

函館漁港の自然調和型防波堤について

函館開発建設部 函館港湾事務所 第2工務課 ○高橋 秀則
横山 大介
中山 学之.

昭和35年に建設された函館漁港北防波堤は、老朽化が進み、越波により、岸壁への漁船の係留および本施設背後のプレジャーボートの安全な係留に支障をきたしていた。

これらの解消を図るため、既設北防波堤約130mの改良をすすめている。なお、改良にあたっては、本施設周辺は磯焼けによる漁場の荒廃が著しいことから、防波堤前面に潜堤を設置し、自然調和型の機能をも有した構造とした。

本報告では、①構造決定の考え方、②潜堤完成後、約1年経過したことから潜堤およびその周辺における藻場造成の効果等について報告するものである。

キーワード：自然環境、再生・回復

1. はじめに

函館漁港は、渡島半島の南東部に位置し、函館港の西側に近接した第3種漁港である。明治29年に近代土木の父として有名な廣井勇博士によって建設された石積防波堤が現存している。また、前浜に広がる豊富なイカ漁場を拠点に北海道におけるイカ釣り陸揚げ基地として全国的に利用されるなど、重要な役割を担っている。昭和35年に整備された北防波堤は老朽化が進み、また、既設天端高さがDL+2.0mと低くなっており、越波による港内擾乱のため漁業活動だけではなく、本施設の直背後で係留されているプレジャーボートにも支障を来していたことから、防波堤の改良が強く望まれていた。さらに、本施設の周辺は磯焼けによる漁場の荒廃が著しいことから、藻場の造成のための自然調和型の機能を導入することも強く望まれていた。

本報告では、構造決定の経緯、建設前の事前調査および建設後のモニタリング調査の結果を用いて、潜堤完成後、約1年経過した自然調和型防波堤の効果について報告するものである。

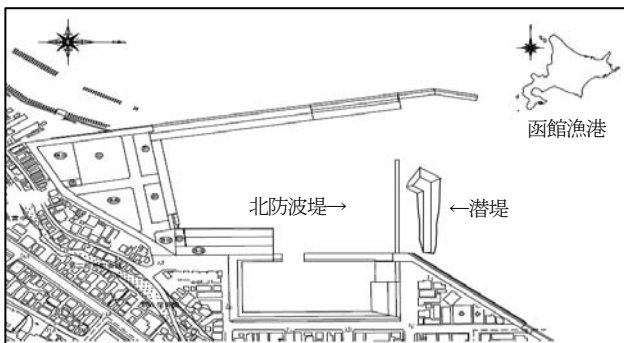


図-1 函館漁港平面図

2. 構造決定の考え方

本改良事業を実施するにあたり、平成16年度に計画地周辺の生物生息・生育状況を把握するために海域生態調査を行った。また、平成18年度～平成19年度にかけて計画地近傍において、①周辺環境が藻類の成長に適正な環境であるか、②磯焼けの主要原因がウニ類 (*Echinoidea*) の食圧であるか、を把握するためにマコンブ (*Saccharina japonica*)、ガゴメ (*Saccharina sculpera*) の種苗を用い、成長実験を行った。これらの調査・実験結果を用いて、平成19年度に自然環境調和型防波堤の構造検討、基本設計を行い、潜堤は平成21～22年度にかけて建設された。

建設後のコンブ類 (*Laminariaceae*) の初期発生時期 (平成23年2月) および藻類の最成長期 (平成23年6月) に対象構造物およびモニタリング調査を実施した (以上の時系列を表-1に示す)。

表-1 調査、施設建設の経緯

項目	時期(期間)	事業主体
事前調査	平成16年9月	函館港湾事務所
	平成17年2月	
マコンブ、ガゴメの成長実験	平成19年2月～平成20年3月	函館市
		函館市漁業協同組合
施設建設	第1期工事:平成22年1～3月	函館港湾事務所
	第2期工事:平成22年4～6月	
建設後のモニタリング調査	平成23年2月	函館港湾事務所
	平成23年6月	

