



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創出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、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有する多様な環境調和機能のうち喫緊の課題として対応が求められている磯焼け対策への有効性の観点から藻場創出機能に着目し、同機能の適切な保全に向けた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、低下した藻場創出機能を回復させるための対策手法の検討を行った。平成24年度および25年度は対策手法に関して現地実証試験による効果検証を行い、環境変動に伴う自然環境調和型(藻場造成型)沿岸構造物に関する順応的な維持管理手法を提案し、事業化への展開を図るなど藻場回復技術の確立を行った。平成26年度および平成27年度は藻場創出機能の発現状態を適切に把握するための評価体系を構築し、機能の維持・保全に関する診断手法を提案するとともに、モデル漁港での現地検証により現場における実用性と診断手法の妥当性を確認した。

## 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

### 2.1 磯焼け海域を対象とした沿岸施設の維持管理

磯焼けが生じている海域においては、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のうち特に藻場創出機能に着目し、適切な施設の維持管理(機能保全のための対策を含む)を通して、低下した藻場創出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、藻場創出機能の効果を回復・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

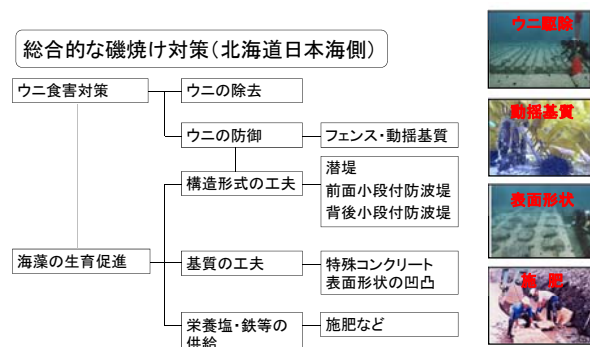


図-3 総合的な磯焼け対策

面形状の工夫」および「施肥」などハード・ソフト対策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。

上記の磯焼け対策については、これまでも様々な検討<sup>34)</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藻場創出機能を対象として、施設の維持管理手法および藻場創出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 藻場創出機能回復対策の現地実証試験

平成23年度は、藻場創出機能の維持管理手法の提案に資するため、寒冷地沿岸施設の藻場創出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護岸(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(藻場創出機能の低下)が続いている。この背後小段における海藻繁茂に関しては、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現地調査(海藻現存量把握)が計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

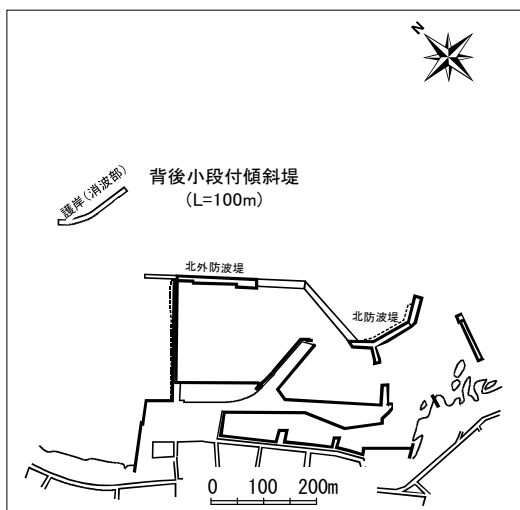


図-4 寿都漁港

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

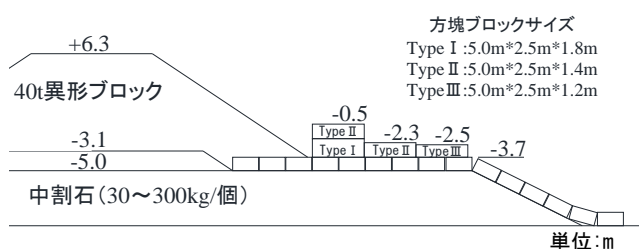


図-5 ブロック設置による嵩上げ



図-6 嵩上げ施工状況

を実施している。平成 23 年度は、これら既存のモニタリング調査結果に加え、平成 22 年からの実証試験による調査結果も用いて、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するとともに、天端嵩上げ効果の検証を行った。

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。これまでの調査結果により、寿都漁港における藻場創出機能低下の要因として背後小段上における流動が小さいためコンブ等海藻の食害生物であるウニの活動を抑制できないことが指摘されていた。そのため、背後小段水深を浅くすることにより、小段上の流速を増大させ流動を大きくさせることにより、ウニの活動を制御することが藻場創出機能を回復させるには効果が高いという仮説を立てた。そこで、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り、水深変化による流動増大効果を検証するために現場実証試験を開始した。また、小樽港湾事務所で検討してい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、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、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）調査を実施するとともに機能維持（藻場回復）のための対策手法を提案し藻場の回復効果を検証した。

## 2. 3 実証試験の結果と考察

### 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



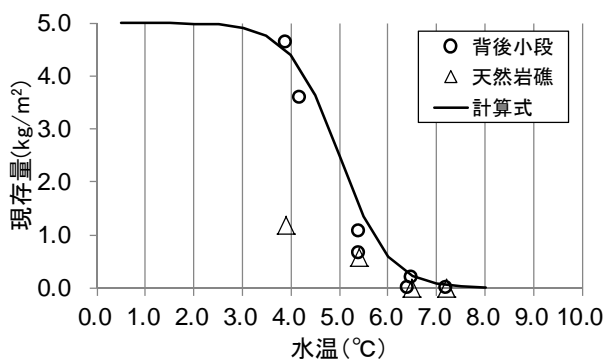


図-7 ホソメコブの現存量と冬期水温（2月）

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

$W_0$  : 最大現存量 (5 kg/m<sup>2</sup>)

