

14.8 自然環境調和機能を有する寒冷地沿岸施設の維持・管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金(一般勘定)

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水産土木チーム

研究担当者：山本潤、岡元節雄、佐藤仁、河合浩、須藤賢哉、大橋正臣

【要旨】

近年、地球温暖化に伴う寒冷気象環境の変化に対応した社会資本ストックのより適切な維持管理と沿岸生産環境の持続的な技術開発が求められている。静穏域の確保等を目的として整備された港湾・漁港施設等の沿岸構造物は、その擬似岩盤効果により藻場が創出される自然環境調和機能を有している。しかしながら、海水温の上昇といった大規模な環境変化等によって、当初期待された自然環境調和機能が低下する事態が増加している。特に、北海道日本海側での藻場の消失（磯焼け）が深刻で、同地域の自然環境調和型構造物における藻場機能の低下が懸念され、早急な対策が求められている。

本研究は、積雪寒冷地における沿岸構造物の自然環境調和機能の低下の原因及びその対策について検討し、機能回復のための維持・管理手法に関する技術開発を行うものである。平成 24 年度は現地実証試験における効果検証を行い、環境変動に伴う自然環境調和型沿岸構造物の維持管理手法に係わる事業計画を立案した。また、事業実施においては順応的管理、地域協働を用いた評価手法を提案した。

キーワード：自然環境調和型構造物、藻場、磯焼け、順応的管理、地球温暖化

1. はじめに

土木構造物の戦略的な維持管理を通じて、社会資本ストックの安全性・機能性を確保することは、持続可能な地域社会や地域活性化の実現を図る上で重要である。特に、積雪寒冷地の厳しい自然環境下における土木構造物は複合劣化や気象変化による影響が大きく、近年、その機能低下が顕著である。

社会資本ストックの一つとして、沿岸域の静穏域確保等を目的として整備された港湾・漁港施設等の沿岸構造物は、図-1 に示すようにそれ自体が魚礁および産卵礁の機能を有するとともに、藻場が創出される機能を有している。藻場は海洋生物の産卵場、摂餌場あるいはそれ自体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²⁾。そこで、限られた沿岸域の水産資源を有効に利用するため、沿岸構造物が本来有する機能に加えて、これらの生物生息場としての機能を積極的に付加することが求められている。その様な中、北海道内では 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（図-2）。しかしながら、近年の海水温の

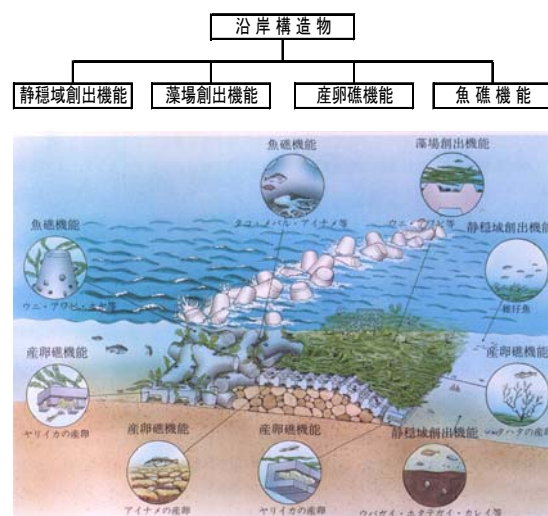


図-1 沿岸構造物の自然環境調和機能¹⁾

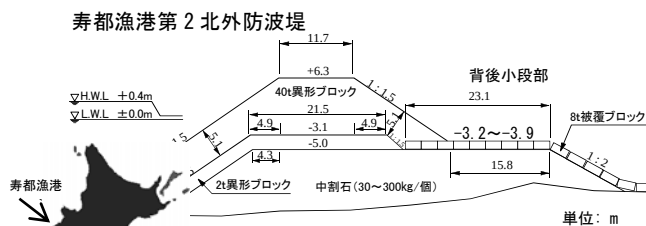


図-2 自然環境調和型沿岸構造物（背後小段付傾斜堤）

上昇といった大規模な環境変化等によって、当初期待された自然環境調和型沿岸構造物の環境調和機能が低下する事態が増加している。特に、北海道日本海側での藻場の消失（磯焼け）が深刻な問題となっており、同地域に整備された自然環境調和型構造物における藻場機能の低下が懸念され、早急な対策が求められている。