以下に事前調査結果の概要、構造決定の考え方を記す。

(1) 事前調査結果の概要

調査位置図を図-2に示す。北防波堤および前面の天

然岩礁において、また、水深等の違いにより、生物生息環境が異なると考えられる6測線を設定し、潜士により付着動植物について目視観察ならび水中写真撮影を行った。

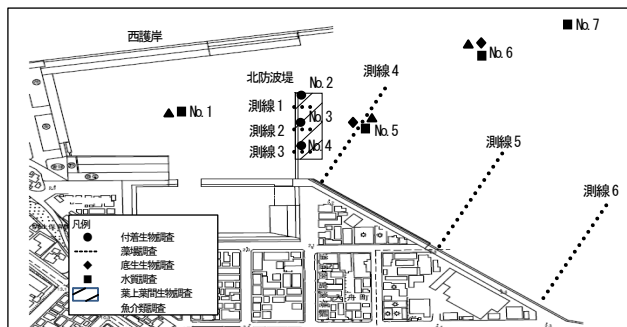


図-2 事前調査位置図

事前調査結果の概要を以下に示す。

- ① ウニ類の生息密度は非常に高く、いずれの時期においても4.0個体数/m²を上回っている(表-2)。これより、ウニ類が藻類の成長阻害となっているものと推察される(町口ら,1998、菊池ら,1981、沢田ら,1981)。
- ② 北防波堤前面の海域は、水深1m以深では、マコンブ、ワカメ(*Undaria pinnatifida*)などの大型褐藻類は全く生育しておらず、無節サンゴモ類(無節石灰藻)、キタムラサキウニ(*Strongylocentrotus nudus*)、エゾバフンウニ(*Strongylocentrotus intermedius*)が優占する「磯焼け」の海底である(図-3)。
- ③ 大型褐藻類は、汀線付近の水深1m以浅の岩礁帯や消波ブロック、北防波堤の水面際にわずかにみられた(図-4)。

表-2 ウニの生息密度

調査時期	調査エリア	ウニ類の生息密度(個体数/m ²)	
		平均	最大
平成16年9月	構造物	4.2	12
	天然岩礁	4.9	14
平成17年2月	構造物	5.8	15
	天然岩礁	4.1	11

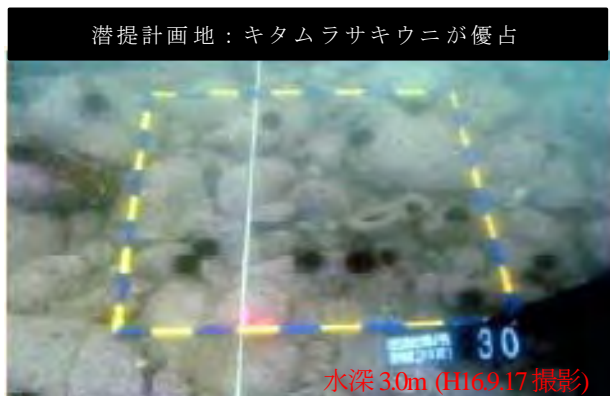


図-3 北防波堤前面の磯焼けの状況



図-4 北防波堤前面海域の状況

(2) マコンブ・ガゴメの成長実験結果の概要

北防波堤前面海域の水深6mの海底上約1.2mに、マコンブおよびガゴメの種苗を取り付けた基質を平成19年4月7日に設置した(図-5)。なお、支柱には食害を極力回避することを目的にウニ返しを取り付けた。

設置後、平成20年3月までに6回の潜水調査により、成長状況、ウニによる食害の状況を観察した。

成長実験結果の概要を以下に示す。

- ① マコンブ、ガゴメともにウニの食害を受けずに、7月まで葉長約1m未満で群落を形成した(図-6)。
- ② マコンブ、ガゴメともに10月24日に再生葉がみられ、2年生へと移行していることを確認した。しかし、葉長が1.2mを超えて海底面に到達している葉体からウニが海藻群落に進入し始めているのを確認した。
- ③ 3月19日には、マコンブ、ガゴメともにウニの食害を受け、海藻群落がほぼ消失していた。
- ④ 以上より、本海域ではウニの食害を防止することにより、海藻群落を形成することが可能であることが示唆された。