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

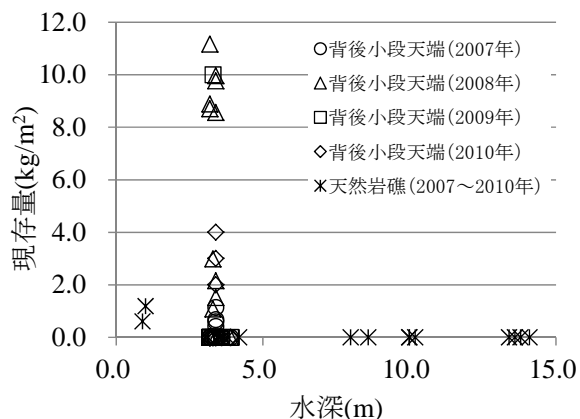


図-8 ホソメコブの現存量と生育水深

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ブの現存量データがある5カ年

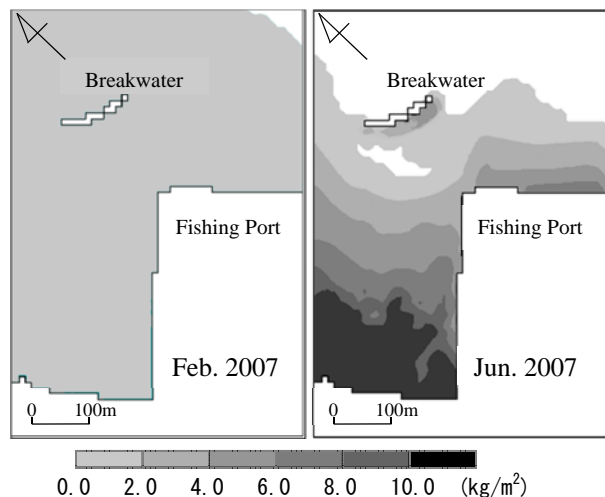


図-9 ホソメコブの生育分布

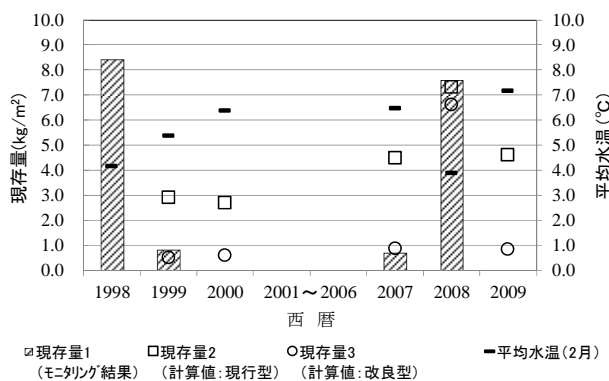


図-10 現地調査とモデルによるホソメコブ現存量の比較

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月のホソメコブの生育分布を図-9に示す。2月は、まだホソメコ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°Cを上回ると背後小段上のホソメコブの現

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メカニズム

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改変が挙げられる。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。

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



図-11 嵩上げ天端（左）と既設天端（右）の状況

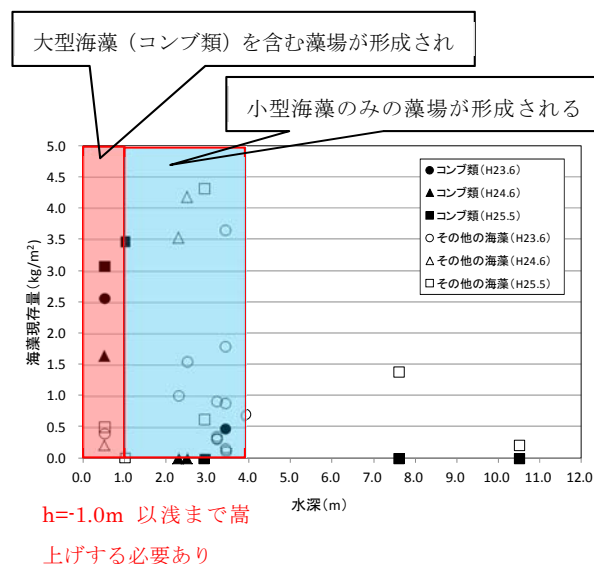


図-12 水深帯別の海藻現存量（海藻繁茂期）

茂期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)の箇所だけ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効果の評価

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

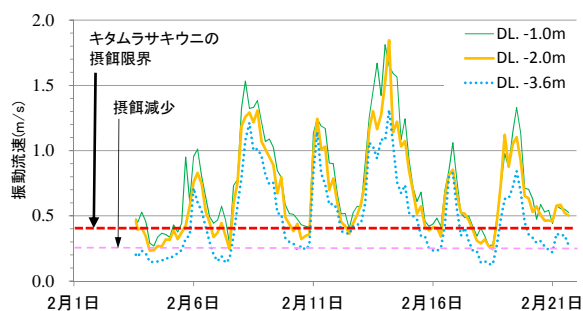


図-13 水深別の振動流速(2011/2/3~2/21)

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 および-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  $F$  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。

$$\frac{F}{F_s} = 1 - \exp\left[-\exp\left(-\frac{u_{max} - 27.1}{4.27}\right)\right] \dots \dots (2)$$

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。

$$F_s = 0.333\theta(1 - \theta)\left[1 + 0.344 \sin\left(2\pi\frac{J - 48.5}{365}\right)\right]L^2 \dots \dots (3)$$

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。

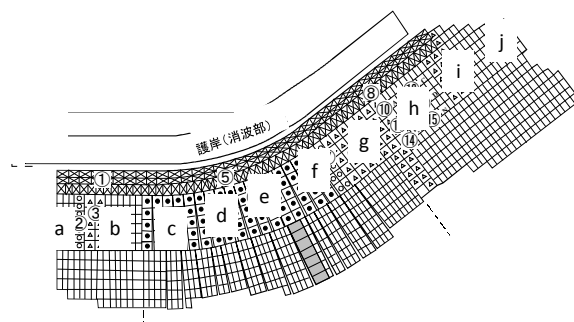


図-14 背後小段付傾斜堤断面図

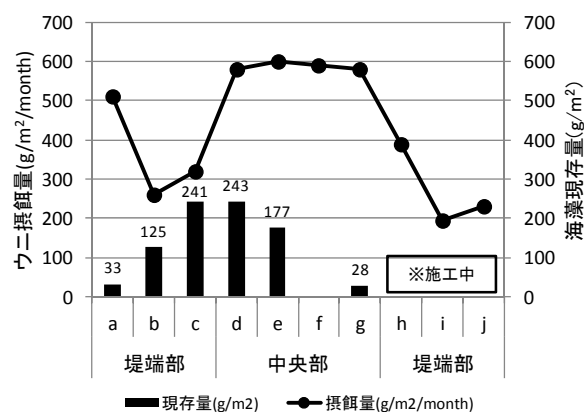


図-15 背後小段上の海藻量とウニ摂餌量

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/m²)は、寿都漁港周辺海域の平均個体数である 20 個/m²とした。また、堤端部 h, i, j は調査時において工事を実施していたため、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タムラサキウニの摂餌活動が活発で摂餌量がおよそ月間 600g/m²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（年単位または季節単位）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>1)</sup>。

