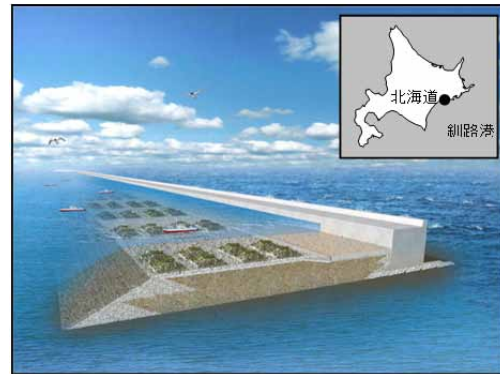


図 - 1 釧路港島防波堤イメージパース

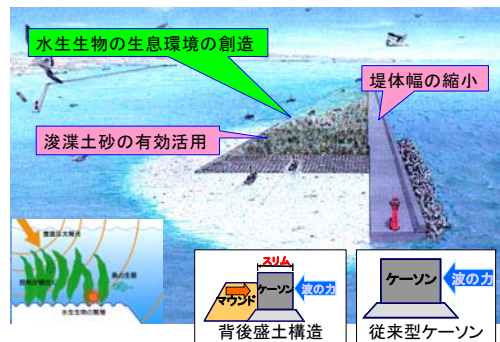


図 - 2 背後盛土付防波堤の特徴

濁度等物理環境に関する各種調査から、砂浜域の沿岸構造物に形成される自然環境調和機能の一つである岩礁性藻場創出の環境性能評価を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、動力的的要因、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)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

が重要な因子となる。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。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。なお、釧路海域における浮泥が堆積する要因としては、波浪による底質の巻き上げ、河川出水による濁水の流入、背後盛土の工事、などがあげられ、これらの影響を適切に評価する必要がある。

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

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-3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

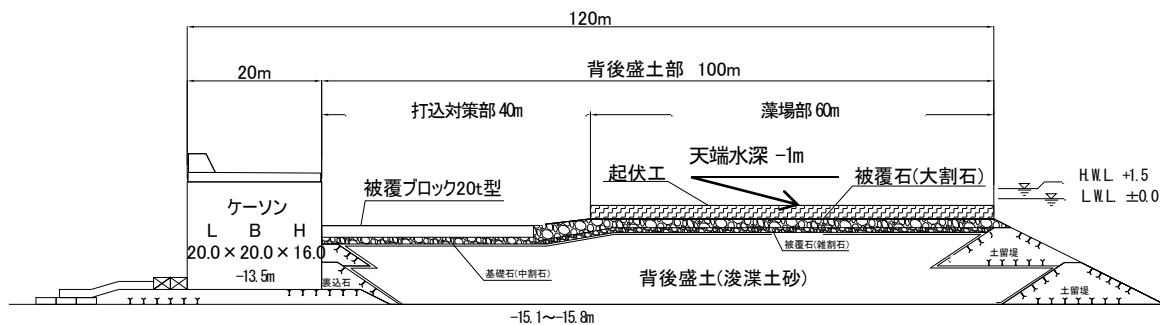


図-3 釧路港島防波堤の標準断面図

造は、1998年～2007年までに開催された「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-4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)。

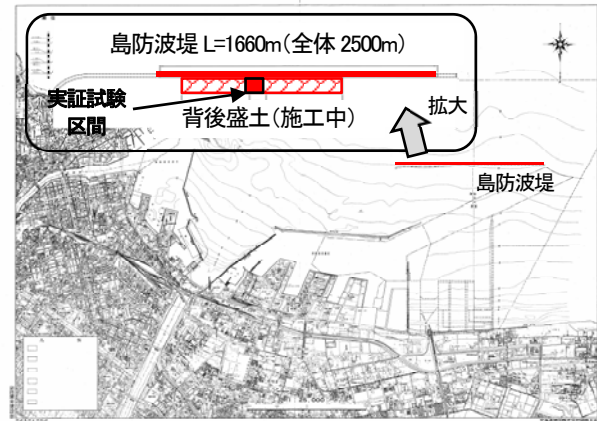


図-4 釧路港島防波堤平面図

(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-5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、海藻が芽吹く春期の3期に実施している。海藻繁茂調査は、測線1～測線5(1測線長100m)において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、各地点(■表記)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。

