

## 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：寒地水圏研究グループ（水産土木チーム）

研究担当者：三上信雄、岡元節雄、佐藤仁、三森繁昭、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象が増加している。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創出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。これまでは、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。平成 26 年度は自然環境調和機能を有する沿岸施設の維持管理手法の導入を目的に、藻場創出機能の機能保全を評価する手法を提案し、機能保全診断を用いた藻場回復手法の妥当性を確認した。

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、その機能低下が危惧されている。

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、藻場の着生基質としての機能も有している。この藻場は海洋生物の産卵場、摂餌場あるいは基礎生産者としての役割を持つ等、様々な機能を複合的に備えており、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<sup>2)</sup>。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、近年の海水面の上昇

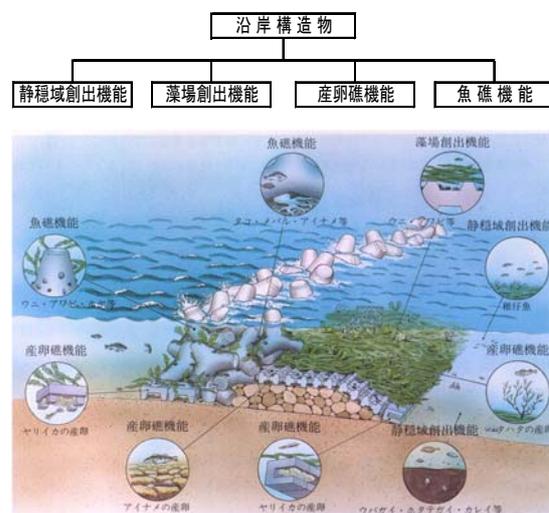


図-1 沿岸構造物の自然環境調和機能<sup>1)</sup>

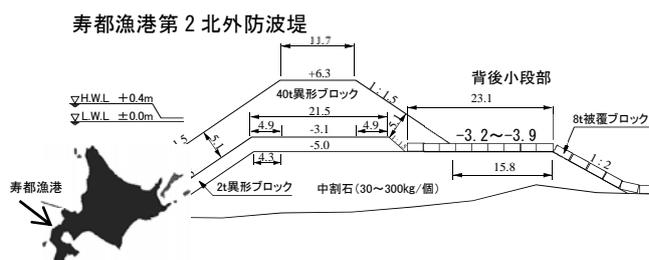


図-2 自然環境調和型沿岸構造物(背後小段付傾斜堤)

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 年度および 25 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。平成 26 年度は前述の事業計画立案の基礎資料となる自然環境調和機能の診断手法を提案し、これまで実施してきた藻場回復手法の有効性・妥当性を評価する検討を行った。

## 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

### 2.1 磯焼け海域を対象とした研究方針

これまでに整備されてきた沿岸施設が有する自然環境調和機能を対象に、適切な施設の維持・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磯焼けへの対策が必要である。

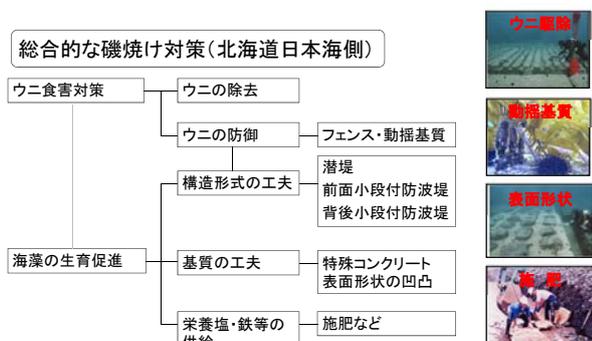


図-3 総合的な磯焼け対策

上記の磯焼け対策については、これまでも様々な検討<sup>3)4)5)</sup>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に関しては十分な検討がなされていないのが現状である。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）対応方策の検討を行い現地条件に適合した対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の推進が図られるものと考えられる。

### 2.2 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=100m)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。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

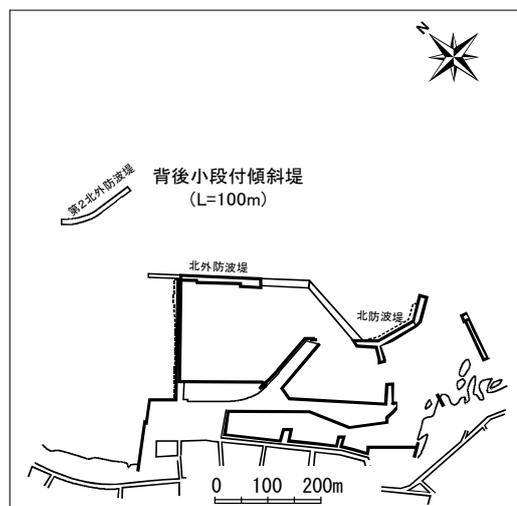


図-4 寿都漁港

表 - 1 海藻現存量の調査年

経過年	西暦	調査月
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

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年度からの改良事業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検討、

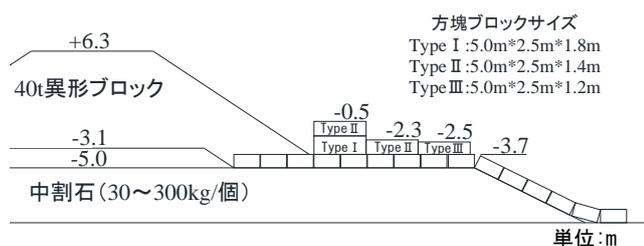


図-5 ブロック設置による嵩上げ



図-6 嵩上げ施工状況

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維持管理計画の検討、③施工時における地域協働を活用する手法について検討した。

平成25年度は、上記の実証試験により藻場形成阻害要因としてウニの過剰食圧（食害）を特定するとともに機能維持（藻場回復）ための対策手法を提案した。また、モデル的に現地施工を実施し、提案手法によるウニの活動抑制効果と藻場の回復を確認し、その有効性を検討した。

## 2.3 結果と考察

### 2.3.1 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維持しているが、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。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。

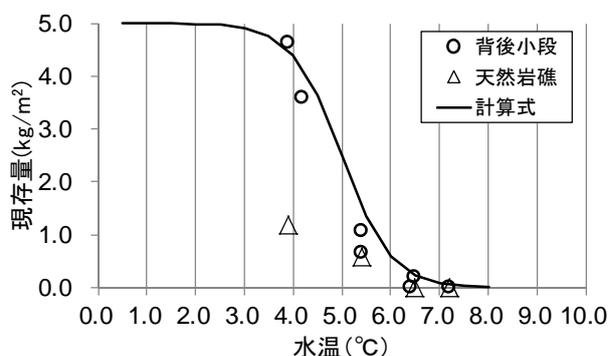


図-7 ホソメコンブの現存量と冬期水温（2月）

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

$W_0$  : 最大現存量 (5 kg/m<sup>2</sup>)