この基本方針を踏まえた上で自然環境調和型構造物の維持管理手法として、ハード対策である背後小段嵩上げによる流動環境改変を主対策とし、ソフト対策である海藻の母藻利用と食害防止を合わせたハード・ソフトを一体化させた藻場回復対策を提案し、事業計画に盛り込んだ。事業箇所は寿都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

前述の嵩上げ実証試験の結果をもとに、背後小段部を嵩上げ改良により流動環境を改善する対策方針が決定し事業化に至った。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）が行われた。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カ年で実施された（図-19）。本施工における藻場回復効果を施工途中段階で確認するために、2014年2月からモニタリング調査（図-20）を実施している。その際の測線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。

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。

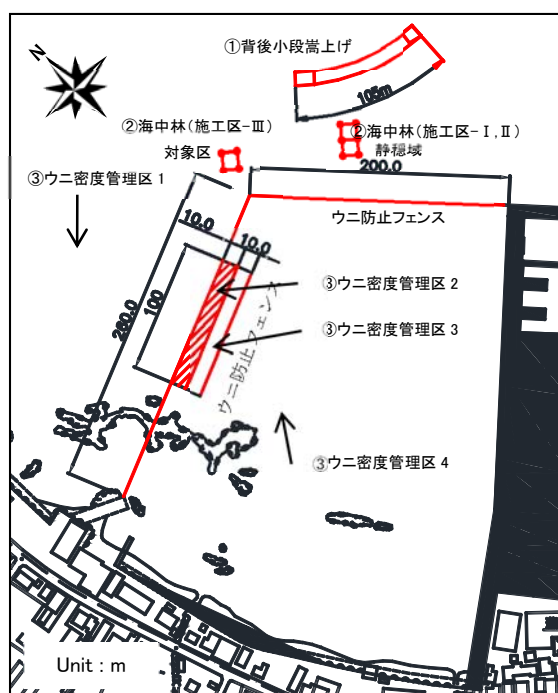


図-16 総合的な磯焼け対策事業



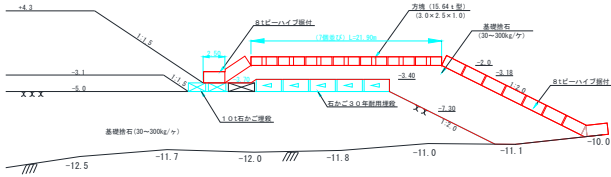


図-17 嵩上げ改良断面図



図-18 方塊ブロック（溝付）



図-19 嵩上げ改良（赤枠部）

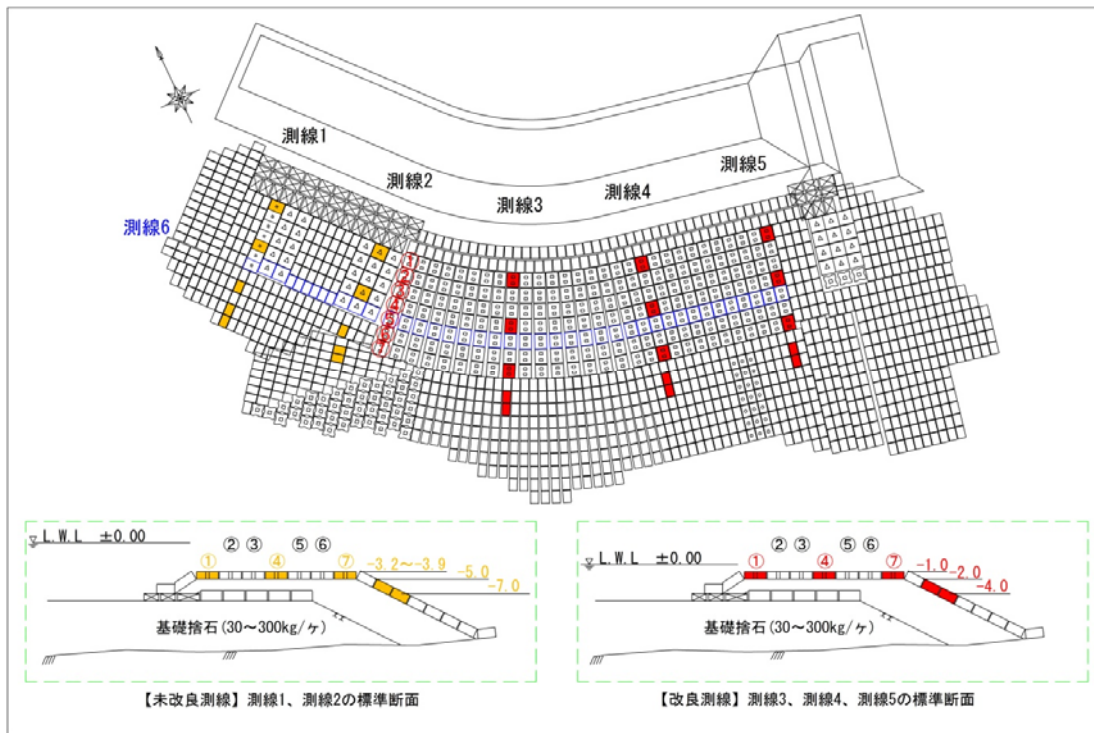


図-20 モニタリング箇所（2014年2月時）



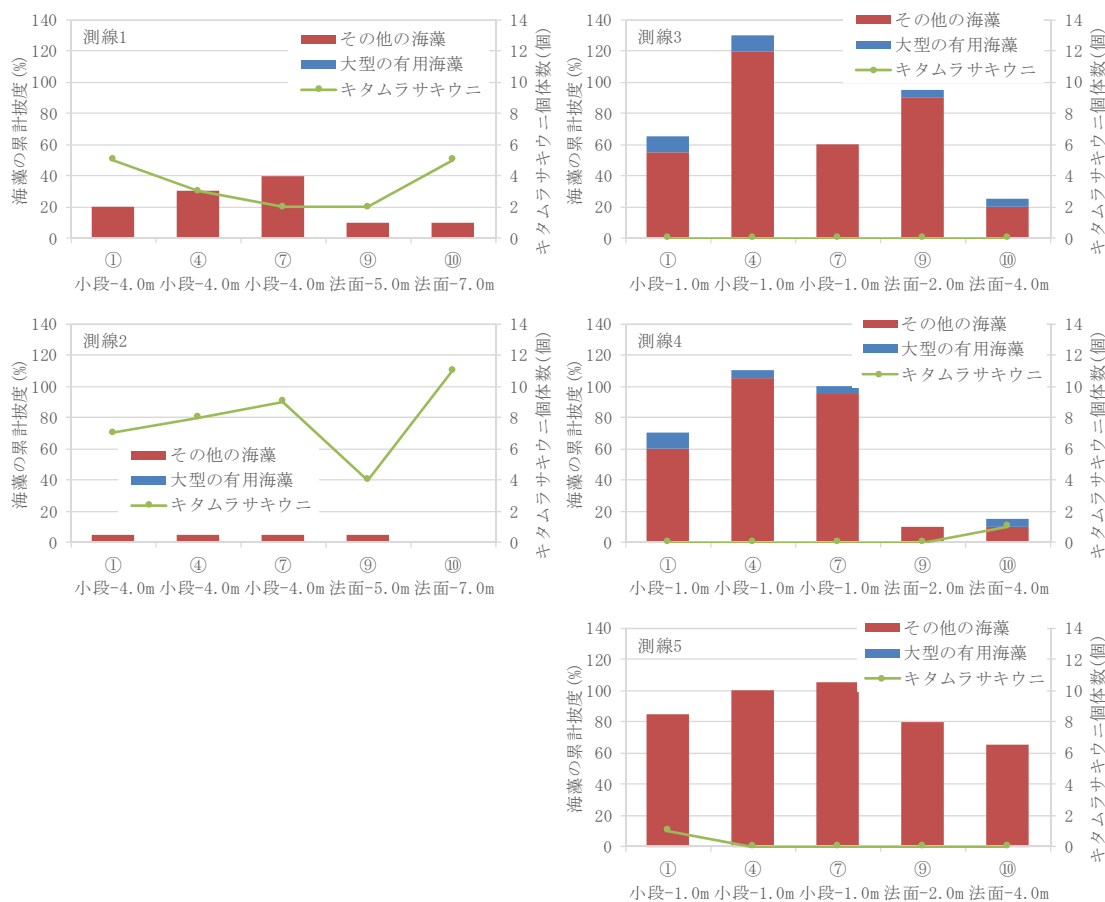


図-21 背後小段の海藻着生状況とウニ密度 (2014年2月時)

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、ソフト対策としての母藻利用手法として、海藻着生ロープに海中林の造成を提案した。その中から最適なロープの諸条件を明らかにした。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(赤線で示している延長10mのロープ(φ21mm))。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、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