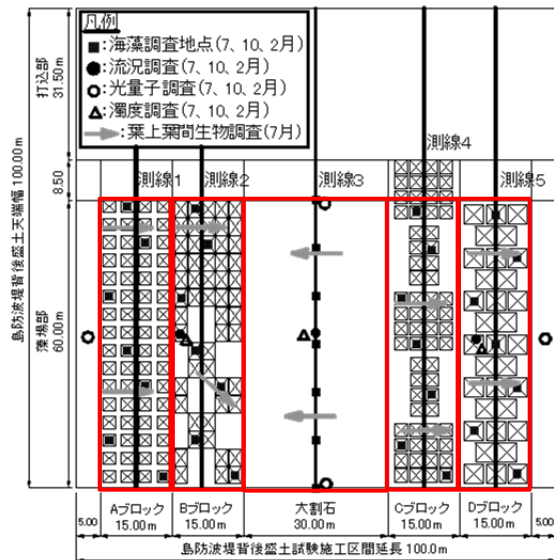


図-5 背後盛土上の調査箇所

物理量調査は年度ごとに調査地点は異なるが、概ね流況観測 (●), 光量子量観測 (○)、濁度観測 (△) を実施している。各調査ともメモリー式観測機器を用いて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。

(3) 浮遊砂払拭に関する室内実験

釧路港島防波堤は、試験区間に隣接する区域において浚渫土砂による背後盛土工事が実施されている。この土砂投入工事に伴い発生する浮泥が、実証試験区間の起伏ブロック天端に堆積することが予想される。また、島防波堤の建設過程及び完成時における浮泥が起伏ブロックへの海藻着生に及ぼす影響の予測が求められる。そこで、振動流水槽 (写真-1) において起伏ブロック上部を対象とした浮泥の払拭実験を実施し、払拭可能な振動流速等を求めた。

表-2 に 4 種類の起伏ブロック模型による実験ケースを示す。起伏ブロックの天幅部を再現した厚さ 12cm のモルタルにより模型を作成した。起波は周期 $T=10$ 秒とした。これは現地に来襲する波浪の周期 (8~12 秒) の代



写真-1 振動流発生装置

表-2 実験ケース

実験番号	起伏ブロック	周期(s)	流速(cm/s)
1(1-1)	ブロックA (突起)	10	15
2(1-2)			10
3(1-3)			13
4(2-1)	ブロックD		13
5(2-2)			15
6(3-1)			15
7(3-2)	ブロックB		15
8(3-3)			13
9(3-4)			15
10(4-1)	ブロックC		15
11(4-2)			13
12(5-1)	ブロックA (本体)		15
13(5-2)			17

表値である。流速は、 $U=15\text{cm/s}$ とし、「払拭可能基準の払拭率概ね 50%」が確保できた場合は流速 $U=13\text{cm/s}$ 、 10cm/s と小さくし、確保できない場合は $U=17\text{cm/s}$ で行った。起波時間は最大で 2 時間とし、ブロックが完全に払拭された場合はそこで終了とした。

払拭量は、配置した模型の凸部全体で評価した。払拭範囲は、デジタルカメラによる模型の定時撮影画像から払拭した範囲を目視により判断した。払拭量は、硅砂が起波に伴い飛散し基質模型が露出した範囲を模型凸部全体の面積で除した払拭率 (%) とした。

(4) 現地観測による払拭効果の検討

室内実験とは別に現地で観測した捕砂量から、波浪による払拭効果について検討した。背後盛土上の波浪と浮遊砂の払拭の関係については、森らの実験結果⁴⁾より、浮遊砂の払拭に必要な流速は、周期 6 秒以下で 13cm/s (7 秒未満のワグ)、周期 10 秒以下で 15cm/s (7 秒以上 9 秒未満のワグ)、周期 10 秒を超える場合は 17cm/s (9 秒以上のワグ) であることが判明している。

