

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

VERIFICATION OF PERSISTENCY IN EFFECT OF SEAWEED BED
CREATION IN NATURAL HARMONY TYPE COASTAL STRUCTURE

佐藤 仁¹・渡辺光弘¹・山本 潤¹・黄金崎清人²・清水恵理子³・鳴海日出人³
Jin SATO, Mitsuhiro WATANABE, Jun YAMAMOTO, Kiyoto KOGANEZAKI,
Eriko SHIMIZU and Hideto NARUMI

¹正会員 独立行政法人寒地土木研究所水産土木チーム(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

²日本データーサービス株式会社水工部(〒065-0016 札幌市東区北16条東19丁目1-14)

³正会員 海洋環境デザイン株式会社(〒063-0866 札幌市西区八軒6条東5丁目2-6-301)

Barren ground to which the seaweed beds disappear is widely distributed in the sea area. It is known that the seaweed beds are important as fishes' spawning ground and living places, the measure was required. The coastal structures to make the algae place have been constructed for about ten years. However, it is feared that the decrease in the effect of algae place creation by the aged deterioration of the substrate and water temperature elevation in recent years. It is required to devise the measures against disappearance of the seaweed colony. For that, it is necessary to verify the sustainability of the effect of seaweed creation before about ten years. Field investigation concerning distribution of seaweed beds and physical environment were performed in fishing port of Hokkaido. In this study, the results of the field investigation are introduced. It is found that one of the causes is feeding pressure to seaweed by sea urchin. It is strongly dependent on water temperature in winter. To control the feeding pressure in the situation of the elevated water temperature, it is necessary to improve flow velocity on the rear step of breakwater more.

Key Words: Seaweed bed, barren ground, breakwater rear step, feeding pressure of sea urchin, water temperature elevation

1. はじめに

藻場が大規模に消失するいわゆる磯焼け状態が全国で発生し問題視されている。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など、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¹⁾。磯焼け対策として、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。また、これら構造物の初期段階での海藻着生効果については明田ら²⁾の報告がある。しかしながら、基質の経年劣化や近年の水温上昇等により藻場造成効果の低下が懸念されている中で、長期的な調査事例は少ない。著者ら³⁾は、整備後10年以上経過した構造物を対象にモニタリングを行い、こうした問題点を指摘した。

そこで、北海道日本海側に位置する寿都漁港に整備された自然環境調和型沿岸構造物である背後小段

付傾斜堤(1995～1997年整備)を対象として、整備後からの潜水による海藻繁茂状況(海藻被度・現存量等)の調査と衛星画像や航空写真を用いた画像解析による藻場分布域の算定を行った。背後小段付傾斜堤は、図-1に示すように通常の消波ブロック傾斜堤の港内側捨石部を嵩上げして水深を浅くし着生した藻類の光合成の促進及び流動環境の向上による植食動物の侵入防止を目的とした構造形式である。

本研究は、自然環境調和型沿岸構造物の機能保全対策に資することを目的に、過去に整備された施設の藻場造成効果の持続性を現地調査等により把握し、

寿都漁港第2北外防波堤

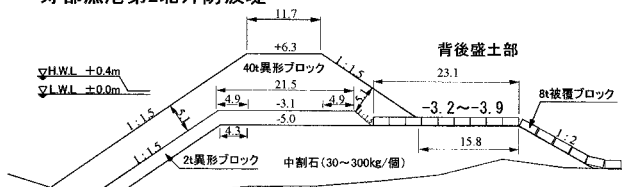


図-1 背後小段付傾斜堤構造図

海藻の生育環境因子である水温と流動の面から背後小段の藻場機能の評価を行い、機能低下の原因解明及びその対策について検討したものである。

2. 調査方法

(1) 海藻繁茂状況

調査対象とした寿都漁港の平面図を図-2に示す。背後小段付傾斜堤として整備した第2北外防波堤(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などの大型藻類が繁茂しない状況が続いている。