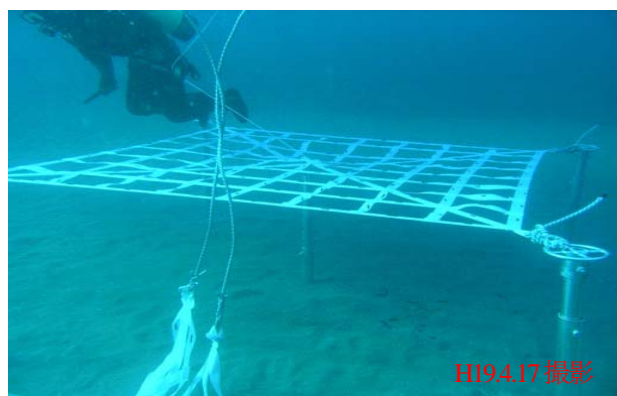


図-5 マコンブ・ガゴメの種苗着生基質の設置状況



図一六 マコンブ・ガゴメの繁茂状況

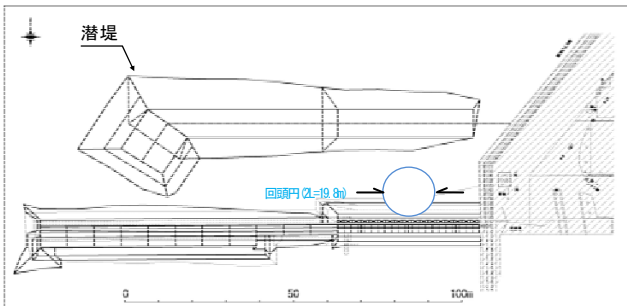
(3) 函館漁港北防波堤の改良について

北防波堤の改良は、① 既設構造物の健全度調査の結果より上部工は劣化が著しいが、本体ブロック及びケーソンについて健全度に問題がなかったことから、コストおよび工期縮減を図るため、既設構造を極力活用した改良とする。② 藻場造成機能を付加させた、自然調和型防波堤の構造とする。③ 藻場造成機能の対象種は、地元からの要望によりウニ類やエゾアワビ(*Haliotis discus hannai*)の餌料となるマコンブ、ワカメなどの大型褐藻類とする。④ 地元からの要望により既存の藻場を消失させないため、消波ブロック被覆堤の構造形式は採用しない。⑤ 潜堤の材料は、本漁港周辺のコンブの着生状況の特性及び道内における自然環境調和型工法の先進事例を勘案して石材を用いることとし、設計波から算定した所要の質量以上(1,900kg/個以上)を使用する。

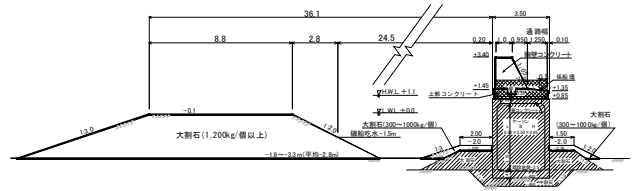
以上より構造形式は、コスト、施工性や藻場機能の付加の可能性を考慮し、図一七～八に示す重力式混成堤(前面潜堤)重力式混成堤とした。

(4) 潜堤の構造形式について

潜堤の天端高さは、ウニの食害を低減することが可能な有義流速25cm/s以下の発生頻度が40%未満(竹田ら, 1999)となるような構造とし、数値計算によりDL-1.0m、-0.5m、-0.1mの3種類で検討を行いDL-0.1mとした。なお、潜堤の天端幅は衝撃砕波を回避できる幅とし、混成堤からの距離は、潜堤背後水域で潜堤に生息するウニ等の海底生物を捕獲するための磯船等の小型船舶の出入りおよび回頭可能な距離を考慮して決定した。



図一七 北防波堤および潜堤の平面図



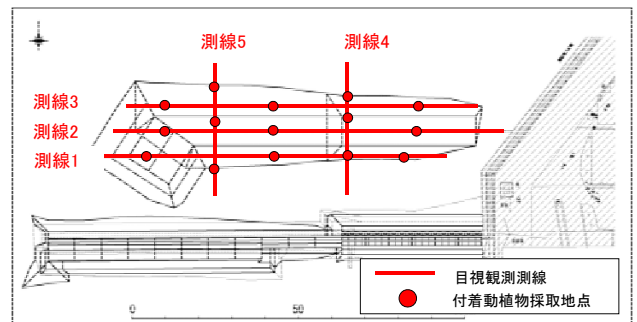
図一八 重力式混成堤(前面潜堤)