そこで、前述の図-4 に示した整備済み港形における島防波堤周辺の回折係数を算定し、釧路港沖で観測している波浪データを使って背後盛土上の波高算定および流速を算出した。検討波浪は、SE, SSE, S, SSW, SW の 5 波向、検討周期は 6s, 8s, 10s, 12s の 4 周期とした。計算手法は、屈折、回折、浅水変形、反射及び海底地形を考慮できる「緩勾配方程式」を用いた。また、流速算定には、微小振幅波理論の水粒子速度推算式で行った。なお、水深は潮位の影響を考慮せず、一律に盛土天端水深は -3.0m 、起伏工天端水深は -1.0m とした。

4. 結果と考察

(1) 海藻の繁茂状況

a) 海藻出現種

図-6は、2006年から2010年までの海藻繁茂期 (7月) における、背後盛土上で確認された海藻の出現種数を緑藻綱、褐藻綱、紅藻綱の 3 つに分類して示したものである。背後盛土完成後、最初の海藻繁茂期となる2006年7

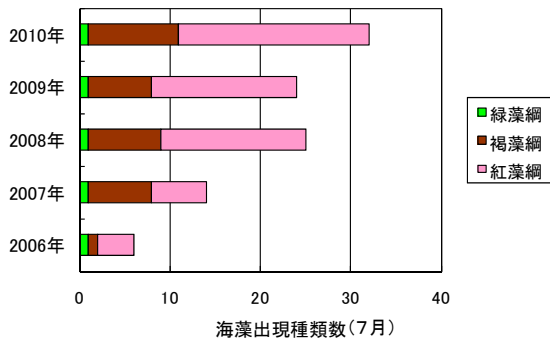


図-6 海藻出現種類数

月には、既に褐藻綱であるナガコンブ (*Laminaria longisima* Miyabe)、ガツカラコンブ (*Laminaria coriacea* Miyabe) などのコンブ属や緑藻綱のアナアオサ、紅藻綱のフリタサ、カレキグサ、コノハノリ、ハケサキノコギリヒバ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。2009年（4年目）は前年（2008年）と同程度の種類数であったが、2010年7月（5年目）段階において、緑藻綱1種、褐藻綱10種、紅藻綱21種の計32種類の海藻が出現しており、藻場の多様性が増進されている。これまでの海藻の出現過程としては、①初期にコンブ属やアナアオサといった大型・中型の海藻が出現し、比較的小型な紅藻綱の種類は少ない。②紅藻綱は藻場の形成に伴い徐々にその種類数を増加させている。といった傾向がこれまでに現れてきたものと考えられる。

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-7に示す。区画とは、図-5に示した起伏工別に赤枠で囲った5区画のことを指す。

現存量は、過去5年間では2007年（2年目）が最も多く、以降は2010年（5年目）にかけて各起伏工のブロックで増減を繰り返している。ウニなどの植食動物はブロック上でほとんど確認されていないため、これら

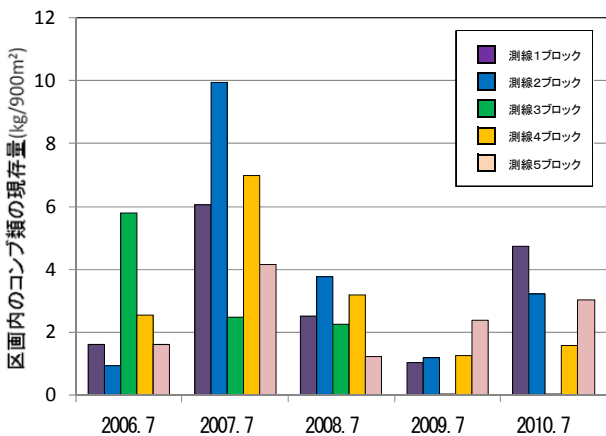


図-7 区画内のコンブ類の現存量

による食圧の影響はないと考えられ、ナガコンブなど多年生コンブ類の世代交代時期と推察される。測線1~2のように前年度よりも増加した地点もあることから、現存量はまだ増減しており定常的な状態には至っていないものと考えられる。