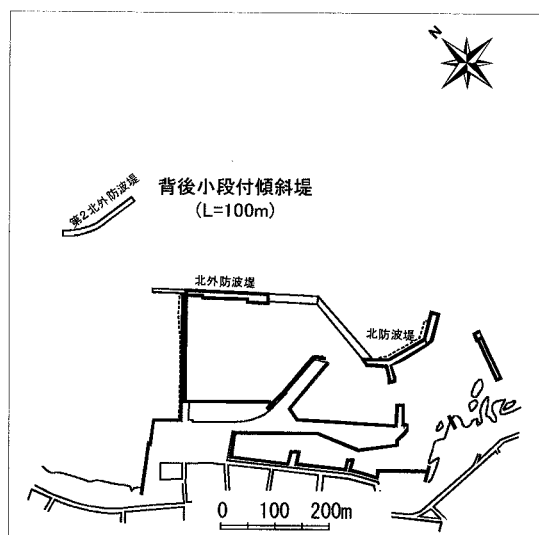


図-2 寿都漁港

この背後小段における海藻繁茂に関する現地調査(海藻現存量把握)は、表-1に示すとおり施設完成後から現在(13年経過)まで夏季の海藻繁茂期を中心に計8回実施されてきた。なお、2009年と2010年

表 - 1 海藻現存量の調査年

経過年	西 暦	調査月
0	1997年	施設完成
1	1998年	7月
2	1999年	7月
3	2000年	8月
10	2007年	7月
11	2008年	6月
12	2009年	2月, 6月
13	2010年	2月

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藻場造成機能について検討する。

(2) 航空写真・衛星画像による藻場分布域の算定

a) 画像解析による藻場分布域の把握

一般的な潜水調査による藻類の現存量の把握は、その調査費用が膨大となることから、継続的かつ広域的に実施することは困難である。寿都漁港においても、実際には背後小段上と天然藻場の一部でしか調査を行っておらず、長期的かつ広域的な藻場の把握には限界があった。今回、藻場の広域的な把握を目的として、航空写真画像と衛星画像を解析して藻場分布域の算定を試みた。

b) 航空写真画像解析

航空写真撮影は、2009年6月の潜水調査と並行して行い、双方のデータを基に画像解析を実施した。藻場形成領域を推定する区域は、図-3に示すとおり、区域1：自然環境調和型防波堤(背後小段付傾斜堤)、区域2：天然岩礁帯、区域3：既存防波堤消波工部の3区域とした。なお、撮影は2009年7月3日に実施した。

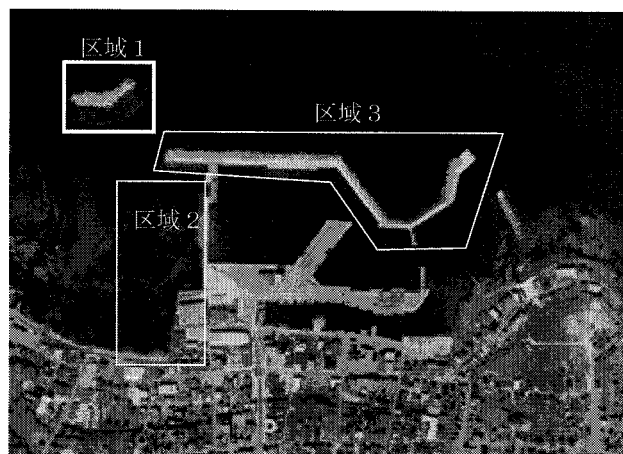


図 - 3 航空写真撮影区域(寿都漁港)

航空写真の撮影には、産業用ラジオコントロールヘリコプター(以下、ラジコンヘリ)を用いた。撮影は消波ブロック、汀線際の岩礁・転石帯の海藻群落についても撮影している。なお、撮影位置は画像を地上のモニターで確認しながら行い、3次元GPS(XYZ)によってラジコンヘリの位置確認を行った。撮影に用いた機材の緒元を表-2に示す。

ラジコンヘリによって撮影した航空写真と潜水調査結果を比較して、藻場の形成領域を抽出して解析を行った。解析方法は画像汎用ソフトであるフォトショップVer7.0を用い、藻場の形成領域について色