3. 潜堤建設後のモニタリング調査について

潜堤建設後のモニタリング調査は、平成23年2月期と平成23年6月期に実施した。調査内容および調査結果の概要を以下に示す。

モニタリング調査は、潜水士によるライントランセクト調査による動植物の目視観察、付着動植物採集・分析、ラジコンヘリによる潜堤、漁港構造物および周辺海域の空撮ならび空撮画像解析による藻場領域の算定(清水ら, 2010)を行った。なお、潜堤周辺の流動環境を把握し、潜堤による波浪の減衰率およびウニの食圧軽減効果(潜堤天端上の流速)を把握するために、平成23年2月期のみ波浪・流況調査を実施した。

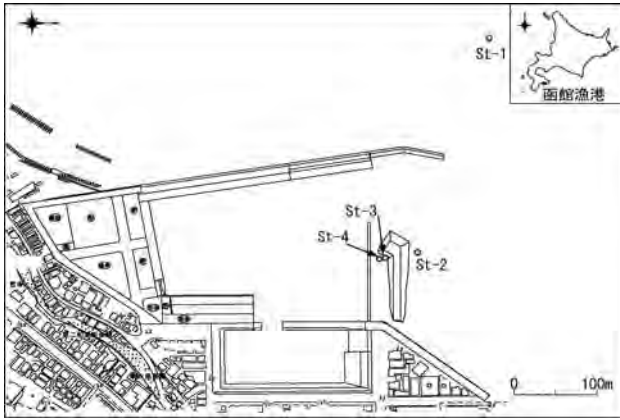
① 目視観察は、潜堤上においては水深等の違いにより、生物生息環境が異なると考えられる5測線を設定した。また、付着動植物は、1測線当たり植生の異なる3地点を選定し、生物採集を行った。目視観察測線および付着動植物採取地点を図一九に示す。



図一九 目視観察測線および付着動植物採取地点

② 空撮は、ラジコンヘリに約1,720万画素の解像度有する高解像度カメラ搭載して函館漁港を中心に沿岸線に沿って両側約1kmの範囲を撮影した。なお、撮影高度は撮影範囲が函館空港から近傍のため、航空法による制限高度200m未満とした。空撮画像を用いて、清水ら(2010)の手法に準じて潜堤および撮影範囲内の自然岩礁ならび構造物における藻場の形成領域を算定した。

③ 波浪・流況調査は、ハイブリッド式波高計(WAVE HUNTER)および小型流速計(Infinity-EM)を用いて沖合、潜堤前面、潜堤上および潜堤背後の4地点について約1ヶ月間の観測を行った。観測位置を図一十に示す。



図—10 波高・流速調査観測位置

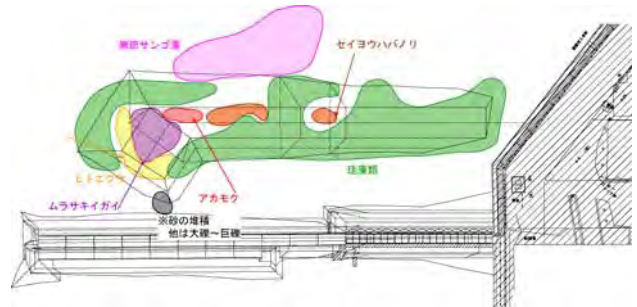
(1) 調査結果の概要

① 目視観察結果の概要

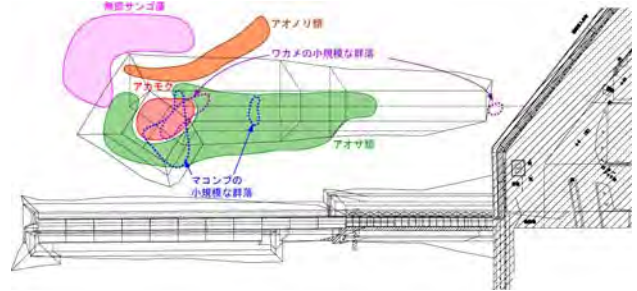
潜堤周辺における魚類の目視確認状況および付着動植物の分布について表—4に示す。また、代表種の平面分布状況を図—11~12に示す。
2月期はマコンブの発生期初期で、幼孢子体がわずかにみられたりだけである。一方、6月期には発生、成長し、先端部周辺で小型の群落を形成している。2月期には基部から中間部にかけて優占した珪藻は6月期に消失し、中間部から先端部にかけてアオサ属が優占している。2月期から先端部で小型の群落を形成していたアカモクは、6月期により成長・発達している。