本研究は、これまで整備された積雪寒冷地における自然環境調和型構造物の藻場機能としての維持・管理技術の開発を行うものである。平成 23 年度は、現地調査等による現状把握と同機能の低下原因の分析を行い、コンクリート構造物としての機能維持・管理のための課題整理、対策手法の検討を行った。平成 24 年度は現地実証試験における効果検証を行い、環境変動に伴う自然環境調和型沿岸構造物の維持管理手法に係わる事業計画を検討した。また、事業実施においては順応的管理、地域協働を用いた評価手法を提案した。

2. 自然環境調和機能を有する寒冷地沿岸施設の維持・管理手法について

これまでに整備されてきた沿岸施設が有する自然環境機能を対象に、施設の維持・管理を通して、低下した自然環境調和機能を回復させることが重要である。具体的には、磯焼けの影響を受けている中で、自然環境調和機能の効果を持続させるためには、図-3に示すような「ウニ駆除」、「人工動揺基質」、「表面形状の工夫」および「施肥」など公共・非公共を問わずあらゆる手法を導入して対処する必要がある。

上記の磯焼け対策については、これまでも様々な検討³⁾⁴⁾⁵⁾がされている。しかしながら、コンクリート構造物としての沿岸施設が有する自然環境調和機能を対象として、施設の維持・管理、藻場・産卵場

機能を回復させる手法を確立する必要がある。各地の磯焼け海域における環境変動を考慮した沿岸施設の事前（維持管理計画）・事後（順応的管理）対応方策の提案を行うことで、既設沿岸構造物における環境の保全・再生を考慮した効率的なストックマネジメントが図られるものと考えられる。

3. 研究の方法

平成 23 年度は、自然環境調和機能の維持・管理手法の提案に資するため、寒冷地沿岸施設の自然環境調和機能に関する現地調査を実施し、現状把握と原因の分析を行った。

調査対象とした北海道日本海側に位置する寿都漁港の平面図を図-4 に示す。背後小段付傾斜堤として整備された防波堤(L=100 m)は、寿都地先約 500 m 沖の水深約 10 m 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

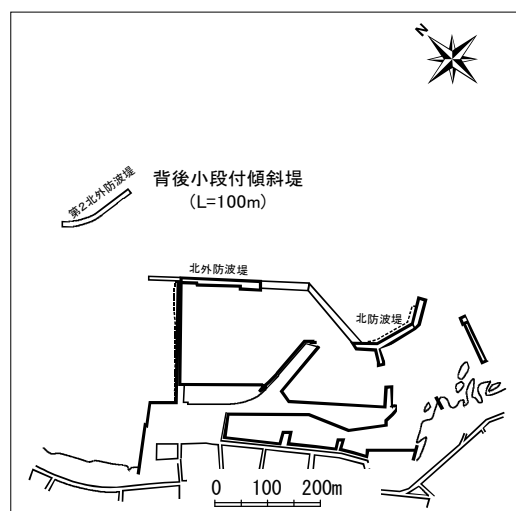


図-4 寿都漁港

表 - 1 海藻現存量の調査年

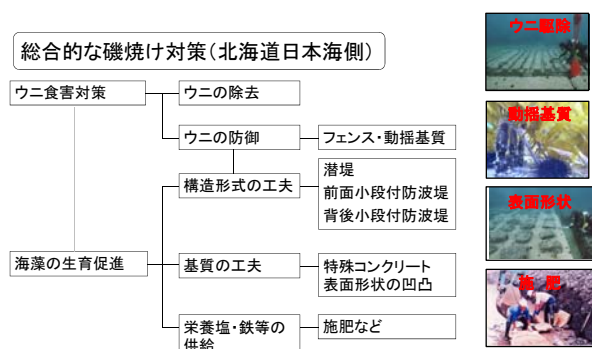


図-3 総合的な磯焼け対策

經過年	西曆	調查月
0	1997	施設完成
1	1998	July
2	1999	July
3	2000	August
10	2007	July
11	2008	June
12	2009	February June
13	2010	February June