(2) 起伏工における濁度と光量子量

砂浜域に位置する釧路港では、時化により海底の土砂がまきあげられ濁度が上昇し、その結果、光量子量が低下するという傾向が見られる。そこで、波浪が最も高くなる秋期（2010年10月~11月）における海域の濁度および光量子量を観測した。濁度と光量子量の観測地点と観測水深は図-8に示すとおりである。観測結果として時系列を

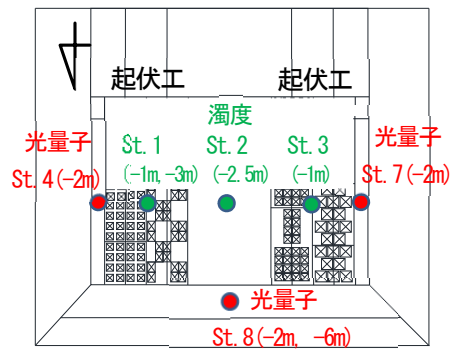


図-8 濁度と光量子量の観測地点

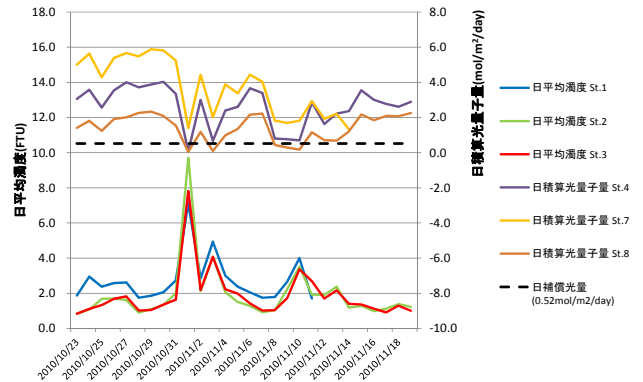


図-9 濁度と光量子量の時系列（2010年秋期）

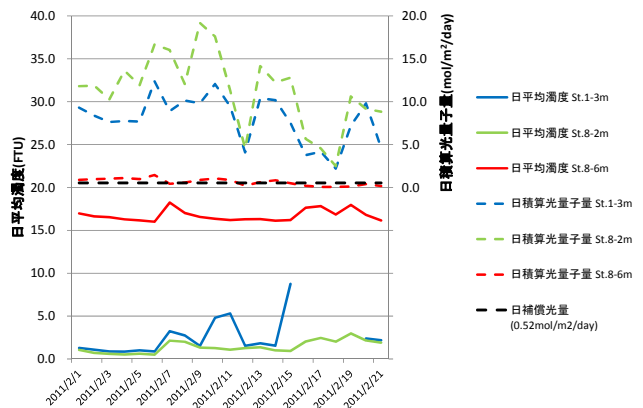


図-10 濁度と光量子量の時系列（2011年春期）

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 $0.52\text{mol}/\text{m}^2/\text{day}$ を図中に示した⁵⁾。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。よって、ナガコンブが生育する場として起伏工上は良好な環境にあると考えられる。

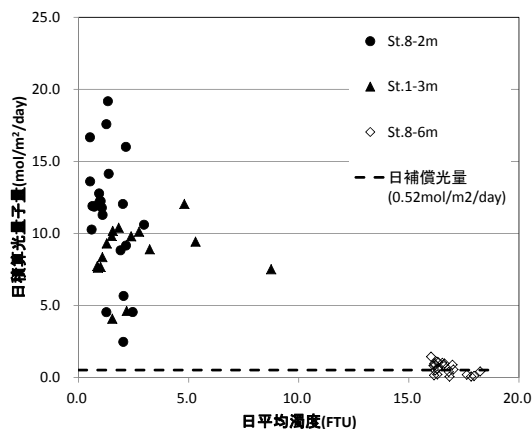


図-11 濁度と光量子量の関係 (2011年春期)