表—4 代表生物の目視確認状況

魚類	2月(冬季)の調査時には、潜堤周辺では魚類が全く見られなかった。
	6月(春期)では、先端部のアカモク(ホンダワラ類)群落を中心にウミタナゴの群れの他、数種類の魚類を目視で確認した。
メガロベントス	ウニ類 昨年度2月(冬季)の調査時より減少している。海藻群落が形成されているところでは見られない。 潜堤の法面と海底面に多く生息している。天端周辺では、基部から20~40m付近に生息しているだけである。 3月に漁業者が駆除(市ヒアリング)。その他、漁獲による影響が、市役所および漁組への確認。
	エゾアワビ 2月期では、潜堤付近では全く見られなかった。季節による深淺移動。海藻の初期発生時で、潜堤には餌料が少ない。 6月期では1測線当たり約10個体以上を目視で確認した。藻場の形成により天然のアワビが移動(侵入)してきたものである。
海	コンブ類 2月期には、初期発生時で幼体(幼孢子体)が1地点でわずかに見られたりだけであった。 6月期では、潜堤の先端付近やアカモクの下や水面付近で生育しているのを確認した。
	ワカメ 2月期には、潮間帯付近で小型の幼体(幼孢子体)が多く見られた。 6月期では、潜堤の先端部の水面付近で繁茂しているのを確認した。
藻	アオサ属 2月期には、全く見られなかった。アオサ属の発生(発芽)時期が調査後である。 6月期では、潜堤基部から約30m付近から先端部にかけて、大型の群落を形成している。ウニ等の餌料効率は高い。西日本で食用。
	アカモク 2・6月期の調査とも、潜堤の先端付近で群落を形成している。幼稚魚の保護育成機能。ウニ等の餌料。西日本で食用。
	ケウルシグサ 潜堤の沖側で水深3~5m付近に大型の群落を形成。「磯焼けの遷移過程」として評価される代表種。ウニは摂食しない。

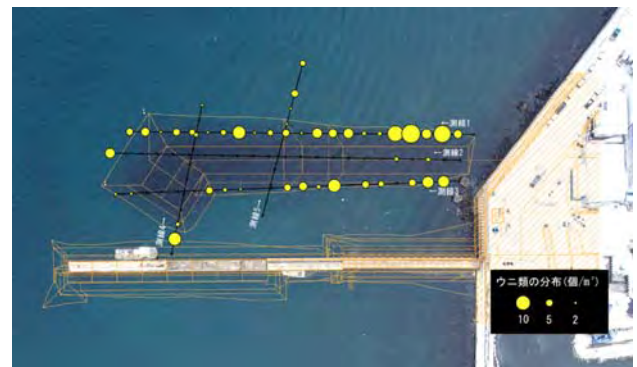


図—11 潜堤の状況(平成23年2月期)

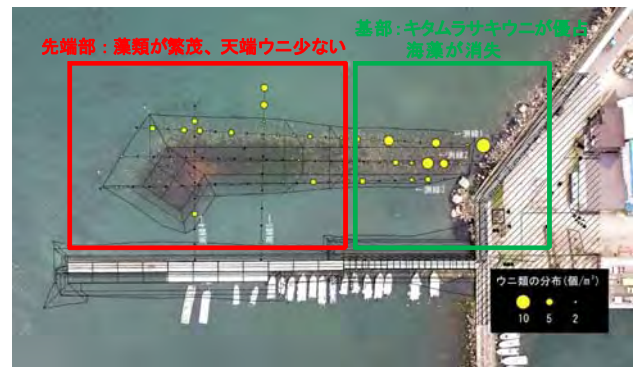


図—12 目視観察の概要(平成23年6月期)