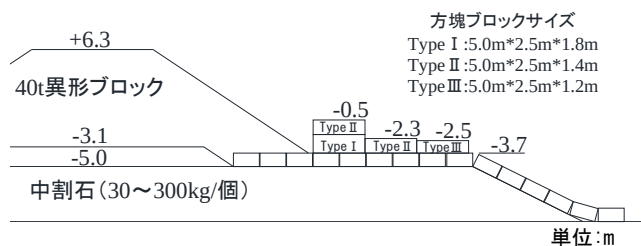


図-5 ブロック設置による嵩上げ



図-6 嵩上げ施工状況

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。この背後小段における海藻繁茂に関するこれまでの現地調査（海藻現存量把握）は、表-1に示すとおり施設完成後から2010年（13年経過）まで夏季の海藻繁茂期を中心に計9回実施されてきた。なお、2009年と2010年は、ホソメコンブの幼芽時期である2月についても調査を実施している。この調査結果を用いて、施設完成から十数年経過した背後小段構造物の海藻繁茂状況（現存量等）の長期的な変遷を把握した。

平成24年度は、前年度に引き続き嵩上げ実証試験による藻場回復効果の検証を行った。施工は小樽開発建設部小樽港湾事務所の協力を得て、平成23年度からの検討に間に合うよう、平成22年9月に図-5、図-6に示すとおり、既設背後小段天端上にL 5.0 m×B 2.5 m×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背後小段環境を作った。また、直轄による磯焼け対策事業の計画立案に資するため、①コンブ藻場を維持回復させるための対策の事業化の検討、②沿岸域の自然再生に用いられる順応的管理手法を用いた対策施設の設計条件の検討、③施工時における地域協働を活用するための手法確立について検討した。

4. 結果と考察

4. 1 海藻の現存量と環境条件

各調査年の海藻繁茂期におけるホソメコンブの現存量と生育環境因子として冬季（2月）の平均水温との関係を図-7に示す。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、その年の冬期水温に強く依存しており年変動が大きい。

ホソメコンブの現存量は、冬期水温を用いた被食圧の関係式(1)で算定され、水温約5℃を境界として低水温ほど現存量が大きいといえる。この理由として、背後小段上は当該海域の水産有用種でかつ植食動物でもあるキタムラサキウニ(*Strongylocentrotus nudus*)が高密度に生息していること、さらには、冬期の高水温により本来休眠状態であるはずのキタムラサキウニの摂餌が活発となることから、海藻の幼芽・生長期に悪影響を与えているものと推察される。

次に、図-8は2007~2010年における背後小段上と天然岩礁におけるホソメコンブの生育水深別の現存量（繁茂期）を示したものである。水深約4 mに位置する背後小段上の現存量は、前述の冬期水温の場合と同様に年変動が大きく、現状の背後小段構造では藻場造成効果が継続して発現できない状況が明らかである。

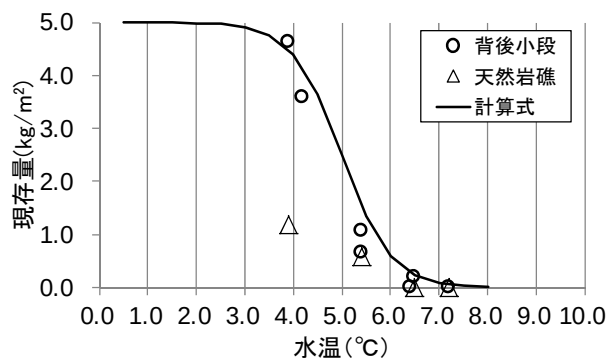


図-7 ホソメコンブの現存量と冬期水温（2月）

$$W = \frac{W_0}{1 + \alpha \times \exp(\beta(t - t_c))} \quad \dots\dots\dots(1)$$