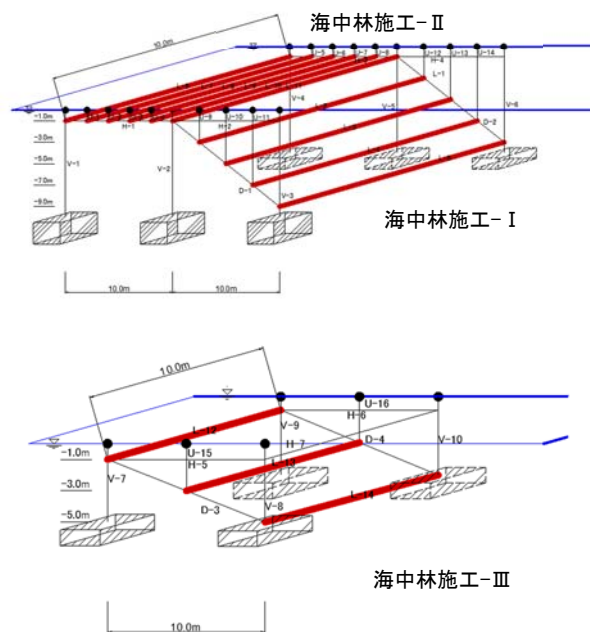


図-22 海中林の構造

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						
			波当たり強弱	ウニ多寡	光量子量多寡	撈り方	ロープ形状	その他	
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	〃	
海中林施工-III	L-11	-1.0m	○	○	○	〃	21mm	〃	種付き
	L-12	-1.0m	○	○	○	三つ打ち	21mm	あり	
	L-13	-3.0m	○	○	○	〃	〃	〃	
	L-14	-5.0m	○	○	○	〃	〃	〃	

た（L-6～L-11）。さらに、海中林施工-IIIは水深約-5.0mの箇所に、同じくロープを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ためのものである。

### 3.4 維持管理の手順（フロー）

自然環境調和機能（藻場創出機能）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、類似整備事例、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よる事前調査により施設の概況



図-23 ウニ侵入防止フェンス

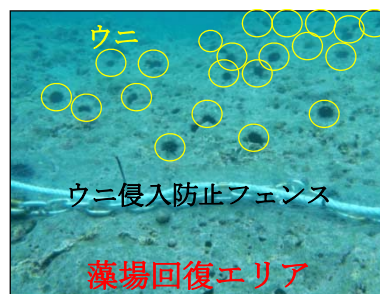


図-24 ウニ侵入防止フェンス設置状況

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

を把握する。次に、目視中心の簡易調査（海藻被度、ウニ密度、浮泥堆積、基質状態等）により、藻場創出機能の発現状態の判定などの機能評価を行う。そして、機能が低下していると判断された場合は、表-4 に示すような詳細調査により機能低下（性能低下）の要因を特定するとともに、機能回復のための対策（低下要因の排除・抑制・改変するための手法）を検討する。その上で、機能回復のための対策手法や規模を盛り込んだ維持管理計画を策定する。計画に基づいた対策工事等の施工後は、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などのフォローアップにより順応的な対応をしていくことが望ましい。また、一連の取り組みにより得られたデータやノウハウを整理・蓄積し、他の現場・施設に反映することも重要である。