潜堤におけるウニ類の分布状況を図—13~14に示す。



図—13 潜堤におけるウニ類の分布状況(平成23年2月期)



図—14 潜堤におけるウニ類の分布状況(平成23年6月期)

2月期では、潜堤の前後の法面に高密度で生息しているが、天端上には基部付近に僅かに生息している(図—14)。一方、より静穏度が高まる6月期にはウニ類の生息範囲が拡大し、潜堤の天端上でも基部付近から中間部付近にまで生息している。

このように時期によりウニ類の生息範囲に相違がみられるのは、潜堤の先端部と基部付近では天端上における流動環境が影響しているものと推察される。これからも、『海藻群落の形成』と『ウニの生息密度』とは密接な関係があることを示唆している。

『ウニ類』と『コンブをはじめとする藻類』は、捕食者、被食者の関係にある。よって、ウニ類の生息密度が高ければ、藻類に食圧を与え、いわゆる「磯焼け」への極相へ進行する。

『ウニ類の生息密度』と『藻場の形成』に関しては様々な研究報告があり、代表的な例として、a) エゾバフンウニ現存量が2個体/m²を超えるとコンブ群落が形成されない(町口ら,1998)。b) 日本海沿岸におけるキタムラサキウニの場合では、磯焼け地帯の日本海側に多く分布するキタムラサキウニが1m²当たり200g以上生息すると海藻の植生に大きな影響を与える(菊池ら,1981)。c) キタムラサキウニ1個体当たり50gとすると、1m²当たり4個体以下にしないと海藻類は生育しないこととなる(沢田ら,1981)などがあげられる。

ウニ類の生殖腺重量(可食部)を図-15に示す。

2月期から6月期にかけて、海藻群落の形成に伴い生殖腺重量が増大している。なお、生殖腺が衰退する2月期において、生殖腺が15%を超える個体が2個出現していることから、餌料量が確保できればこの海域でも2回/年の生殖腺増大期があることが窺える。

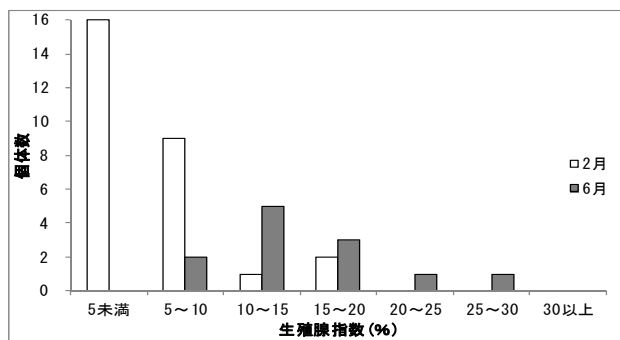


図-15 ウニ類の生殖腺重量(平成23年2月、6月期)

② 潜堤天端上の流速

波高・流速観測結果から、各地点における有義波動流速振幅を、図-16に示す。また、ウニの摂餌行動を制限する20cm/s以上の流速(川俣,2001)を図-18に示す。

堤天端上(St.3)において、20cm/s以上の有義振動流速は35%以上発生しており、このエリアにウニ類が侵入・摂食しにくい流動環境であったものと推察できる。一方、潜堤天端以外では、20cm/s以上の有義振動流速の出現頻度は5%未満で海藻があればいつでも摂食することが可能な環境であり、海藻群落を形成していないことの裏付けとなる。

③ 潜堤による波浪の減衰効果

潜堤前面St-2と潜堤背後St-4での波高を比較結果を図-18に示す。潜堤通過後で約20%減衰しており、その相関係数は約0.9以上であった。

④ 潜堤における藻場現存量の推定

6月期における空撮画像を用いて、画像解析により主な藻類の種類別生育面積と付着植物の分析結果から、藻場の現存量を推定した。画像解析結果を図-19に示す。

これより潜堤上には、アカモク (*Sargassum homeri*) 1,708kg、マコンブ 485kg、ワカメ 296kg、マツモ (*Ceratophyllum demersum*) 21kg、アオサ属 (*Ulva*) 2,478kg の海藻が生育している。