W_0 : 最大現存量 (5 kg/m²)

t : 水温, $t_c=5$ °C, $\alpha=1$, $\beta=2$

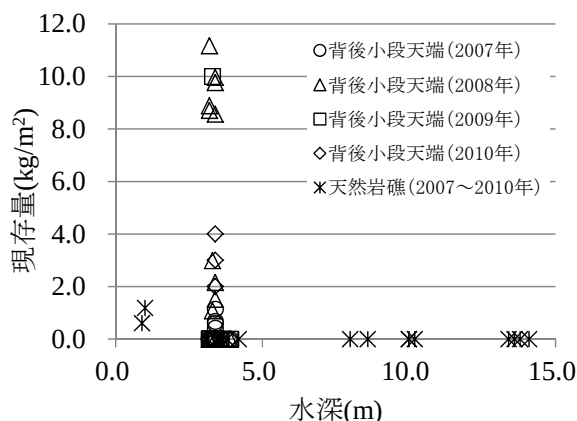


図-8 ホソメコンブの現存量と生育水深

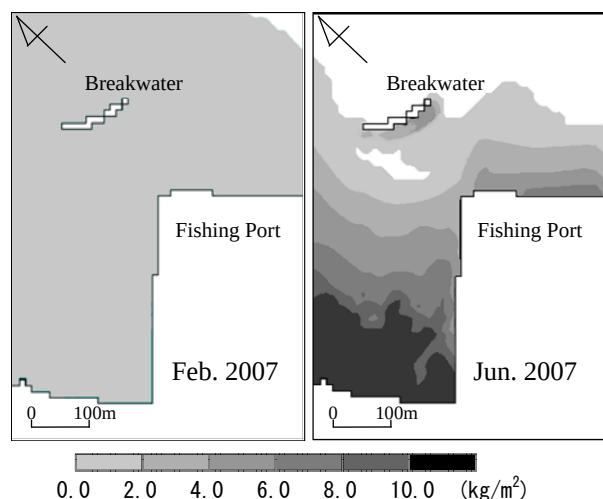


図-9 ホソメコンブの生育分布

4.2 海藻繁茂の経年変化

桑原ら⁶⁾⁷⁾による光強度・水温・流速・栄養塩等の環境因子を変数とした海藻の生産量推定式を用いた藻場造成予測モデルを用いて、背後小段上のホソメコンブの現存量を算定した。表-1に示すモニタリングによるホソメコンブの現存量データがある5カ年分について、当該年の海象条件や環境因子をパラメーターとして計算を実施した。また、ウニの摂餌によるホソメコンブの減少量も考慮している。

計算結果の代表例として、2007年の2月と6月のホソメコンブの生育分布を図-9に示す。2月は、まだホソメコンブは幼芽の時期であることから生産量は少ないが、徐々に生長し6月の繁茂期には、生産量が増大している状況が再現されている。

次に、計算結果とこれまで実施したモニタリング調査との比較を行った、図-10は1998年～2000年、2007年～2009年における背後小段上のホソメコンブ現存量の経年変化を示したものである。図中の棒グラフは、モニタリング調査によるデータを現存量1として示した。現存量2(□)は、前述の計算結果の値を示した。さらに、改良型モデルの計算結果を現存量3(○)として同図に示した。最後に、冬期の水温状況として2月の値を図示した。

背後小段上の藻場環境について著者ら⁸⁾は、冬期の水温が約5℃を上回ると背後小段上のホソメコンブの現存量は大幅に減少し、近年の冬期の高水温により本来休眠状態であるはずのキタムラサキウニの摂餌が活発となり、海藻の幼芽・生長期に悪影響を与えていると指摘している。図より、冬期水温と現存量との関係を見ると、モデルによる計算値で示した現存量も冬期水温が低い程大きくなっている。

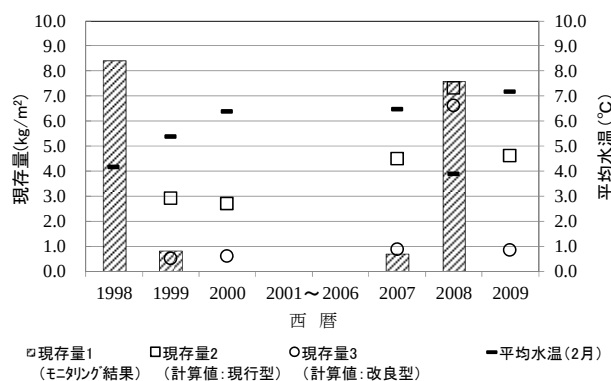


図-10 現地調査とモデルによるホソメコンブ現存量の比較

4.3 背後小段の嵩上げによる藻場回復効果

現在の背後小段上の流動環境では、ウニの摂餌圧を抑制することができず、冬期水温が2009年と同等の状況が継続した場合、藻場を維持できないものと考えられる。このような高水温の状況下でも、ウニの食害を抑止する流速を確保するためには、背後小段の天端を嵩上げする対策が必要と考えられる。嵩上げを実施した水深帯付近は、既設背後小段天端に比べて振動流速が大きくなり、嵩上げ部へのキタムラサキウニの侵入が抑制されるものと推察される。この改良手法により、背後小段上はキタムラサキウニによる食害が抑制され、藻場が回復するための環境が創出されると期待できる。