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

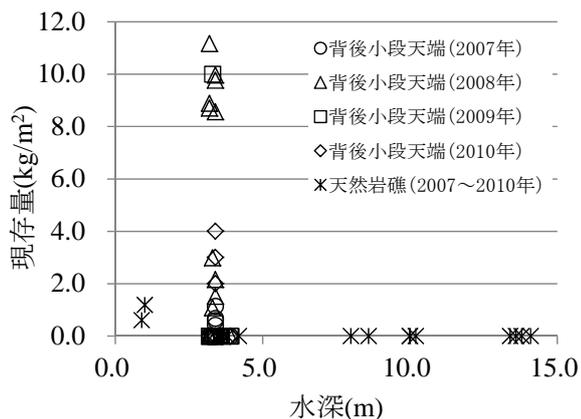


図-8 ホソメコンブの現存量と生育水深

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4m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。

### 2.3.2 海藻繁茂の経年変化

桑原ら<sup>67)</sup>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(o)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

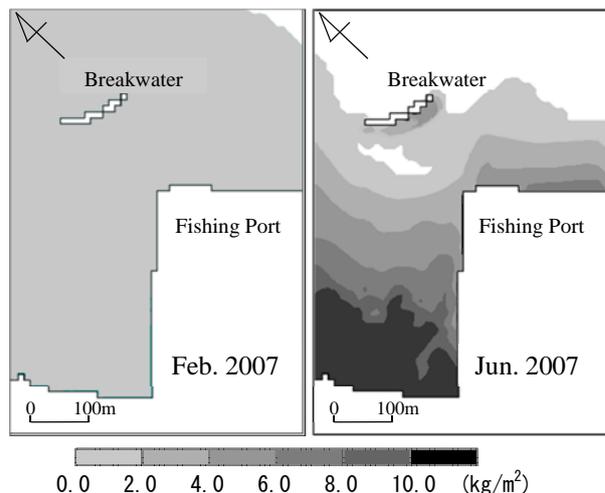


図-9 ホソメコンブの生育分布

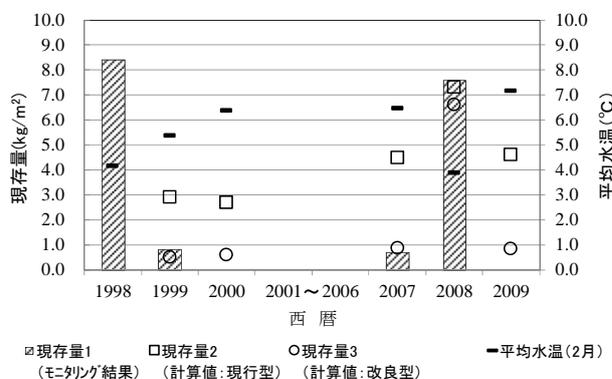


図-10 現地調査とモデルによるホソメコンブ現存量の比較

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考えられる<sup>8)</sup>。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。

### 2.3.3 背後小段の嵩上げによる藻場回復効果

ここ数年の背後小段周辺の高水温に代表される海域環境では、ウニの摂餌圧が活発で食害の影響を強く受け、藻場を維持することができない。このような環境下でも、ウニの食害を抑止する手法の一つとして背後小段の天端を嵩上げする流動環境変化が挙げられる。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。この改良手法により、特に冬季の海藻幼芽期のキタムラサキウニによる食害が抑制され、海藻生長が維持されるものと期待される。



図-11 嵩上げ天端（左）と既設天端（右）の状況

海藻繁茂期にあたる 2011 年 6 月、2012 年 6 月、2013 年 5 月の嵩上げ天端 (-0.5m) と既設天端 (-3.7m) の海藻着生状況を図-11 に示す。天端上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。なお、水深の深い既設天端は大型海藻の着生が見られず磯焼け状態のままであった。図-12 は嵩上げ施工後の 2011 年、2012 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

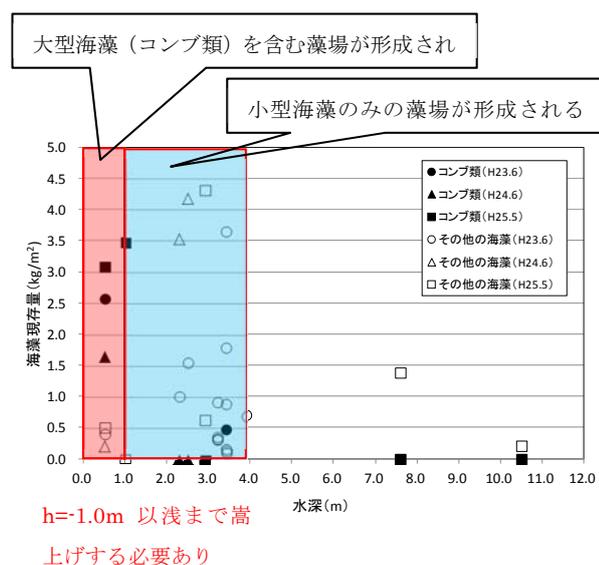


図-12 水深帯別の海藻現存量（海藻繁茂期）

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量は小さい。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、海藻類の着生量が大きかった。特に、最上段 (-0.5m) の箇所みにコンブ類の着生が確認され、現存量は近接の天然岩礁 (-7.5m, -10.5m) 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-1.0m 以浅（赤色部分）まで嵩上げするための条件設定が必要と考えられる。

### 2.3.4 背後小段の藻場造成機能の評価

背後小段の天端嵩上げによる藻場の回復要因について、ウニによる海藻への食害を対象とした定量的な解析手法により検討した。図-13 は背後小段上の流動環境とウニの摂餌活動との関係を示したものである。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)<sup>9)</sup>による室内実験より、キタムラサキウニは流速が約 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した。既設の背後小段天端 (-3.2~ -4.0m) 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.-1.0m 及び -2m 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。これにより、嵩上げ部へのキタムラサキウニの侵入は抑制されているものと推察される。

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

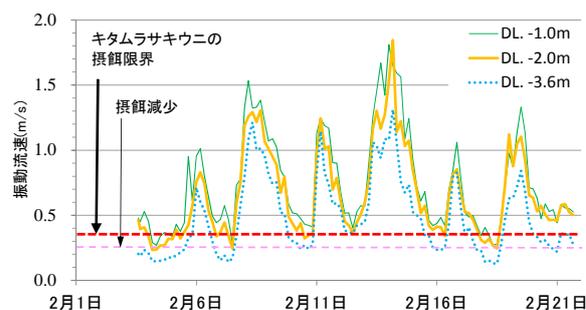


図-13 水深別の振動流速(2011/2/3~2/21)