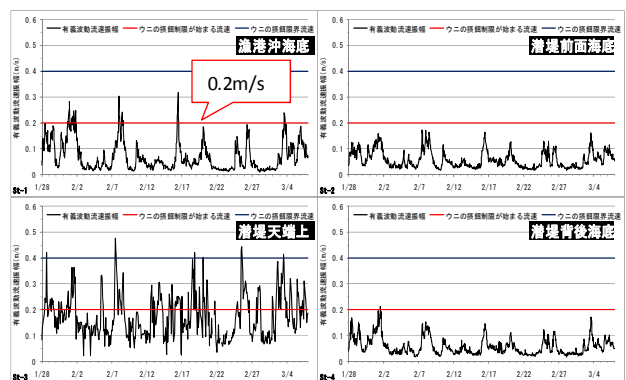


図-16 各地点における有義波動流速振幅

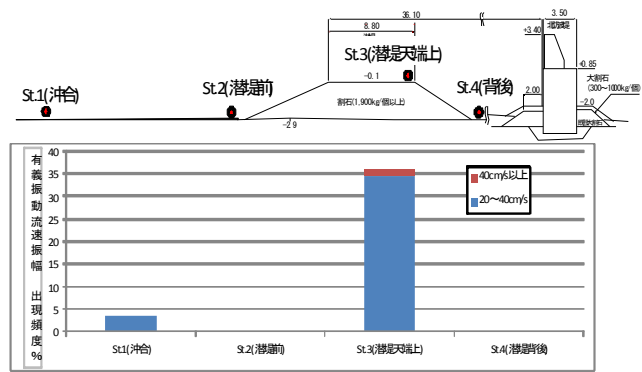


図-17 各地点における20cm/sの出現頻度

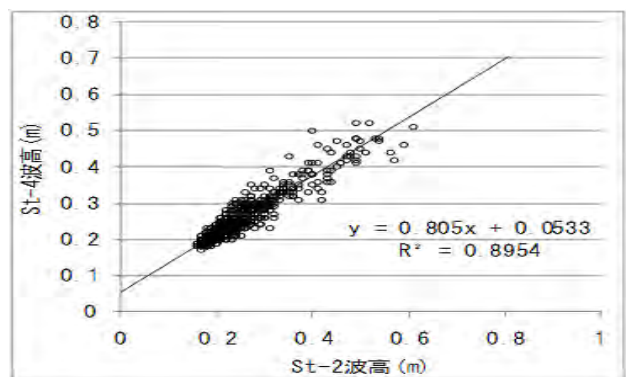
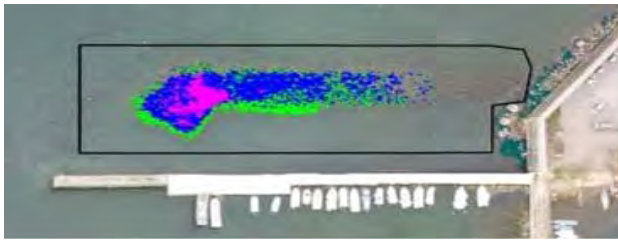


図-18 潜堤前後の波高の相関



凡例		面積 (m ²)		
■ アナアオサ、モロイトグサ、マコンブ、ワカメ他	■ アカモク、ワカメ、マコンブ他	■ アナアオサ、マコンブ他	■ ワカメ、フシスジモク	
領域1: 潜堤		青色	赤色	緑色
		541	134	300

種	和名	面積 (kg)			合計
		青色	赤色	緑色	
緑藻	アナアオサ	1167	0	874	2041
	アオサ属の1種	124	0	256	423
褐藻	マツモ	0	21	0	21
	カタロリ	0	2	0	2
	セゴウハバノリ	0	0	0	0
	アカモク	6	0	0	6
	ワカメ	76	221	0	296
	マコンブ	303	161	21	485
	フシスジ	0	1708	0	1708
	フシス	1	1	2	4
	メダハリ	1	0	0	1
	ネガイシ	393	59	2	454