海藻繁茂期にあたる2011年6月と2012年6月における天端水深-0.5mに設置したブロック上面の状況を図-11に示す。既設天端部は海藻の着生が見られず磯焼け状態のままであるが、天端水深-0.5mで

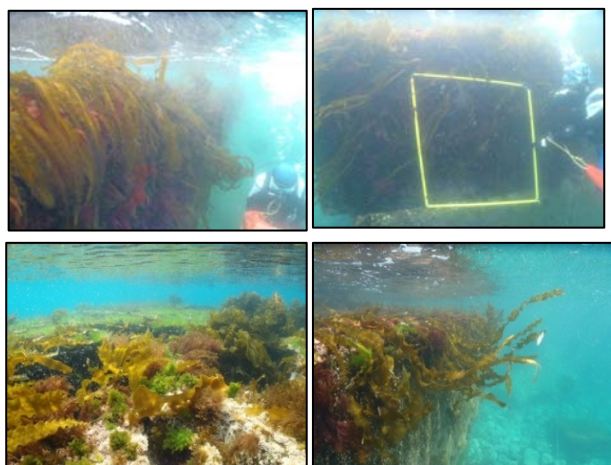


図-11 嵩上げ部に形成されたコンブ群落
(上段：2011年6月 下段：2012年6月)

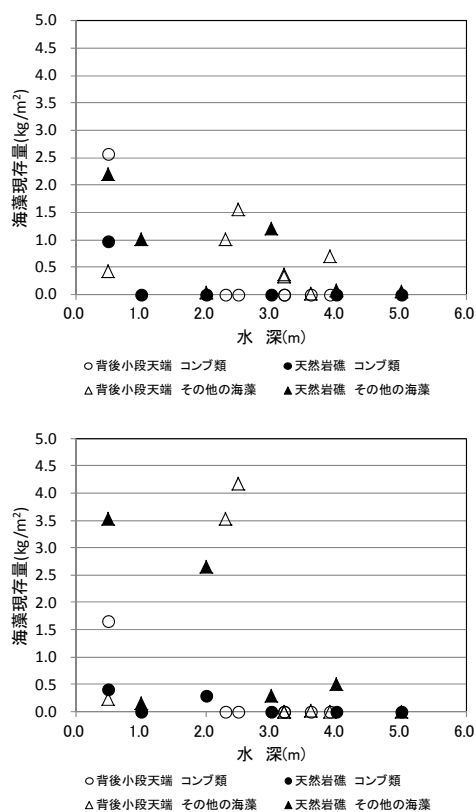


図-12 水深帯別の海藻現存量
(上段：2011年6月 下段：2012年6月)

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。図-12は嵩上げ施工後の2011年と2012年の海藻繁茂期(6月)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(-0.5m, -2.3m, -2.5m)は、

海藻類の着生が大きかった。特に、最上段の箇所の方にコンブ類の着生が確認され、その現存量は天然岩礁を上回る値となっている。

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、コンブ藻場を造成するためには、背後小段の天端水深を-0.5m 付近まで極力浅くする条件設定が必要と考えられる。

5. 順応的管理を用いた維持管理手法の提案

海域の環境変動を考慮しながら持続性のある磯焼け対策を構築する必要がある。この持続性を担保する手法の一つとして「順応的管理(adaptive management)」の概念が考えられる。順応的管理では、自然の環境変動により当初の計画では想定しなかった事態に陥ることや、歴史的な変化、地域的な特性や事業者の判断等により環境保全・再生の社会的背景が変動することをあらかじめ管理システムに取り込む。その上で目標を設定し、計画がその目標を達成しているかをモニタリングにより検証しながら、その結果に合わせて、多様な主体との間の合意形成に基づいて柔軟に対応していく手段と定義されている⁹⁾。