$F$ は振動流速と水温により変化することが判明している。まず、振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(2)式により求められる。

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

. . . . . (2)

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)、 $u_{max}$ :振動流速振幅(cm/s)である。今回、(2)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-14 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振幅に変換した。この式は前述のように、流速が約 0.25m/s を越えるとウニの摂餌圧が静水中と比較して減少し、0.4m/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、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) <sup>10)</sup>により提案された次式から求められる。

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

. . . . . (3)

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。

キタムラサキウニの摂餌量とその時点の現地の海藻現存量の比較を図-15 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/m<sup>2</sup>)は、寿都漁港周辺海域の平均個体数である 20 個/m<sup>2</sup>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

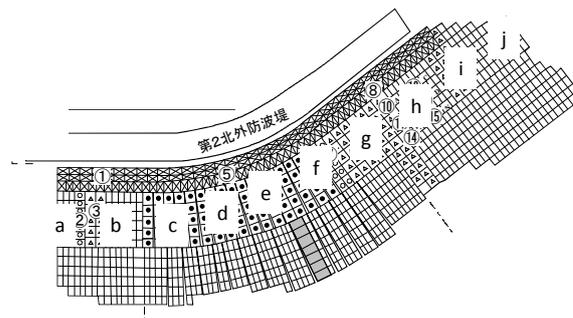


図-14 背後小段付傾斜堤断面図

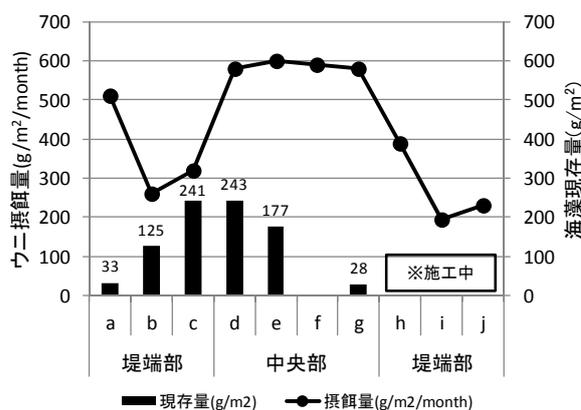


図-15 背後小段上の海藻量とウニ摂餌量

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/m<sup>2</sup>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/m<sup>2</sup>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、仮に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したものと推察された。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。

以上のことから、ウニの摂餌量と対象となる海藻量の収支を把握した結果、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との結論が導き出される。

### 3. 順応的管理を用いた維持管理手法の提案

長期的な藻場創出機能を維持していくためには、海域の環境変動を考慮しながら持続性のある対策を構築する必要がある。この持続性を担保する手法としてPDCAサイクルに基づく「順応的管理(adaptive management)」を基本的な方針と位置づけた。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<sup>11)</sup>。

この基本方針を踏まえた上で藻場創出機能回復手法(維持管理手法)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た。具体的には図-16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。

#### 3.1 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-17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

善する構造を提案した。この改良は広範囲にわたる藻場回復が期待される。

前述の嵩上げ実証試験の結果をもとに、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-17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、振動流速が増大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、海藻着生を促進する形状とした(図-18)。施工は2012年度～2014年度の3カ年を予定しており、図-19に示すとおり一部は天端面までの施工が完了している。本施工における藻場回復効果を確認するために、2014年2月からモニタリング調査(図-20)を実施している。測線1～5における海藻被度(%)と食害動物であるキタムラサキウニの生息状況(1m<sup>2</sup>当たりの生息密度)を図-21に示す。

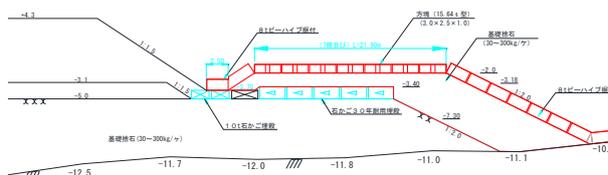


図-17 嵩上げ改良断面図

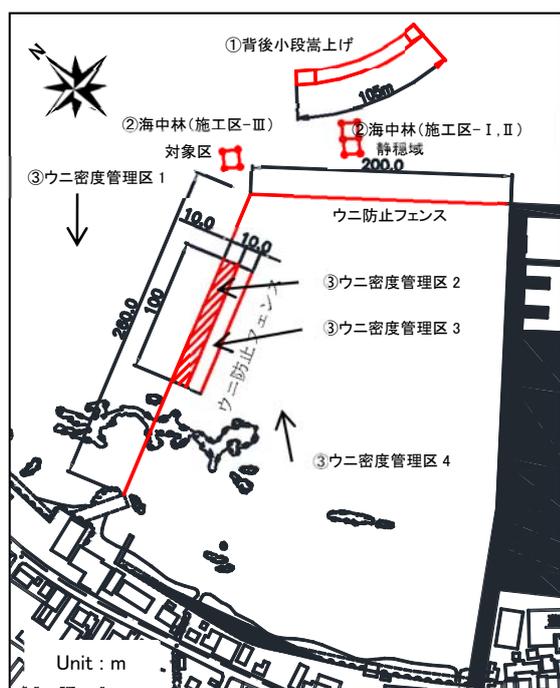


図-16 総合的な磯焼け対策事業



図-18 方塊ブロック(溝付)

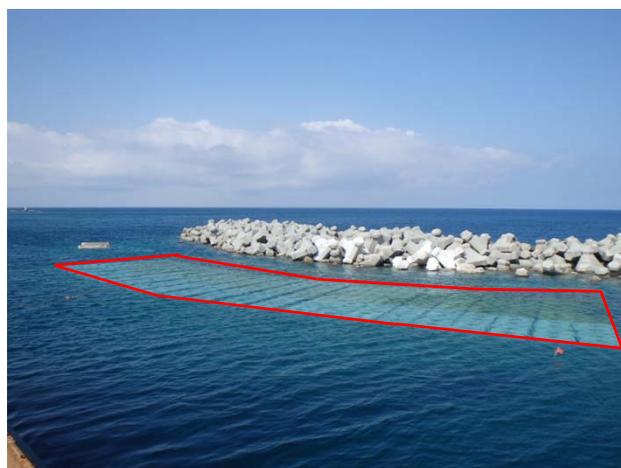


図-19 嵩上げ改良(赤枠部)