調による海藻の種類分けおよび海藻の被度を算出し、藻場分布域等を推定した。画像解析のフローを図-4に示す。

表 - 2 ラジコンヘリ諸元

産業用ラジコンヘリ YAMAHA R-MAX	
【性能】	・積 載 量 30kg
	・飛行時間 60分
	・高度限界 350m
	・制御範囲 150m(目視範囲)
【機 体】	・メインロータ径 3,115mm
	・テールロータ径 545mm
	・運用自重 58kg
	・全 長 3,630mm(ロータを含む)
	・全 副 720mm
	・全 高 1,080mm
【エンジン】	・型 式 水冷 2サイクル 水平対向
	・排 気 量 246cc
	・出 力 21PS
	・始動方式 セルモータ
【写 真】	・燃 料 ガソリン・オイル混合

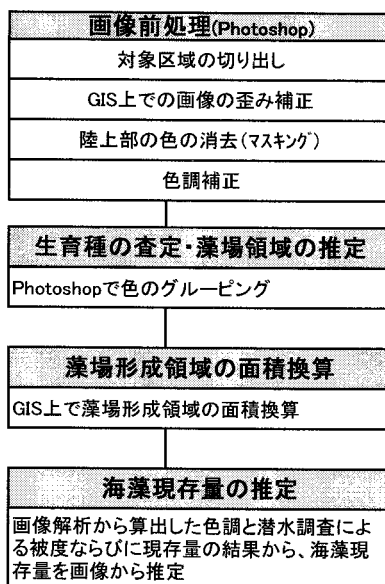
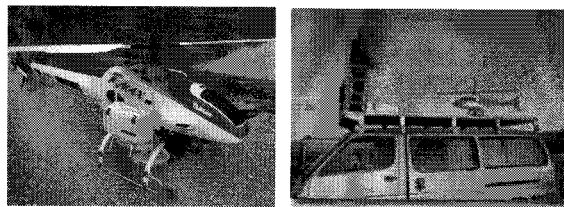


図 - 4 画像解析フロー

c) 衛星画像解析

前述の航空写真による藻場の定量的な算出結果をキャリブレーションとして、過去に撮影された衛星画像から当時の藻場の定量的把握を行う。今回は、背後小段あるいは一部の天然岩礁というごく限られた場所における植生や分布域等を把握する必要があることから、高分解能画像であるQuick Bird画像を用いた。画像は表-3に示すとおり対象区域が雲に覆われていない画像2枚を入手して解析を行った。なお、Quick Birdの概要⁴⁾を表-4に示す。また、衛星画像解析の手法は、前述の航空写真画像解析の場合と同じである。

表 - 3 衛星画像一覧

画像の種類	撮影日	雲量の割合(%)	
		画像全体	対象区域
Quick Bird	2007/04/25	16	0
	2009/03/09	21	0

表 - 4 Quick Bird概要

衛星名	軌道要素	観測センサ			
		センサ	波長域(μm)	空間分解能(m)	観測幅(km)
QuickBird-2 (2001)	軌道高度:450km 傾斜角:約66° 回帰日数:1~4days	Multispectral	0.45~0.52	2.44	18.5
			0.52~0.60		
			0.63~0.69		
		Panchromatic	0.45~0.90	0.61	

3. 結果と考察

(1) 背後小段上の藻場造成の持続性

図-5に背後小段の整備直後から現在までのホソメコンブの現存量の推移を示す。横軸には調査年月、縦軸にはホソメコンブの1m²当たりの現存量(kg)をプロットした。また、背後小段に設置したブロックの内、海藻着生効果をねらった溝つきブロックと表面が平坦なブロックについて表示している。溝つきブロックの形状を図-6に示す。併せて、海藻の生育に影響を与える環境因子として、各年の冬期(2月)の寿都海域の海水温の平均値をプロットした。