以上の基本方針を踏まえた上で磯焼け対策手法を立案した。事業箇所は漁港の北西側に位置する背後小段付傾斜堤およびその岸側に広がる天然岩礁とし

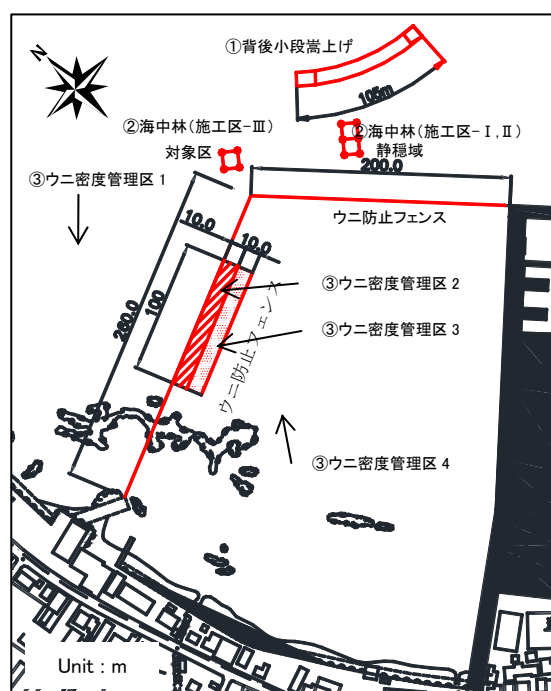


図-13 総合的な磯焼け対策事業

た。具体的には図-13 に示す、①背後小段嵩上げ、②海中林（ロープ養殖）、③ウニ防止フェンスの 3 施策である。

5. 1 嵩上げブロックによる背後小段改良

背後小段部を改良する構造案を図-14 に示す。既設構造断面に対して赤色で示すとおり、基礎捨石と被覆ブロックを用いた嵩上げを行い、流動環境を改善する構造を設定した。この改良は広範囲にわたる藻場回復が期待されるが整備コストもかかる。よって、嵩上げ構造案では天端水深を-1.0m に設定してしたが、施工段階におけるモニタリング結果によっては、嵩上げ規模を縮小しコストを抑えることも考えられる。よって、整備途中における改良の効果やコストを勘案しながら、地元と協議して天端水深を決定するといった地域協働型の事業実施が重要と考えられる。

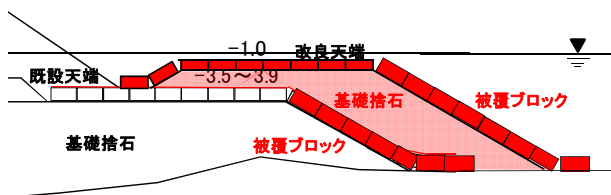


図-14 背後小段部の嵩上げ断面図

5. 2 海藻の生育環境条件を考慮した海中林造成

海藻が生育するための環境条件を考慮に入れて、その中から最適なロープの諸条件を明らかにするための海中林造成を実施した。具体的には、図-13 および図-15 に示すとおり、背後小段付傾斜堤の背後域において、海中林施工-I～IIIの 3 タイプの延縄式海中林を設定した。なお、海中林に用いるロープの設定条件を表-2 に示す。

最適なロープ設置水深をもとめるために、海中林施工-I では水深帯別の設定を行った。また、海中林施工-II は水深-1.0m の一定水深において、ロープの径、撚り方、メンテナンス（海藻着生終了後のロープ洗浄の有無）等を変化させた 6 種類のロープを配置した（L-6～L-11）。さらに、海中林施工-III は水深約-5m の箇所に、同じく赤線で示した延長 10m のロープ（φ21mm）を 3 水深に配置（L-12～L-14）した構造である。海中林施工-I・II と同-III は、設置箇所の違いにより波あたりが違う環境になっている。つまり、水深帯が同じでも流動環境の違いにより海藻の生育状態に変化が現れることを想定して条件設