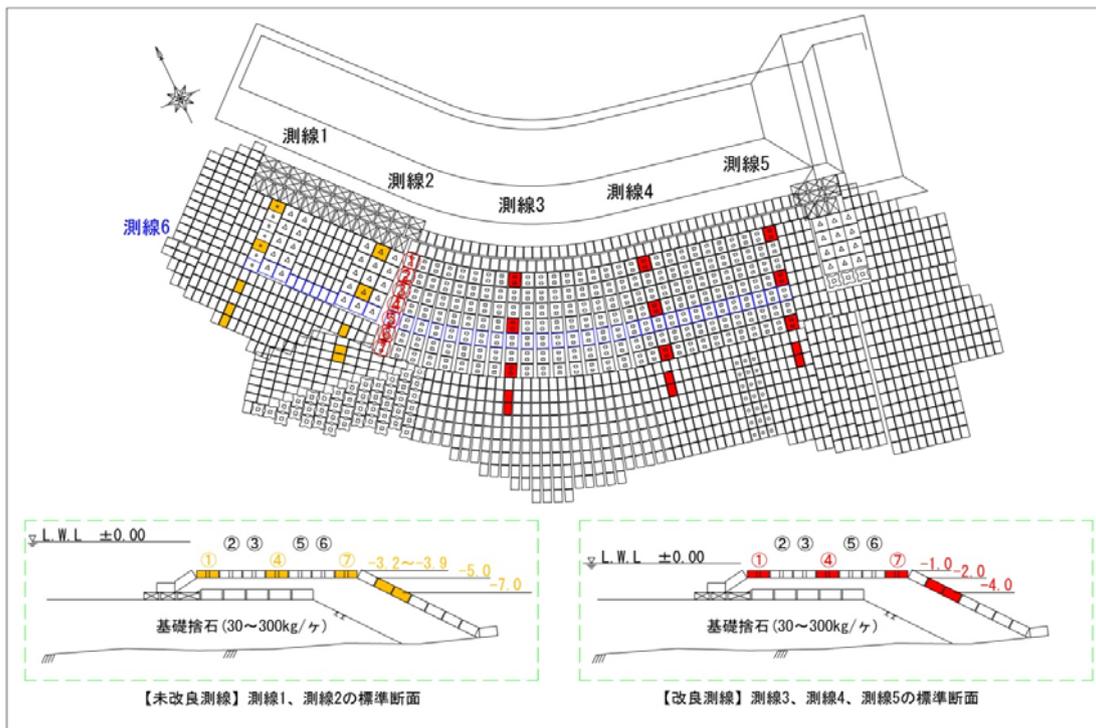


図-20 モニタリング箇所

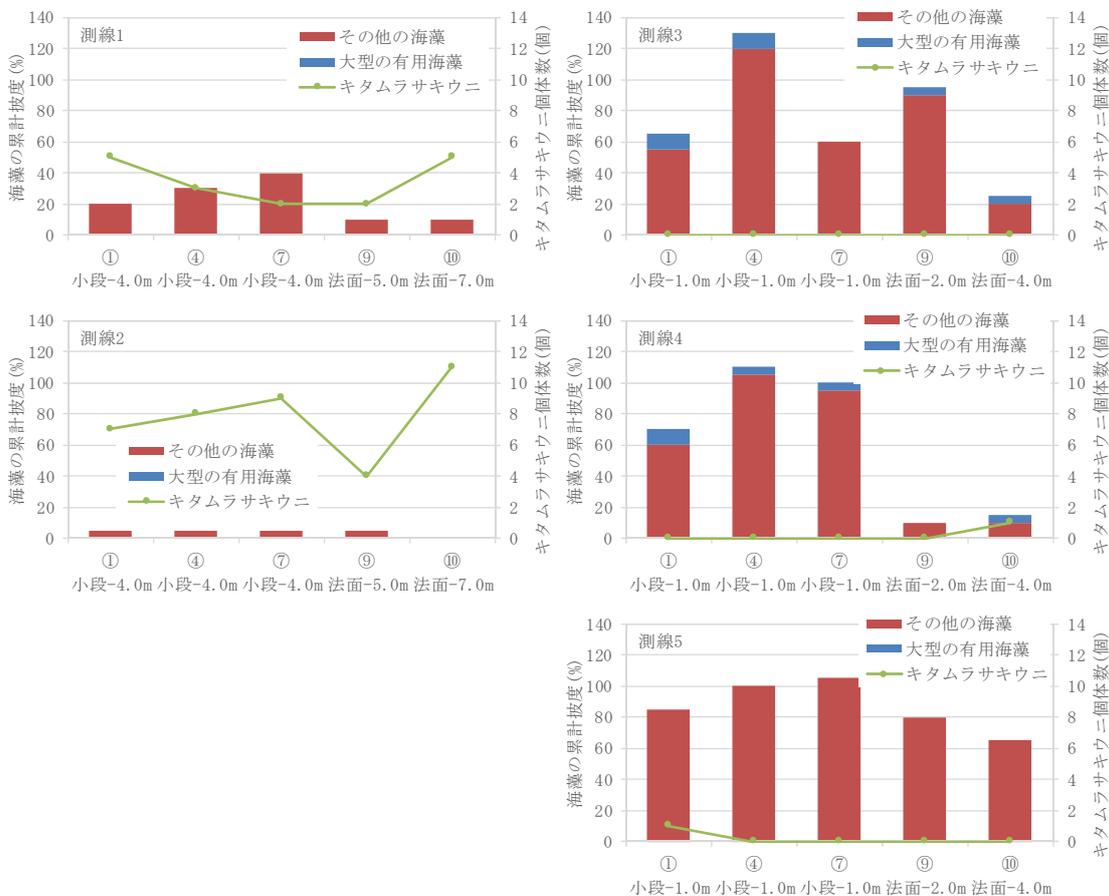


図-21 背後小段の海藻着生状況とウニ密度

まず、改良前である水深の深い測線 1、2 においては小型海藻のみの分布でその被度は最大でも 40%と低い状況である。逆に食害動物のウニ密度は高く、水深が深いほど大きい。特に測線 2 は全体的にウニ密度が高い傾向にある。これは、日本海の冬期の波浪が大きい環境において、深い水深 (-5.0m,-7.0m) や測線 2 のように護岸消波部中側で回折波の影響が小さい箇所は、波浪による振動流速が小さい。よって、このような箇所に流れを嫌うキタムラサキウニが集まるものと推察される。

一方、嵩上げ改良工事(-1.0m)が施工された測線3～5は、海藻被度は前者に比べ高く、大型海藻の分布も見られる。当然、嵩上げ部は波浪による振動流速が大きいことからキタムラサキウニはほとんどいない状況であることが判明した。

### 3. 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-16 および図-22 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求めるために、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、