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

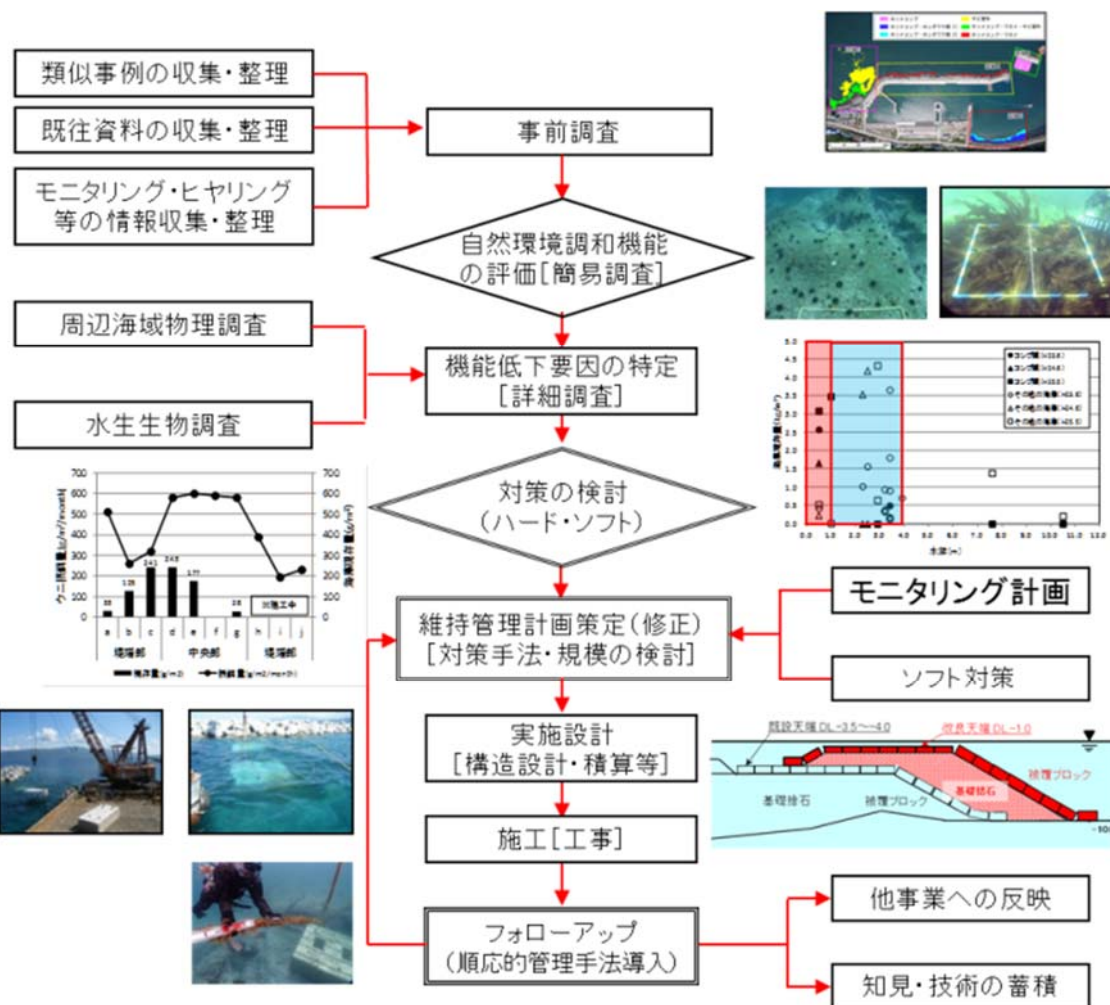


図-25 順応的管理による自然環境調和型沿岸構造物の維持管理フロー (案)

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	

産学官と共有する必要がある。このうち、藻場創出機能の再評価（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。

#### 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、環境調和機能が十分に発現されていない事例が見受けられる状況にあり、その原因として水温上昇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。その上で具体的な対策（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。

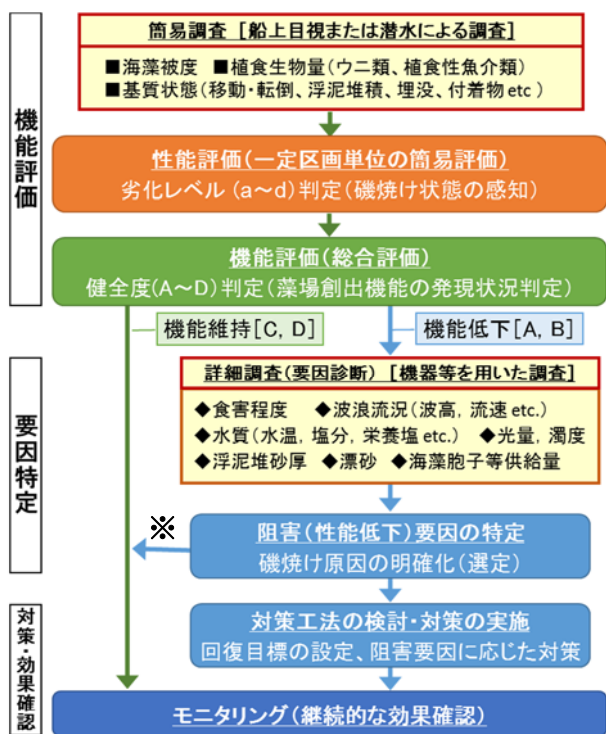
これまで、構造物の維持管理を実施する中でコンクリートのひび割れや鋼材の腐食といった構造物の物理的・科学的な観点からの機能診断手法は数多く提示<sup>12)</sup>されている。しかしながら、生物学的な面からの系統的評価手法は未だ確立されておらず、自然



環境調和型沿岸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、ならびに対策手法の検討・実施、さらにモニタリングによる継続的な効果の確認などの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、そして③対策・効果確認を加えた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。



※詳細調査の結果、機能が維持されていると判断された場合(評価の再設定)