(3) 浮遊砂の払拭に関する検討

室内実験における各ブロックの払拭率を図-12に示す。図より、払拭可能速度(払拭率概ね50%以上)を算定する。ブロックAの海藻着生基質部(基質幅8.7cm)は流

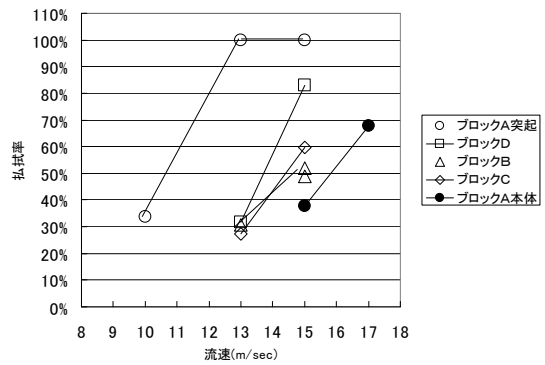


図-12 各ブロックにおける払拭率

速

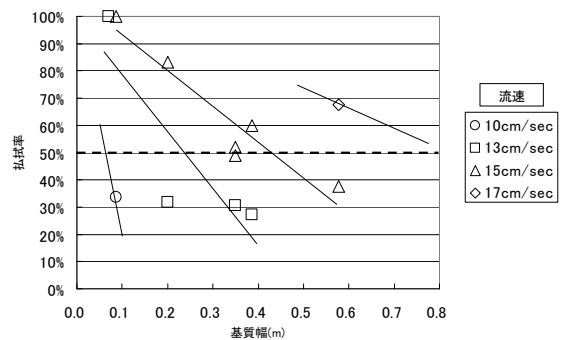


図-13 基質幅と払拭率の関係

$U=13\text{cm}/\text{s}$ 、天幅部(基質幅57.7cm)は $U=17\text{cm}/\text{s}$ である。ブロックD海藻着生基質部(基質幅18~19cm)、ブロックB天幅部(基質幅35cm)、ブロックC海藻着生基質部(突出部)(基質幅38.6cm)においては $U=15\text{cm}/\text{s}$ である。珪砂と現地の土砂による違いは見られなかった。

払拭率は、基質幅と高さおよび間隔により変化するが、ここでは基質幅のみに注目して検討した結果を図-13に示す。流速別の払拭可能な基質幅は、 $U=13\text{cm}/\text{s}$ において概ね0.2m、 $U=15\text{cm}/\text{s}$ では0.4m、1ケースではあるが $U=17\text{cm}/\text{s}$ の場合は概ね0.8mと推定される。以上により、4種類の起伏ブロックにおける海藻繁茂量が多い天幅における海藻着生基質部及び天幅部の浮泥の払拭可能速度が特定でき、さらに、また、年間を通じて $U=17\text{cm}/\text{s}$ 程度の流れは発生しているものと考えられる。