表-2 海中林（ロープ）の設定条件

施工区	ロープ番号	水深	波当たり		ウニ		環境条件		ロープ形状		
			強	弱	多	少	光子量	多	少	撚り方	径
海中林施工-I	L-1	-1.0m	○	○	○	○	△	三つ打ち	21mm	あり	
	L-2	-3.0m	○	○	○	○	△	〃	〃	〃	
	L-3	-5.0m	○	○	○	○	△	〃	〃	〃	
	L-4	-7.0m	○	○	○	○	△	〃	〃	〃	
	L-5	-9.0m	○	○	○	○	△	〃	〃	〃	
海中林施工-II	L-6	-1.0m	○	○	○	○	△	三つ打ち	21mm	あり	
	L-7	-1.0m	○	○	○	○	△	〃	〃	なし	
	L-8	-1.0m	○	○	○	○	△	八つ打ち	〃	〃	
	L-9	-1.0m	○	○	○	○	△	〃	〃	あり	
	L-10	-1.0m	○	○	○	○	△	三つ打ち	24mm	〃	
	L-11	-1.0m	○	○	○	○	△	〃	21mm	〃	種付き
海中林施工-III	L-12	-1.0m	○	○	○	○	△	三つ打ち	21mm	あり	
	L-13	-3.0m	○	○	○	○	△	〃	〃	〃	
	L-14	-5.0m	○	○	○	○	△	〃	〃	〃	

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。

### 3. 3 地域協働を活用したウニ密度管理

図-16 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-23 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-24 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した。ウニ侵入防止フェンス設置区域は、複数を組み合わせると表-3 および図-16 に示すとおり、ウニ密度管理区として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。

### 3. 4 評価手法の手順（フロー）

自然環境調和機能の維持・管理計画を策定するに当たり、現状の把握から計画策定、実施、フォロー

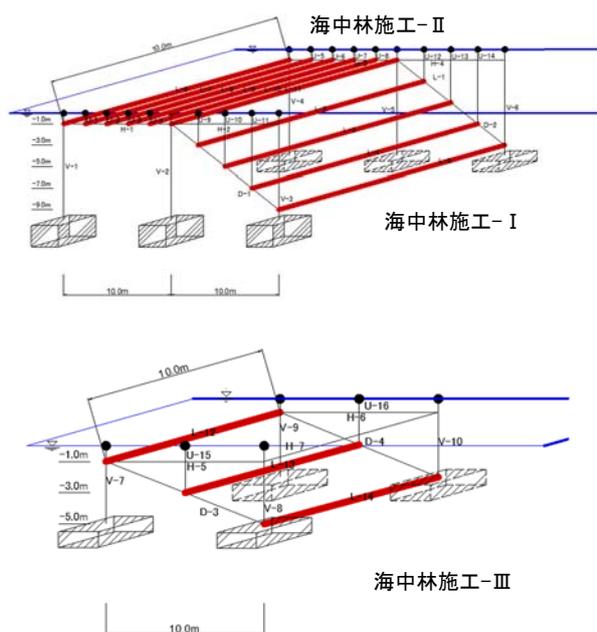


図-22 海中林の構造



図-23 ウニ侵入防止フェンス



図-24 ウニ侵入防止フェンス設置状況

表-3 ウニ密度管理設定

管理区名	範囲	目標密度 (個体/m <sup>2</sup> )
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

アップまでに至る評価手法のフロー（案）を図-25に示す。まず、事前調査においては、類似事例、既往の資料や文献、地元関係者からのヒヤリング、簡易モニタリングなどに基づき、現況把握や機能の阻害（低下）要因を整理する。詳細調査では表-4に示す自然環境調和機能の確認のための評価要素を抽出し、機能の診断（再評価）を行う。次に、阻害要因を排除・抑制または改変するための対策手法を検討し、費用対効果分析に基づき規模の設定を行い、維持管理計画を策定する。施工後は、継続的なモニタリング（効果調査等）を実施し、必要に応じて計画変更や改良工事を行うフォローアップを行う。

なお、維持管理は、漁業者等地元関係者との協働の下で計画的に実施する必要がある。そのためには、初期段階から、検討過程や対策案等の様々な情報を産学官と共有する必要がある。この内、自然環境調和機能の再評価（機能診断）を行うための診断手法について検討した結果を次に述べる。

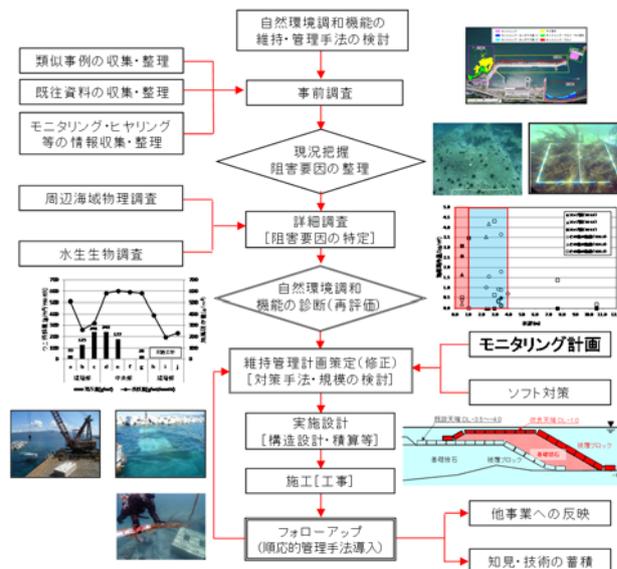


図-25 順応的管理による自然環境調和型沿岸構造物の評価フロー（案）

表-4 機能評価のための要素抽出一覧

項目	要素	備考
藻場生息環境	現存量、栄養塩、光環境、濁度 etc	重複項目 有り
ウニ餌料環境	現存量、摂餌量 etc	
海域環境	流動・波浪、水深、水温、水質、底質 etc	

#### 4. 自然環境調和機能の診断手法の提案

##### 4.1 自然環境調和機能診断の必要性

前述のとおり、自然環境調和機能を有する寒冷地沿岸施設の藻場造成効果（藻場創出機能）が低下し、環境共生機能が十分に発現されない状況にあり、その原因として温暖化や栄養塩減少等の海藻の生育環境の変化、ウニ等植食性動物による食圧の増大などが挙げられることが判明した。しかしながら、個々の現地の施設においては、これらの原因が系統立てて究明されていないのが実態である。

沿岸施設の藻場造成効果が低下している場合、整備当初に期待した藻場創出機能が発現されているかどうかをまず把握することが必要である。そして、海藻生育環境としての適性度を評価（機能診断）し機能の維持に対する阻害要因を特定する。その上で実際の対策（機能回復）を施す、といった機能保全対策（ストックマネジメント）的アプローチが合理的である。