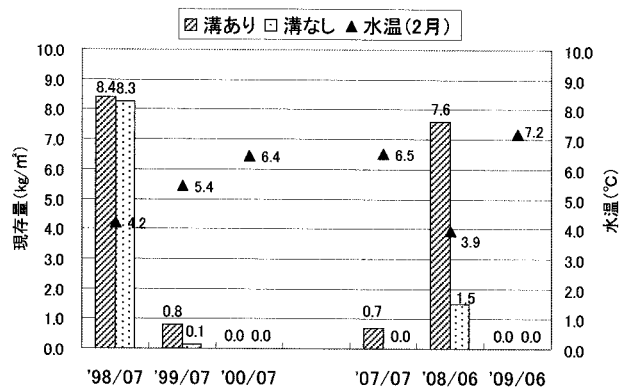


図 - 5 背後小段上のホソメコンブの現存量と冬期水温の経年変化

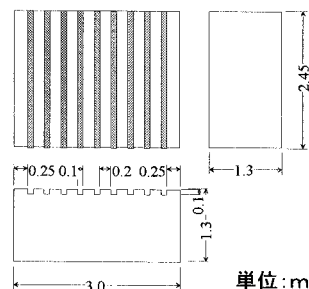


図 - 6 溝つきブロックの一例

図より、ホソメコンブの現存量は、整備後1年目は非常に高い値を示していた。しかし、1999年のブロック設置後2年目には急激に減少し、2000年の3年目には背後小段上では海藻がほとんど生育していない状況であった。これに対して、近年の2007年は溝きりブロックのみの着生であったものの、翌年の2008年は8.0kg/m²以上もの良好なホソメコンブの繁茂が確認された。しかしながら、2009年は再びホソメコンブの着生は確認されていない。このようにホソメコンブの現存量は年変動が顕著である。

ブロックの基質については、平滑面に対する凸凹面の海藻着生効果に関する報告（例えば明田ら⁵⁾）がある。設置後11年経過した段階でも溝きりブロックにはホソメコンブの着生が見られることから、海藻の着生促進効果があると考えられる。

また、谷口⁶⁾は1～3月の平均水温が低いと天然コンブの生産量が多いと報告している。2007年2月の平均水温に比較して2008年2月は約2.5℃低く、ホソメコンブ現存量は約10倍であった。しかし、2009年2月は再び高水温となり海藻の生育は確認されていない。つまり、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ているものと推察される。この海域の植食動物であるキタムラサキウニ(*Strongylocentrotus nudus*)が高密度に生息する背後小段上では、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り、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。

(2) 画像解析による藻場分布域の推定

航空写真画像解析による傾斜堤の海藻分布を図-7に示す。本体消波ブロックの水面付近にはコンブ（赤色）が着生しているが、背後小段上にはフクロノリ(*Colpomenia sinuosa*)が高密度で分布している。

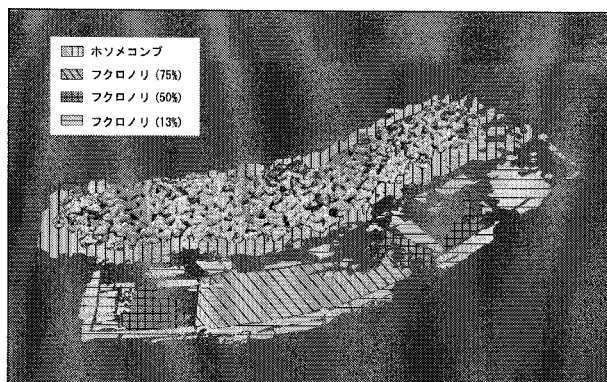


図 - 7 傾斜堤における海藻分布

さらに、海藻種毎の着生面積を算定した結果を表-5に示す。ホソメコンブが着生している領域は、

区域1、2のいずれも消波工部であるが、その着生はごく海面付近に限られている。背後小段や天然岩礁といった水深をある程度有する箇所においては、ホソメコンブの着生が無く、フクロノリ、ホンダワラ類(*Sargassum*)、アナアオサ(*Ulva pertusa* Kjellman)、スガモ(*Phyllospadix iwatensis* Makino)が分布する結果となった。