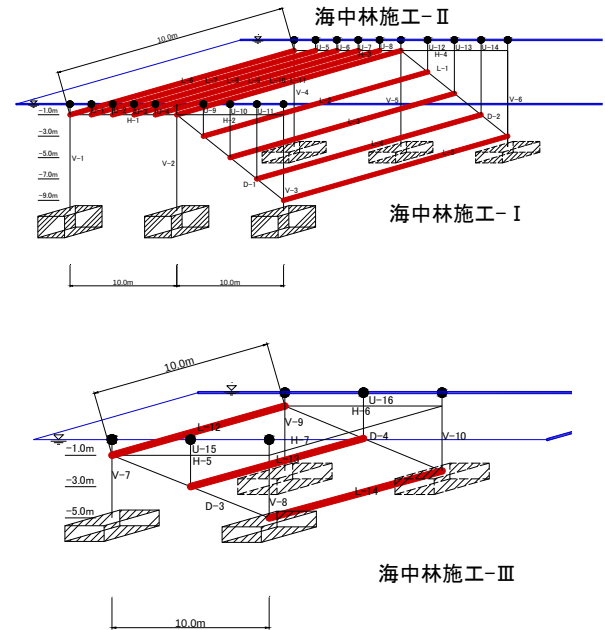


図-15 海中林の構造

表-2 海中林（ロープ）の設定条件

施工区	ロープ番号	水深	環境条件							
			波当たり		ウニ		光量子量		撚り方	
			強	弱	多	少	多	少	〇	△
海中林施工-I	L-1	-1.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	三つ打ち	21mm
	L-2	-3.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〃	〃
	L-3	-5.0m	〇	〇	〇	△	〃	〃	〃	〃
	L-4	-7.0m	〇	〇	〇	△	〃	〃	〃	〃
	L-5	-9.0m	〇	〇	〇	△	〃	〃	〃	〃
海中林施工-II	L-6	-1.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	三つ打ち	21mm
	L-7	-1.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〃	〃
	L-8	-1.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	八つ打ち	〃
	L-9	-1.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〃	あり
	L-10	-1.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〃	〃
	L-11	-1.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〃	21mm
海中林施工-III	L-12	-1.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	三つ打ち	21mm
	L-13	-3.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〃	〃
	L-14	-5.0m	〇	〇	〇	〇	〇	〇	〃	〃

定したものである。

以上のように、海中林の設置箇所や設置水深、使用するロープの性状に関わる条件を組み合わせることにより、海藻着生効果の特性や持続性の検討が可能となる。さらに、複数年の調査検討により、水温による海藻着生量の年変動も考慮に入れた順応的管理手法の構築が可能となる。

5. 3 地域協働を活用したウニ密度管理

図-13 に示すとおり背後小段付傾斜堤の背後域の天然岩礁にウニ侵入防止フェンスを設ける。ウニ侵入防止フェンスは、図-16 に示すとおりチェーンに刺網を取り付けた構造としている。このフェンスを図-17 に示すとおり海底にアンカーボルトで設置し、藻場回復エリアへのウニの侵入を防止することとする。

ウニ侵入防止フェンス設置区域は、複数を組み合わせる表-3 および図-13 に示すとおり、ウニ密度管

表-3 ウニ密度管理設定

管理区名	範囲	目標密度 (個体/m ²)
ウニ密度管理区1	フェンス外(対照区)	—
ウニ密度管理区2	10m×100m	0~1
ウニ密度管理区3	10m×100m	5~10
ウニ密度管理区4	200m×260m ※管理区2,3を除く	20



図-16 ウニ侵入防止フェンス

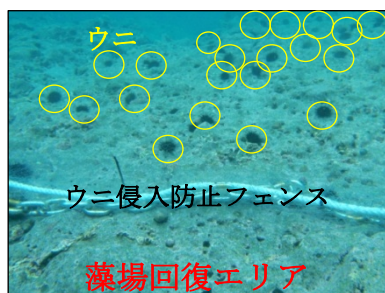


図-17 ウニ侵入防止フェンス設置状況

理区として4区画を設定している。これは各エリア内のウニを予め除去してウニ密度を調整・管理する目的で設置したものである。これにより、ウニの個体数の違いによる海藻への食害状況を把握することにした。なお、密度管理は地域協働を図る観点から、地元漁業者と協働して効果を検証するものである。

6. まとめ

北方海域の寒冷な自然環境下における沿岸構造物の機能維持のための技術開発を目的として、本研究は、藻場機能を有する背後小段付防波堤における磯焼けによる同機能の低下を改善するための手法を検討するものである。結果は以下のとおり。

- (1) 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に分布するウニの食害が顕著であることが原因と考えられる。