これまで、構造物の維持管理を実施する中でコンクリートのひび割れや鋼材の腐食といった構造物の物理的・科学的な観点からの機能診断手法は数多く

提示<sup>12)</sup>されている。しかしながら、生物的な面からの系統的評価手法は未だ確立されておらず、自然環境調和型構造物の機能保全が進んでいないのが現状である。そこで、機能把握・評価、阻害要因特定といった機能診断手法、並びに対策手法の検討やフォローアップに至る一連の評価体系を確立し、最終的には沿岸構造物の維持管理計画あるいは機能保全計画に自然環境調和型沿岸構造物の維持・管理手法を導入することが重要である。

#### 4.2 機能診断手法(案)

自然環境調和機能の診断手法として、既往資料の収集整理(先行ガイドラインやマニュアル、各種学会での論文報告、道内での自然環境調和施設の整備例・モニタリング事例など)から、藻場創出機能に係る知見を整理するとともに、図-26に示すとおり機能診断の全体スキームを整理した。本機能診断は①機能評価、②要因特定、③対策・効果確認の3つの項目から構成されており、漁港施設の機能保全対策(ストックマネジメント)手法を参考にしたものである。次に、各項目について具体的内容を述べる。

##### 4.2.1 機能評価

機能評価は簡易調査、性能評価および機能評価(総合評価)の3つからなる。ここで簡易調査においては、例えば水中目視(潜水士)による海藻被度や食害生物による海藻の摂餌痕の有無を確認するなど、

できる限り簡易に実施できる手法とした。なお、海藻被度に関しては、できるだけ指標の統一化を図る観点から、対象海域により分布する種が異なることもあり対象種の特定はしていない。

これらを実施した後、適切な評価基準により当該施設の自然環境調和型構造物としての機能評価を実施する。具体的には、磯焼け状態を判断(磯焼けを感知)するための簡易評価として表-5に示す藻場創出機能の評価指標(チェックリスト)を用いて、劣化レベルとして各項目でa(劣化あり)~d(劣化なし)の4段階評価を行い、最終的な総合判定に繋げるものである。ここに挙げた評価指標(チェックリスト)は、漁港港湾構造物の「簡易診断」評価手法を準用して考案したものであり、概略的ながらも客観性を保持するためにグレーディング手法によるランク分けを行った。また、評価項目は、藻場創出機能への影響性、調査の効率性、現場での実用性を踏まえて抽出した。

施設全体の総合評価は表-6のとおりとし、海藻の繁茂状況および食害に対して重み付けした評価としている。すなわち、磯焼けへの影響度の観点から「海藻の被度」と「ウニの分布密度」の一次項目において概略評価(AまたはDの判定)を行い、「基質の状態」と「浮泥の堆積」の二次項目で最終評価(BまたはCの機能発現状況の判定)を行うものである。

この総合評価結果に対する対応としては、表-7に示すような対応を考えており、Cは経過観察、AおよびBでは対策を講ずることを想定している。この総

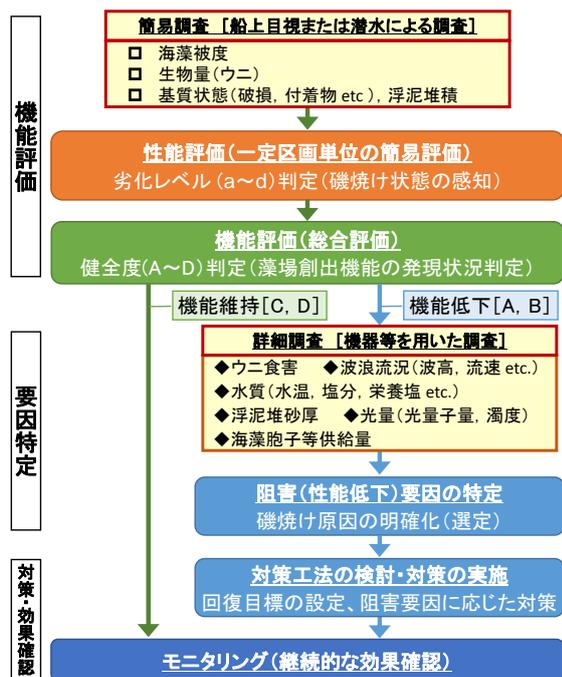


図-26 機能診断の全体スキーム

表-5 藻場創出機能の評価指標(チェックリスト)

劣化レベル	海藻の被度		ウニの分布密度	
	a	5%未満		3個/m <sup>2</sup> 以上
b	5~10%程度		2個/m <sup>2</sup> ~3個/m <sup>2</sup>	
c	10~20%程度		1個/m <sup>2</sup> ~2個/m <sup>2</sup>	
d	20%以上		1個/m <sup>2</sup> 未満	

劣化レベル	基質の状態		浮泥の堆積	
	a	基質の破損または飛散が認められる		長期にわたって基質または葉面に浮泥が堆積している
b	基質凹凸の摩耗または軽度の欠損等が認められる		基質または葉面の全面に堆砂が認められる	
c	固着性動物等による基質の優占が認められる		基質または葉面に対し部分的に堆砂が認められる	
d	異常なし		異常なし	

表-6 総合評価

健全度	施設の状態	一次項目	二次項目
A	海藻被度が著しく低く、藻場創出機能が相当低下している状態	aが全数の2割以上	-
B	海藻被度が低く、藻場創出機能が低下している状態	a+bが全数の2割以上 a+bが全数の2割未満	-
C	海藻被度が低い、藻場創出機能は保持されている状態 将来的に機能低下の可能性があり、継続観察が必要	a+bが全数の2割未満	a+bが全数の2割以上 a+bが全数の2割未満
D	機能の低下は認められず、十分な機能を保持している状態	すべてdである	-

表-7 評価結果に即した対応

評価結果	施設の状態	対応
A	自然調和型施設の機能が低下している状態	早急に改良の検討を行う
B	放置した場合に施設の機能が低下する恐れがある状態	可能な限り対策を講じる
C	施設機能の低下は認められないが、継続して観察する必要がある状態	経過観察を行う
D	異常は認められず、十分な機能を保持している状態	地元利用者からの報告の収集、巡回時の状態確認

合判定において機能低下の評価となった場合には、施設機能に対する阻害要因を明らかにするとともに、必要に応じた対策工法の検討を行う必要がある。

#### 4.2.2 要因特定

阻害要因の特定には詳細なデータを取得する必要があるため、観測機器による現地調査や数値シミュレーション等を行う必要がある。具体的には表-8に示すとおり阻害要因と思われる現象を特定するために、波高・流速計を用いた流況調査、光量子計・水温塩分計を用いた環境調査、採泥等底質調査、生物相調査などを実施する。また、疑われる機能阻害要因は複数存在することも考えられるので、簡易調査による現地の状況を十分把握した上で診断方法の抽出を図ることが重要である。