図—19 潜堤における藻場現存量の推定図

4.まとめ

潜堤建設前の平成16年度には、計画地周辺にはマコンブやワカメなどの大型褐藻類は、汀線付近の水深1m以浅の岩礁帯や消波ブロック、防波堤の水面際にわずかにみられるだけで、無節サンゴモ類(無節石灰藻)、キタムラサキウニ、エゾバフンウニが優占する「磯焼け」の海底であった(平成16年度 福島漁港外1港環境調査業務【函館漁港編】報告書, 函館港湾事務所)。

この周辺でのウニ類は、餌料となる藻類が極端に少ないことから、身入りが悪く漁獲対象とはならない(漁業協同組合ヒアリングより)。

一方、潜堤建設後の平成23年6月には、潜堤上に水産有用なアカモク、マコンブ、ワカメ、マツモ、アオサ属などの群落を形成している。これらの藻類は、ウニ類、アワビ類の餌料としても価値が高い。

この他、平成23年2月期には稚ウニ類、稚アワビの餌料として有効な珪藻が、潜堤基部から中間部付近に優占している。

しかし、平成23年6月において、①潜堤の基部付近では藻類は生育していない。②大型褐藻類は、潜堤の先端部付近でしか繁茂していない。③潜堤周辺および基部付近のウニ類の生息密度が高く、海藻群落に食圧を与えている。これらは、潜堤周辺の海底面の軌道流速とウニ類の摂食行動関係により、藻類とウニ類の分布が制限されているものと推察している。

5.今後の課題

今後、コンブやワカメのような大型褐藻類の分布域を拡大していくためには、以下の対策等を行う必要がある。

- ①植生の分布の要因を把握するため、潜堤における流速等物理環境の把握を行う。
- ②潜堤の建設後、1年目のモニタリング調査の結果であることから、今後、藻場の分布と分布量の調査を継続していく。これは、植生は今後遷移していく可能性もあること、また、マコンブは2～3年生であり

再生を確認することも重要である。さらに、アカモクは1年生で来年以降の群落の形成状況について把握する必要があるためである。

- ③モニタリング結果を踏まえ、利用者による潜堤藻場の利用計画を具体的に策定していくとともに、ソフト対策(漁獲としてのウニ駆除、スポアバック・種苗などの投入)を実施していくことが必要である。

6.おわりに

本施設に自然調和型の機能を導入することについては、「函館漁港自然調和型漁港づくり推進事業計画」を策定し、成21年5月28日に水産庁より承認を得た。上述の計画では、自然調和型の機能の導入により、漁港近郊で安定的に漁業活動をおこなうことが可能となり、これまで遠方の漁場に要した費用を時間および経費の削減、また、ウニの一時蓄養の飼料用のコンブを潜堤のコンブを活用することで、飼料購入経費を削減できる等の効果が期待されている。このことからこれらの効果が早期に発現されるよう関係者と連携して進めていくことしたい。なお、ソフト対策の一環として函館市および函館漁業協同組合において、平成23年3月にキタムラサキウニ約300個体の駆除を実施した。

最後に、マコンブ・ガゴメの成長実験結果を提供していただいた函館市水産課および函館市漁業協同組合、また、海域流速調査の際に観測機器を貸与していただいた寒地土木研究所にお礼を申し上げる。

—参考文献—

- 1) 北海道開発局監修, (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構造物の設計マニュアルー藻場・産卵機能編ー
- 2) 水産庁漁港部(1999); 自然調和型漁港づくり技術マニュアルー藻場機能の付加ー
- 3) 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, 海岸工学論文集, 第67巻, pp1106-1110
- 3) 町口祐二, 山下卓也, 伊東公人, 谷野賢二(1998); 岩礁性底棲生物の波浪環境下における棲み場の評価, 海洋開発論文集, VOL. 14, pp. 34-40
- 4) 川俣茂(2001): 北日本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, 59-107p.
- 5) 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, pp1221-1225
- 6) 菊池吾吾, 浮 永久(1981): アワビ・ウニ類とコンブ類藻場との関係, 藻場・海中林, 水産学シリーズ 38, 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, 9-23.
- 7) 沢田満, 三木文興, 足肋光久(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.
- 8) 清水恵理子, 佐藤仁, 渡辺, 鳴海日出人(2010), 沿岸構造物における藻場の形成要因に関する研究, 日本水産工学会
- 9) 川俣茂(2001): 北日本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, 59-107p.