図-26 機能診断の全体スキーム

##### 4.2.1 機能評価

機能評価は「目視による簡易調査」、「性能の低下

レベルを簡易的に判定する性能評価」および「施設全体の機能の発現状況を判定する総合評価」から構成される。ここで簡易調査は、船上目視または水中目視(潜水土)による海藻被度、ウニなどの植食生物量、基質の移動、基質表面の浮泥の堆積や付着物の有無など、できる限り簡易に実施できる手法とした。なお、藻場造成の視点では殻状海藻は対象にしていなかったことから、立体的な形状の海藻が対象とした。

簡易調査を実施した後、適切な評価基準により当該施設の自然環境調和型沿岸構造物としての機能を評価する。具体的には、まず簡易的な評価として磯焼け状態を判断(磯焼けを感知)するための性能低下の程度(劣化レベル)を把握するため、現地実証試験と既存文献<sup>13)14)</sup>により分類した表-5に示す藻場創出機能の評価指標(チェックリスト)により性能評価を実施する。劣化レベルとして各項目でa(劣化あり)~d(劣化なし)の4段階に評価を行う。その上で一定区間(スパン)単位で機能の発現状況を健全度(機能低下Aから機能保持Dの4段階)として判定し、最終的な総合評価を行うものである。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。

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。一次項目は、海藻の被度と植食生物の分布密度とし、植食生物の分布密度は北海道の沿岸域において磯焼けの原因として問題となっているキタムラサキウニ、エゾバフンウニ、小型巻貝の3種類とした。二次項目は、必須項目と選択項目に分け現場の海域条件に応じて評価項目を選択するといった北海道の沿岸域の特性を適切に評価できる体系とした。

施設全体の総合評価(健全度)は表-6のとおりとし、一次項目である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直接的な徴候として「海藻の被度」と磯焼けの主要因として「植食生物の分布密度」の一次項目において概略評価(AまたはDの判定)を行い、構造的な劣化特性として「浮泥の堆積」「基質の移動」「基質の埋没」「付着動物の競合」の二次項目で最終評価(BまたはCの判定)を行うものである。

表-5 藻場創出機能の評価指標（チェックリスト）

【一次項目】

劣化レベル	海藻被度
a	5%未満
b	5%以上25%未満
c	25%以上50%未満
d	50%以上

劣化レベル	植食生物の分布密度(下記より選択。複数可)		
	キムラサキウニ	エゾハフウニ	小型巻貝
a	6個/m2以上	10個/m2以上	40個/m2以上
b	4個/m2~6個/m2	4個/m2~10個/m2	26個/m2~40個/m2
c	1個/m2~4個/m2	2個/m2~4個/m2	13個/m2~26個/m2
d	1個/m2未満	2個/m2未満	13個/m2未満

【二次項目】

<必須項目>

劣化レベル	浮泥の堆積	基質の移動
a	長期にわたり基質や葉面に浮泥が堆積	基質の折損・転倒又は飛散
b	一時的に基質や葉面に浮泥が堆積	基質の凹凸の摩擦や軽度の欠損等
c	基質や葉面に浮泥が部分的に堆積	基質のわずかな移動、局所的な折損
d	異常なし	異常なし

<選択項目>

劣化レベル	基質の埋没	付着動物の競合
a	長期に基質が砂に埋没	全面に付着動物が優占
b	基質の一部が砂に埋没	付着動物被度が50%以上
c	一時的に基質が砂に埋没	付着動物被度が50%以下
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	海藻の被度がかなり低い、または植食動物が非常に多い等、藻場創出機能が低下している可能性がある状態	aが全数の2割以上	-
B	海藻の被度が低い、または植食動物が多い等、対策を施さないと藻場創出機能が低下するおそれがある状態	a+bが全数の2割以上 a+bが全数の2割未満	- a+bが全数の2割以上
C	軽微な磯焼けの徴候はあるものの機能の低下には至っておらず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	施設の機能が低下している可能性がある状態	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おそれがある状態	可能な限り対策を講じる
C	施設の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	施設の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	地元利用者から報告の収集、巡回時の状態確認

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。この総合判定において「機能低下（機能低下する恐れを含む）」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。なお、詳細調査で機

能低下が深刻ではない場合は経過観察とする。

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に示すような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調査方法の抽出を図ることが重要である。なお、詳細調査による要因特定の段階において、機能が維持されていると総合評価の判定の見直しがされた場合は、健全度の再設定を行った上で経過観察に移行する。

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。

表-8 機能阻害要因と調査方法

疑われる機能阻害要因	原因	調査方法
ウニ類等による食害	摂餌行動が容易な環境にある	・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
胞子不足	着生できる胞子が少ない	・母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

4.3 機能診断手法の検証

本研究の調査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。当該施設は平成26年3月時点においてスパン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た(スパン1は当時工事中)。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。

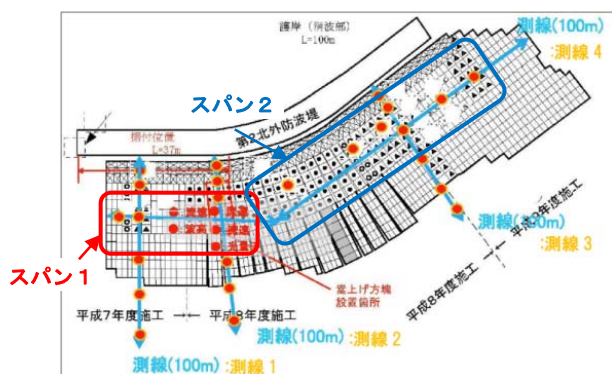


図-27 機能診断箇所

### 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（2013.2.6～3.5）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、ホソメコンブはスパン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小型巻貝は出現していたが個体数は少なかった。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「B」、2は「A」という総合評価となった。

表-9 藻場調査結果（改良前）

測線		測線4											単位
スパン		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	
距離		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	m
網	種名												
緑藻綱													
	アオサ目	10	20		+	5	+				+		%
褐藻綱													
	フクロノリ	5	+	10	10	10	20				+	+	%
	ワカメ												%
	ホソメコンブ		10			10		+					%
紅藻綱													
	イギス						25						%
	アカバ					+							%
	ダルス	10	25										%
	不明						10						%
	モロイトグサ							10					%
動物													
	不明巻貝類				2	3				3	2	5	
	クボガイ類		1	3			3	1	1				個/m <sup>2</sup>
	ユキノカサガイ	6		2	3								個/m <sup>2</sup>
	ヨメガカサ	2					2				3		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>
	エゾバフンウニ						1						個/m <sup>2</sup>
	ヤドカリ類	2					2						個/m <sup>2</sup>
	マナマコ									1			個/m <sup>2</sup>
	マボヤ							1					個/m <sup>2</sup>
	キヒトデ										1		個/m <sup>2</sup>
	エゾアワビ		1								1	1	個/m <sup>2</sup>