#### 4.2.3 対策・効果確認

阻害要因が特定された場合、回復目標の設定や阻害要因に応じた対策工法の検討を行い、対策を実施する。さらに、継続的なモニタリングにより効果の

表-8 機能阻害要因と診断方法

疑われる機能阻害要因	原因	診断方法
ウニ類等による食害	摂餌行動や容易な環境にある	・波浪流況観測 ・数値解析 ・地形測量 ・ウニフェンス設置等食害試験
孢子不足	着生できる孢子が少ない	・海藻ロープ設置による試験
基質競合および不足	着底時期の異なる海藻、固着性動物の存在	・生物調査
浮泥堆積	懸濁物質の存在。払拭不可能である程に静穏である	・セジメントトラップ ・数値解析
光量不足	海水の濁り。水深が深く光が届かない	・光量子量観測
栄養塩不足	生長に必要な栄養塩の不足	・水質分析
高水温	夏季ではコンブの枯死が進む 冬季ではウニの行動が活発になり幼体コンブを捕食する	・水温観測
塩分低下	降水や河川出水等による淡水の拡散	・塩分観測
その他水質異常	有害物質等の存在	・水質分析

確認を行うことが重要である。仮に、十分な効果が発現されない場合は、対策および規模について再検討する必要がある。

#### 4.3 機能診断の検証

本研究の対象である寿都漁港周辺の浅瀬はウニ・アワビの好漁場となっており、前述のとおり防波堤自体に藻場創出機能を付加することで背後水面等の高度利用を図った施設(図-27)がある。当該施設はスパン2においてウニの食害を抑制する物理的環境を創出することを目的に背後小段の天端高を-3.6mから-1.0mまで嵩上げ改良が行われている(スパン1は工事中)。この改良前後の施設を対象として、本診断方法の妥当性の検証を行った。

##### 4.3.1 簡易診断結果と施設の総合評価(改良前)

改良前の調査結果を表-9に示す。海藻の被度はアオサ目やフクロノリが大きく、ホンメコンブはスパン1の測点4-2、スパン2の測点4-5、4-7のみに見られた。また、ウニは両スパンで出現していた。以上より簡易診断した結果を表-10に示す。「海藻の被度」や「ウニの分布密度」によりスパン1は総合評価B、スパン2は総合評価Aとなった。

##### 4.3.2 詳細診断結果(改良前)

上述のとおりスパン2は、簡易診断結果はAであり阻害要因を究明する必要がある。観測として流況、光量子量、栄養塩、水温・塩分等および波動場解析によるウニの摂餌行動の可否について評価した。

主要な現地観測結果と考察を以下に述べる。

(1)観測期間(2013.2.6~3.5)において小段上(水深-3.6m)の流速は、ウニの摂餌を抑制する流速(0.25m/s以上)の出現頻度はわずか2.2%であり、ウニの摂餌行動を制限できない環境であったと推察される。よって、流速を増加させウニの摂餌圧を低減させる構造形式とすることが重要である。

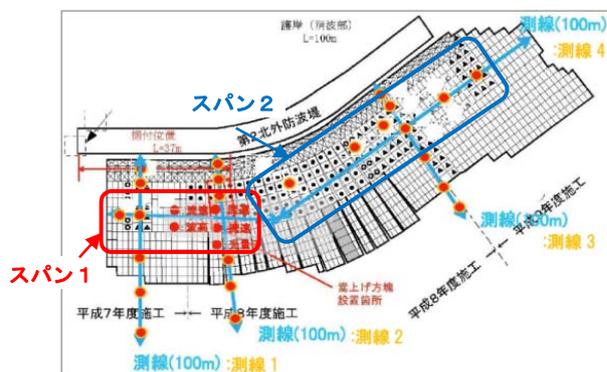


図-27 機能診断箇所

表-9 藻場調査結果 (改良前)

測線	測線4											単位
	1					2						
測点	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9	4-10	4-11	m
距離	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
種名												
緑藻綱												
アオサ目	10	20	-	5	-							%
褐藻綱												
フクロノリ	5	+	10	10	20							%
ワカメ												
ホソメコンブ	10											%
紅藻綱												
イキス												
アカバ												
ダルス	10	25										%
不明												
モロイトグサ												
動物												
不明巻貝類												
クボガイ類	1	3	2	3	3	1	1	3	2	5		個/m <sup>2</sup>
ユキカサガイ	6	2	3									個/m <sup>2</sup>
ヨメガサ	2											個/m <sup>2</sup>
キタムラサキウニ	2	8	5	7	3	1	1	2	1			個/m <sup>2</sup>
エノバランウン												
ヤドリ類	2											個/m <sup>2</sup>
マナモコ												
マボヤ												
キトデ												
エノアワビ	1											個/m <sup>2</sup>

表-10 簡易診断結果 (改良前)

項目	測線4											単位
	1					2						
測点	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9	4-10	4-11	m
1次項目												
海藻の被度	d	d	c	c	d	d	a	a	a	a	a	%
ウニの分布密度	b	d	a	a	a	a	d	c	c	b	c	個/m <sup>2</sup>
2次項目												
浮泥の堆積	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	個/m <sup>2</sup>
基質の状態	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	個/m <sup>2</sup>
総合評価	B					A						

(2)小段表層付近の光量子量は 200 $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/s を超えており、これまでコンブの強光阻害について報告されていないことから、光環境については十分に確保され、コンブ生育の阻害要因となっていない。

(3)冬季 (2013.2.18) において、硝酸態窒素は窒素の閾値である 0.014mg/l 以上<sup>13)</sup> となり、栄養塩に問題は無いといえる。

(4)同じく水温は 6.6~6.8 $^{\circ}$ C と比較的高く、キタムラサキウニの活動活発化に影響を及ぼしている可能性がある。

次に、流動場の解析による対策工法の検討を行った。改良前の施設における現地観測結果ではウニの摂餌行動を制限できない環境にあった。このため非定常緩勾配不規則波動方程式により底面波動流速を算定し、ウニの摂餌行動を制限する流速 0.25m/s および摂餌限界流速 0.40m/s を目安とした評価を実施した。

嵩上げ前では 0.40m/s 以上の流速が 40%以上出現するのは 1月、12月に限られ、0.25m/s 以上の出現頻度を加えれば 1~3月と 10~12月 (秋季~冬季) において摂餌行動の抑制が可能である。一方、嵩上げ後は、天端水深が浅くなり 0.40m/s 以上の出現頻度が 1~4月と 9~12月で 40%以上発生することが確認された (図-28)。つまり、嵩上げによりこの期間におけるウニの摂餌行動を抑制することができることがわかる。