表 - 5 海藻種類別の分布面積

藻場形成種	区域1		区域2	区域3	合 計
	消波工部	背後小段	自然岩礁	防波堤消波工部	
ホソメコンブ	734	—	—	689	1,423
フクロノリ	—	973	—	—	973
アオサ属	—	—	172	—	172
スガモ	—	—	172	—	172
ホンダワラ類	—	—	1,983	—	1,983

単位: m²

図-8に衛星画像解析による藻場分布図を示す。両者とも海藻の生長期にあたる時期である。2007年4月において、背後小段付傾斜堤（区域1）は、本体ブロック周辺にホソメコンブが確認されたが、背後小段上はフクロノリの分布しか見られていない。また、区域3の消波工部の水面際や天然岩礁（区域3）には、ホソメコンブの分布が確認された。天然岩礁はホソメコンブ以外にもスガモ、アナアオサ、フクロノリ、エゾヤハズ(*Dictyopteris divaricata*)等の分布が見られる。対照的に2009年3月においては、海藻の分布がほとんど確認されない。海藻はその年の水温や栄養塩の状況により生長期が遅れることが考えられる。しかし、天然岩礁でも海藻の生育が極めて悪いというのは、深刻な磯焼け状態にあったものと推察される。

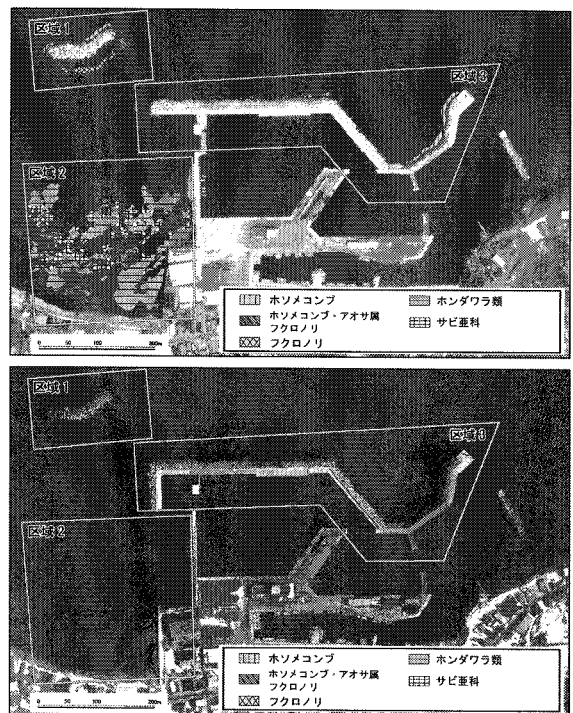


図 - 8 衛星画像による藻場分布
(上段: 2007/4/25 下段: 2009/3/9)

(3) ウニの摂食圧からみた背後小段上の藻場環境

これまで述べたとおり背後小段上では、ホソメコンブの着生の年変動が大きく、また、近年の高水温状況下において、冬期の幼芽時期におけるキタムラサキウニの食害と思われる海藻生育不良がみられている。よって、背後小段上の流動環境におけるキタムラサキウニの摂餌環境を把握し、藻場環境が持続できる条件について検討を行った。

冬期における背後小段上の流動環境については、2009年12月下旬から2010年2月下旬の期間、メモリ式電磁流速計を用いて、背後小段上における振動流速の観測を行った。なお、寿都漁港沖の波高観測も同時に行っている。図-9に観測位置図を示す。

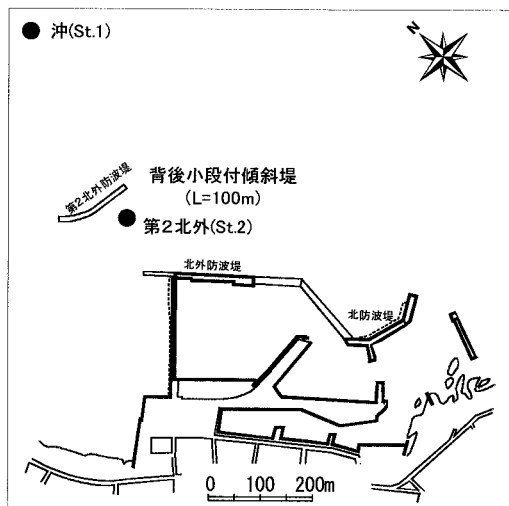


図-9 観測箇所 (St.1: 波高 St.2: 流速)