+:被度5%未満

表-10 簡易診断結果（改良前）

スパン		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
一次項目	海藻被度	c	d	b	b	c	d	b	a	a	a	a
	ウニの分布密度	c	d	a	b	a	c	d	c	c	c	c
	小型巻貝	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
二次項目	必須項目	浮泥の堆積	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
		基質の移動	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
	選択項目	基質の埋没	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
		付着動物の競合	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
総合評価		B				A						



### 4.3.2 詳細診断結果（改良前）

上述のとおり改良前のスパン1・2における簡易診断結果はAまたはBであり、機能が低下している可能性がある状態または機能が低下する恐れがある状態と判断され阻害要因を究明する必要がある。観測項目として流況、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を阻害要因に関して評価を行った。なお、前述のとおり寿都漁港では藻場創出機能を回復させるための対策工事を行っており、工事前の事前調査と工事後のモニタリング調査により表-8における調査方法は網羅的に実施されていたため、評価にあたっては当該調査結果を使用した。

主要な現地調査結果と考察を以下に述べる。

- (1) 調査期間（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。
- (2) 小段表層付近の光量子量は $200\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を超えており、光環境は十分<sup>15)</sup>に確保されており、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 $0.064\sim 0.071\text{mg}/\text{l}$ となっており窒素の閾値である $0.014\text{mg}/\text{l}$ 以上<sup>16)</sup>であることから、栄養塩に問題はないといえる。
- (4) 一方で水温は $6.6\sim 6.8^\circ\text{C}$ と比較的高い。一般的に $5^\circ\text{C}$ 以下であればウニの活動は抑制傾向と言われていることから高水温化が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。図-13で示したように改良前の施設（水深-3.6m）ではウニの摂餌行動限界流速以下であるのに対し、改良後を想定した天端（水深-1.0m）ではほぼ限界流速を越える流速となっており、施設天端上の流動環境が機能低下の大きな要因として推察された。そこで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 $0.25\text{m}/\text{s}$ および摂餌限界流速 $0.40\text{m}/\text{s}$ を目安とした改良（天端嵩上げ）前後における流動環境の評価を実施した。

- (5) その結果、嵩上げ前では $0.40\text{m}/\text{s}$ 以上の流速が40%以上出現するのは1月、12月に限られ、 $0.25\text{m}/\text{s}$ 以上の出現頻度を加えれば1～3月と10

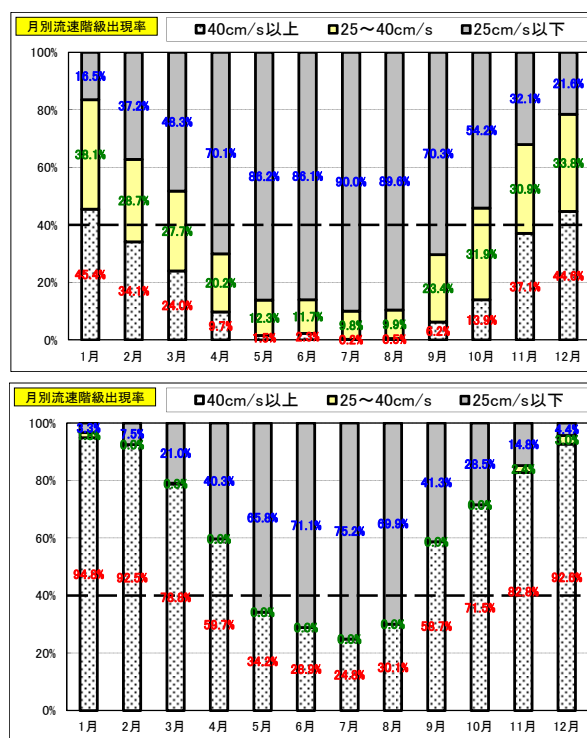


図-28 流速出現率（上：改良前 下：改良後）

～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 $0.40\text{m}/\text{s}$ 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。また、表-10のウニの分布密度に注目すると防波堤背後中央部が堤端部に比べ劣化レベルが高い結果となっており、前述した堤端部では回折波等により波当たりが強く、ウニの摂餌行動が抑制されるという現地状況を適切に評価した結果となっている。

### 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）の性能評価（劣化レベルの判定）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5①で1個体/ $\text{m}^2$ のみ）している。そして機能評価結果は表-12のとおりとなり、未改良のスパン1は総合評価Aと以前の評価Bから機能低下のランクが進行しているのに対し、改良したスパン2は総合評価Cと以前の評価Aから機能が回復した結果となった。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1			測線2			測線3			測線4			測線5			単位
スパン		1									2						
測点		① 小段 -4.0m	④ 小段 -4.0m	⑦ 小段 -4.0m	① 小段 -4.0m	④ 小段 -4.0m	⑦ 小段 -4.0m	① 小段 -1.0m	④ 小段 -1.0m	⑦ 小段 -1.0m	① 小段 -1.0m	④ 小段 -1.0m	⑦ 小段 -1.0m	① 小段 -1.0m	④ 小段 -1.0m	⑦ 小段 -1.0m	
植物	緑藻綱	アオサ						30	10	+			10	5		%	
		アナアオサ	10	20	20	+	+	+			20	20	+		10	10	30
	褐藻綱	セイヨウハバノリ							10					10		10	10
		フクロノリ							5	30	20	20	80	80	10	80	70
		カヤモノリ							+	10		10	+		20	10	5
		ケウルシグサ													30		
		ホソムコンブ							10	+		+					
	紅藻綱	ワカメ								+		+	+	+			
		ノリ							70	10		10	5				
		イギス									5						
アカバ												+					
ダルス		10	10	20													
動物	軟体動物	ヌメハノリ						15			10			10			
		イガイ						1	2	1							
		カキ類															
		クボガイ類	20		25			25	2	2	2	2					
		ユキノカサガイ		30													
	ヨメガカサガイ							20									
	棘皮動物	キタムラサキウニ	5	3	2	7	8	9						1			
植物出現種類数		2	2	2	1	1	1	6	6	5	6	7	4	7	3	4	
動物出現種類数		2	2	2	1	1	2	2	3	2	1	0	0	2	0	0	