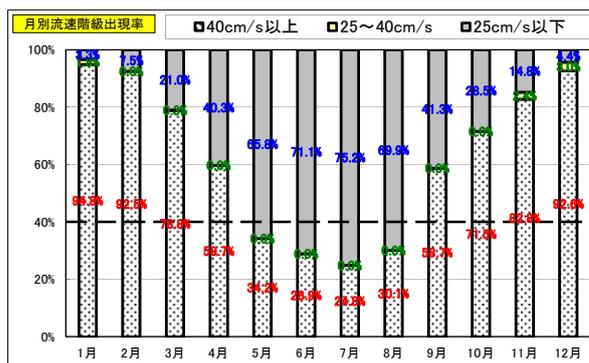
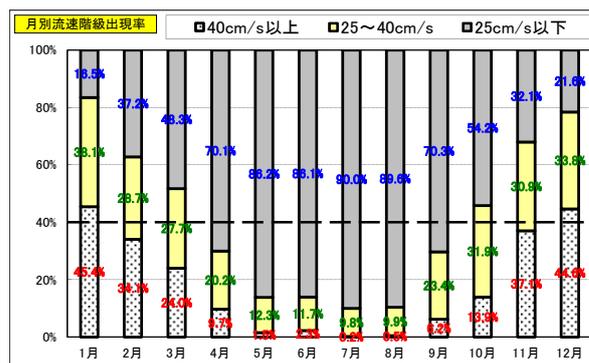


図-28 流速出現率 (上:改良前 下:改良後)

### 4.3.3 簡易診断結果と施設の総合評価 (改良後)

改良後 (2014.2) の調査結果を表-11 に示す。ここでスパン1は未改良である。改良されたスパン2では海藻被度が大きく、ウニの出現数が減少 (測線4⑦で1個体/m<sup>2</sup>のみ) していた。そして簡易診断結果は表-12 のとおりとなり、未改良のスパン1は総合評価Aであるのに対し、改良したスパン2は総合評価Cとなった。これは改良による自然環境調和機能の回復を適正に捉えたものであり、本診断手法の妥当性を示しているものと考えられる。

表-11 藻場調査結果 (改良後)

測線	測線5											単位
	1					2						
測点	①	④	⑦	⑩	⑬	①	④	⑦	⑩	⑬	m	
緑藻綱												
アオサ	10	20	20	-	-	30	10	-	10	5	%	
アオサ目	10	20	20	-	-	30	10	-	10	5	%	
褐藻綱												
フクロノリ	10	20	20	20	20	10	20	20	20	20	%	
ワカメ	10	20	20	20	20	10	20	20	20	20	%	
ホソメコンブ	10	20	20	20	20	10	20	20	20	20	%	
ワカメ	10	20	20	20	20	10	20	20	20	20	%	
紅藻綱												
イキス	10	20	20	20	20	10	20	20	20	20	%	
アカバ	10	20	20	20	20	10	20	20	20	20	%	
ダルス	10	20	20	20	20	10	20	20	20	20	%	
エノバランウン	10	20	20	20	20	10	20	20	20	20	%	
動物												
不明巻貝類	20	25	25	25	25	2	2	2	2	2	個/m <sup>2</sup>	
クボガイ類	20	25	25	25	25	2	2	2	2	2	個/m <sup>2</sup>	
ユキカサガイ	20	25	25	25	25	2	2	2	2	2	個/m <sup>2</sup>	
ヨメガサ	20	25	25	25	25	2	2	2	2	2	個/m <sup>2</sup>	
キタムラサキウニ	5	3	2	7	8	3	5	6	7	4	個/m <sup>2</sup>	
動物出現種数	2	2	2	1	1	3	3	2	1	0	種	
動物出現個数	2	2	2	1	1	3	3	2	1	0	個	

\* ①m<sup>2</sup>当りの被度、本数、個体数を表示する。また、「-」表示は被度5%未満を示す。

表-12 機能評価結果 (改良後)

項目	スパン1					スパン2					総合評価
	①	④	⑦	⑩	⑬	①	④	⑦	⑩	⑬	
1次項目											
海藻の被度	d	d	d	a	a	a	a	a	d	d	A
ウニの分布密度	a	a	b	a	a	a	d	d	d	c	C
2次項目											
浮泥の堆積	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	
基質の状態	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	

## 5. 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、藻場創出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、背後小段の藻場創出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、流動環境をウニの摂餌活動抑制に適した環境に改変する手法を提案し、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 25 年度まで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施設改良のための事業計画を立案した。
- (4) 事業実施においては継続的なモニタリング、地域協働による効率的な管理手法を取り込んだ順応的管理手法を提案した。
- (5) 自然環境調和機能を有する沿岸施設の維持管理技術について、現状分析および機能低下の原因の一つであるウニの食害による藻場消失を判断するための手法を提案した。また、施設の維持・管理手法（施設改良、食害対策）を提案し事業化につなげるとともに、現地実証試験によりその有効性を確認した。
- (6) 自然環境調和型構造物の維持管理手法の導入を目的に、藻場創出機能の機能保全を評価する手法を提案した。本診断手法を用いて寿都漁港を対象に検討したところ、施設改良前は機能低下が生じていたものが、要因特定（詳細調査）と対策検討により改良された後には、機能が回復された診断結果となり、改良前後の藻場創出機能を適正に評価することができるなど、提案した診断手法の妥当性が得られたものと考えられる。

今後は当診断方法を多くの施設で実施、検証を進め、項目や劣化レベル指標の見直し等の改善を図ることで、より汎用性の高い診断方法となると考えられる。また、機能診断にあたって、特に「海藻被度」については調査時期によって被度が異なり評価に差異が生ずることが予想される。この点についても留意が必要であり、今後の課題とする。

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
- 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) Kawamata, S. : 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, 1998
- 10) Kawamata, S : Modeling the feeding rate of sea urchin *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz)

#### 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

on kelp J. EXP. Mar. Biol. Ecol, 210, pp.107-127,  
1997

11) 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

12) 三上信雄, 藤田孝康, 保坂三美, 極壇邦夫, 重松宏和,  
笠井哲郎: 沿岸構造物の効率的な維持管理のための簡

易的な老朽化診断手法に関する研究, 海洋開発論文集  
Vol.26, pp.165-170, 2010

13) 水田浩之, 鳴海日出人, 山本弘敏: ホソメコンブ配偶体の  
生長・成熟に及ぼす窒素・リンの影響, 水産増殖 49(2),  
175-170, 2001

## 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** : Cold-Region Hydraulic and Aquatic  
Environment Engineering Research  
Group (Fisheries Engineering)

**Author** : MIKAMI Nobuo

OKAMOTO Setsuo

SATO Jin

MIMORI Shigeaki

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. In 2013, we made a project further and established the evaluation approach of recovery and maintenance on the function of coastal structures in harmony with the natural environment. Finally in 2014, the function diagnosis technique of coastal structures in harmony with the natural environment in cold coastal regions was examined.

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