次に、現地における流動条件と浮遊砂の払拭について検討する。現地捕砂調査期間(2009年2月5日~同年2

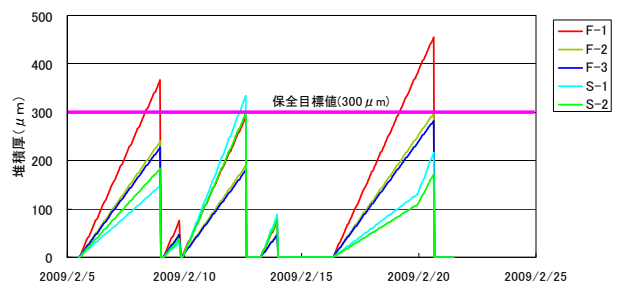


図-14 堆積厚と保全目標値

表-3 藻場環境に関する評価

調査項目		調査結果	評価
藻場分布調査	ベルトトランセクト調査	南防波堤、島防波堤及び起伏工港内側法面において海藻群落の形成が確認され、天然岩礁(千代の浦)の繁茂と同程度の繁茂状況が確認された。	島防波堤及び起伏工法面が藻場環境として適性が確認され、起伏工の有効性が確認された。
	ライントランセクト調査	各ブロックに藻場の形成が経年的に確認され、ブロックによる差異は見られなかった。	起伏工において継続した海藻の繁茂が確認された。各区画内のコンブ現存量等を定量化することができた。
葉上葉間生物調査		多種にわたる生物が起伏工ブロック全体に確認され、主に節足動物が大半を占める結果となった。	起伏工における生物の生息が確認された。藻場の形成に伴い良好な生物生息場環境の提供がなされている。
生物生息分布調査		起伏工ブロック全体に魚類及びウニ・カニ類が確認された。	起伏工において生物生息環境が形成されていると確認された。有用水産種の資源増大にも寄与できるものと評価する。
物理環境調査	濁度・浮遊砂	平均値は水産用水基準10ppmを超えるような数値は見られない。また、堆積厚は保全目標の300 μ mを概ね確保している。	起伏工が藻場環境としての適性は確認された。
	光量子	年間を通して目補償光量(0.52mol/d/m ²)を下回る期間は少なく、海藻着生に適している。	起伏工が藻場環境としての適性は確認された。
	水温	特に大きな問題となるような特性はなかった。	起伏工の藻場環境に悪影響を与える状況には無い。
	透明度・塩分	特に大きな問題となるような特性はなかった。	起伏工の藻場環境に悪影響を与える状況には無い。
	波高・流速	島防波堤と概ね平行な方向に流況を示し、流向別流速の平均値についてはENEが最大で、8.1cm/sであった。	当初想定された波浪・流動場環境と特段の違いは無い。

月 26 日)における島防波堤周辺の波浪に起因する起伏工上の流速算定結果から浮遊砂の払拭を勘案した堆積厚を算定し、藻類の着生阻害となる堆積厚との比較を行った。浮遊砂の堆積厚への算定(質量から堆積厚へ)は、既往の調査結果より換算係数を 1.03g/cm³ (1mg=9.7 μ m) に設定した。また、累積堆積厚は払拭可能と推定された時点で 0 になることとした。藻類の着生阻害となる堆積厚は吉川ら⁶⁾によるワカメ類の影響限界における保全目標値(300 μ m)を用いた。図-14 に浮遊砂の堆積厚の推定結果を示す。なお、図中の F-1~3 は起伏工上で捕砂管を用いた堆積量で計算した場合、S-1~2 は同上で機械式セジメントトラップを用いた場合である。図より、精度良く捕砂速度を推定できる S-1~2 の堆積厚でみると、保全目標値をおおむね確保しているものと推察される。

5. 岩礁性藻場創出の環境性能評価

以上、現地調査および実内実験結果等について考察を加えてきた。最後に、起伏工ブロックの環境性能評価について検討する。過年度からの検討結果も含めた藻場環境に関する性能評価を表-3に示す。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、以下のように評価できる。

- ①海藻群落が持続的に形成され、藻場環境としての適性が確認された。
- ②良好な藻場の形成に伴い、動物の蟄集も確認され、産卵場、稚仔魚の保育場、餌場などの多様な機能の発現が確認された。
- ③良好な藻場が形成されている要因は、生育に必要な光量子の確保や生育を阻害する浮遊砂の払拭などの環境因

子が整っていることにある。

6. 今後の課題

今回の検討により、『釧路港島防波堤背後盛土起伏工は、水生生物との共生型防波堤として、藻場環境の形成・維持により大きな効果が期待される。』と評価できた。今後は、藻場における海藻現存量の推移、植物相の遷移過程等長期的変化をモニタリングする必要がある。

参考文献

- 1) 海の自然再生ワーキンググループ著(2003) : 海の自然再生ハンドブック藻場編, pp. 10, (株)ぎょうせい.
- 2) 北原繁志・繁本 護・根本任宏・丸山修治(2008) : 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.
- 3) (社)寒地港湾技術研究センター編(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-藻場・産卵礁機能編-, pp. 13.
- 4) 森 信幸・橋詰知喜・丸山修治・坪田幸雄(2002) : 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.
- 5) 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.
- 6) 吉川浩二・斉藤雄之介(1972) : 泥の堆積および濁りがワカメの配偶体と芽胞体の成長に及ぼす影響について, 本四架橋漁業影響調査書, 日本水産資源保護協会, pp. 159-168 .