表-12 機能評価結果（改良後）

測線		測線1			測線2			測線3			測線4			測線5		
スパン		1									2					
測点		① 小段 -4.0m	④ 小段 -4.0m	⑦ 小段 -4.0m	① 小段 -4.0m	④ 小段 -4.0m	⑦ 小段 -4.0m	① 小段 -1.0m	④ 小段 -1.0m	⑦ 小段 -1.0m	① 小段 -1.0m	④ 小段 -1.0m	⑦ 小段 -1.0m	① 小段 -1.0m	④ 小段 -1.0m	⑦ 小段 -1.0m
一次項目	海藻被度	b	c	c	a	a	a	d	d	d	d	d	d	d	d	d
	ウニの分布密度	b	c	c	a	a	a	d	d	d	d	d	d	c	d	d
	小型巻貝	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
二次項目	必須項目	浮泥の堆積	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
		基質の移動	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
	選択項目	基質の埋没	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
		付着動物の競合	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
総合評価		A									C					

### 5. 自然環境調和型沿岸施設の維持管理技術

藻場の状態は、一般に周囲の自然環境条件の変化および年数の経過によって変遷することから、計画時に想定した藻場創出機能（目標とした藻場造成効果）を持続させるためには自然環境の変化や施設の変状・劣化に応じた適切な施設の維持管理（ソフト対策含む）が必要となる。この藻場造成施設の維持管理を検討するにあたっては施工後の施設や周辺環境の実態を把握し、計画段階で想定した目標との比較によって藻場創出機能の評価を行うことが肝要である。その評価を踏まえて、今後の対策を検討する。そして評価の過程で機能低下の徴候や維持管理上の問題点・課題が抽出された場合には、順応的管理の考え方に従って人為的に対処可能なものは改善策として維持管理計画に盛り込み、対策の実施、モニタリングの継続を行う。また、評価や検討過程で得ら

れた、知見・情報を蓄積して類似事業に反映することも重要である。

上記の検討を行う上でモニタリングは重要である。基本的に詳細調査は生物調査を中心に行うが、物理・化学環境調査も可能な限り実施し、藻場創出機能の発現状況や年変動特性を把握し、定期的な機能評価や対応策の検討に活用する。特に藻場の形成には複数年を要し、また生育には年変動もあることから、モニタリングは長期間（5年程度以上）実施することが望ましい。

これらモニタリングで得られた結果に基づいて、整備後の事後評価として計画段階で想定した目標（藻場造成による効果）の達成度を評価する。藻場効果ごとの評価視点および調査項目を表-13に示す。

評価の結果、計画段階で想定した目標に達していないと判断された場合は、機能評価の段階に立ち戻り、再度機能診断を実施し、原因の究明と対応策の

表-13 藻場創出機能を評価する際の視点と調査項目

藻場効果	海藻類		その他	
	評価の視点	調査項目	評価の視点	調査項目
漁場	繁茂の有無 繁茂状況	海藻類の種類・量・成長の度合い 付着基質への着生状況(付着位置・付着量・堆砂等被覆の有無)	—	—
産卵場			産卵の有無・状況	海藻類に付着している魚卵数、魚卵が付着している海藻の種類・周辺で見られる幼稚仔の種類・数
保育場			回遊・休憩している幼稚仔の有無・状況	周辺で見られる幼稚仔の種類・数
餌場			海藻類を餌とする水生生物の有無・状況	植食水生生物(ウニ等)・葉体付着生物の種類・数
その他			魚介類の蠕集状況(蠕集機能)	周辺で見られる魚介類の種類・数
	水質の改善状況(水質浄化機能)	水温、透明度、SS、濁度、塩分、PH、COD、全窒素、全P		

検討を行うなど維持管理計画を見直す。

藻場も自然の状態では年数の経過とともに海藻類の分布・種類等、変遷していくのが一般的である。したがって、藻場を望ましい状態に維持するためには、モニタリングで藻場の変遷を把握するとともに、問題点や課題がある場合にはそれらの解決策を検討しながら適切に管理する、いわゆる順応的な対応が重要となる。

## 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した。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の低下が懸念される。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、藻場の効果が期待できないおそれがある。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、現地実証試験における効果検証を行うことによりその効果を確認した。
- (3) 提案手法を盛り込んだ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、事業化への展開を図るなど藻場創出機能回復技術を確立した。
- (4) 事業実施においては機能評価・要因特定・対策

検討といった機能診断、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が重要である。

- (5) 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発現状態を評価する機能診断手法を提案した。本診断手法を用いて寿都漁港を対象にその妥当性を検証したところ、改良前後の藻場創出機能を適正に評価することができ、提案した診断手法の有効性が確認された。
- (6) 藻場の状態は、一般に周囲の自然環境条件の変化および年数の経過によって変遷することから、計画した藻場創出機能を維持・保全していくためには、年変動特性を考慮した評価（機能診断）が不可欠であり、モニタリング調査によるフォローアップに合わせて機能の発現状況に応じた対応を検討するといった順応的な維持管理手法が重要である。

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) 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, 極檀邦夫, 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) 沢田ら : コンブ藻場, 藻場・海中林, 日本水産学会編, pp.130-141, 1981
- 14) (社) 全国漁港漁場協会 : 磯焼け対策ガイドライン, p.42, 2007
- 15) (社) 日本水産資源保護協会 : 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」, pp.94-95, 1992
- 16) 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), pp.175-180, 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** : Fisheries Engineering  
Research Team

**Author** : MIKAMI Nobuo

MAKITA Yoshimi

SATO Jin

MIMORI Shigeaki

OHASHI Masami

KAJIHARA Rumiko

**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. In 2014, the function diagnosis technique of coastal structures in harmony with the natural environment in cold coastal regions was examined. Finally in 2015, we constructed the system of the evaluation concerning the function to create seaweed beds formation and we proposed the method of diagnosing the function to maintain the function appropriately.

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