- (2) このような高水温状態が継続されると既存の構造物では、ウニの食害を抑制することが困難となり、藻場の回復が期待できないものと懸念される。この対策として今回、既存背後小段天端を嵩上げし、流速環境を海藻繁茂に適した環境にする手法を提案し、これを実証するための現地試験を開始した。これにより、対策が行われていない、または不十分な箇所にはコンブの着生は見られないが、嵩上げ部には海藻の生長が期待できる。
- (3) 平成24年度は現地実証試験における効果検証を行い、環境変動に伴う自然環境調和型沿岸構造物の維持管理手法に係わる事業計画を立案した。
- (4) 事業実施においては順応的管理、地域協働を用いた評価手法を提案した。

今後は、磯焼け対策事業の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、自然環境調和型沿岸構造物の事前(維持管理計画)・事後(順応的管理)対応に資する検討が必要と思われる。

最後に、本研究を進めるにあたり国土交通省北海道開発局小樽開発建設部には、現地調査および実証試験に関わる現地施工に多大な協力を頂いた。ここに改めて厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) (社)寒地港湾技術研究センター：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・産卵機能編一，pp13-37，1998
- 2) 向井 宏：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.470-475，1996
- 3) 北原繁志，今林 弘，岩成正勝：人工動揺基質を用いた磯焼け海域における藻場造成に関する研究，海洋開発論文集 Vol.24，pp.777-782，2008
- 4) 佐藤 仁，熊谷直哉，福田光男，吉田 徹，黄金崎清人：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概要集，pp.63-66，2009
- 5) 牧田佳巳，山本 潤：発酵魚かす投入による海域栄養塩の増加効果について，平成19年度日本水産工学会学術講演会講演概要集，pp.65-68，2007
- 6) 桑原伸司，佐々木秀朗，北原繁志，松山恵二，清野克徳，谷野賢二：藻場生産力予測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.1101-1105，1998

14.8 自然環境調和機能を有する寒冷地沿岸施設の維持・管理手法に関する研究

- 7) 桑原伸司, 松山恵二, 竹田義則, 北原繁志, 清野克徳,
金川 均, 谷野賢二: 藻場生産力予測シミュレーションモデルの開発(第2報), 海岸工学論文集, 第46巻,
pp.1156-1160, 1999
- 8) 佐藤 仁, 渡辺光弘, 山本 潤, 黄金崎清人, 清水恵理
子, 鳴海日出人 : 自然環境調和型沿岸構造物における
藻場造成効果の持続性の検討, 海洋開発論文集 Vol.26,
pp.735-740, 2010
- 9) 国交省港湾局監修, 海の自然再生ワーキンググループ:
順応的管理による海辺の自然再生, 2007

RESEARCH ON THE TECHNIQUE OF RECOVERY AND MAINTENANCE ON THE FUNCTION OF COASTAL STRUCTURES IN HARMONY WITH THE NATURAL ENVIRONMENT IN COLD COASTAL REGIONS

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Fisheries Engineering

Research Team

Author : YAMAMOTO Jun

OKAMOTO Setsuo

SATO Jin

KAWAI Hiroshi

SUDO Kenya

OHASHI Masami

Abstract : A seaweed bed is utilized as a fishing ground for kelp, sea urchin and abalone. It is also the spawning bed for fish, and fosters diversified organisms as the base of creating a good sea environment. However, due to recent large-scale environmental changes including rising sea temperatures, seaweed beds especially in the Sea of Japan off Hokkaido are disappearing (Barren ground), which is a grave concern. This study is aimed to establish the methods to create, maintain and recover the seaweed beds at coastal structures . In 2011, field investigation concerning distribution of seaweed beds and physical environment were performed. It is found that one of the causes is feeding pressure to seaweed by sea urchin. To control the feeding pressure in the situation of the elevated water temperature, it is necessary to improve flow velocity by raising the rear steps of the structures. In 2012, we conducted the field survey to grasp the effect of the experiments at Suttu fishing port, and made a project on the basis of the technique of recovery and maintenance on the function of coastal structures in harmony with the natural environment. The evaluation technique was also proposed by using both of adaptive management and regional collaboration.

Key words : coastal structures for natural harmony, seaweed bed, barren ground, adaptive management, global warming