流速は測定間隔120min, サンプル間隔0.5s, サンプル個数1200個 (サンプル時間10min) で観測し、波浪による振動流速を求めた。波高は測定間隔60min, サンプル間隔0.5s, サンプル個数2400個 (サンプル時間20min) で観測した。

図-10に結果を示す。図の横軸は、観測期間を月の前半と後半に分けて表示し、縦軸は有義流速 $[U_{1/3}]$

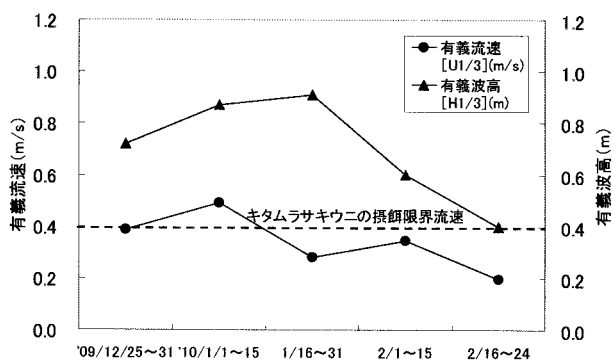


図-10 背後小段上の流速と波高

$[U_{1/3}]$ と有義波高 $[H_{1/3}]$ をとり、各々の期間における平均値をプロットしたものである。なお、有義流速とは、観測した振動流速値に対して有義波高を整理する時と同じ統計処理で算出したものである。また、Kawamata⁷⁾による室内実験より、キタムラサキウニは流速0.25m/s以上で摂餌が減少し、摂餌可能な振動流の限界は0.4m/sであることが判明している。よって、図中に限界流速値0.4m/sを破線で表示した。

2009年12月後半から2010年1月前半にかけては、低気圧通過による時化等で波高が高く背後小段上の有義流速も大きい。2月は波高も小さく、これに起因する有義流速も小さくなっている。なお、1月後半については、波高は高いものの波向の関係で背後小段上の有義流速はそれ程大きくならないものと推察される。また、1月後半から2月の期間、背後小段上のキタムラサキウニは、海藻を補食する環境にあると推察される。2010年2月における背後小段上の状況を写真-1に示す。写真は溝つきブロックの状況であるが、コンブ等海藻類がほとんど着生していない状態である。

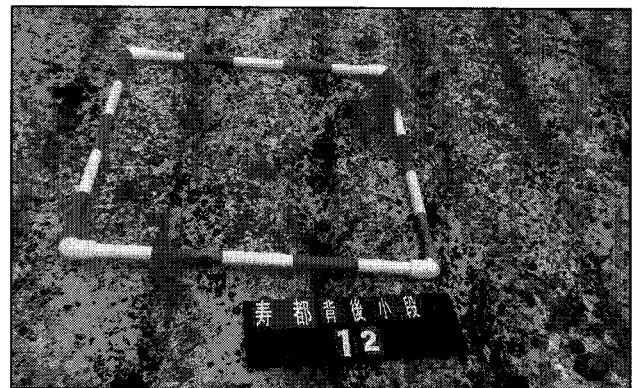


写真-1 背後小段上の状況 (2010年2月13日)

次に、背後小段上の流速の観測値と波高の観測値との相関と寿都地域に隣接する瀬棚沖の連続波高観測のデータを用いて、背後小段上の有義流速を算定した。図-11は整備直後の1997年から現在までの算定結果である。竹田ら⁸⁾によると、ウニの摂餌が抑制されて藻場の形成が持続可能な流速 (0.25m/s) の累加出現率は、コンブ生長期において30~40%以下であると規定している。よって、図の縦軸は冬期間 (12月~2月) における40%出現頻度の有義流速 ($U_{1/3}40\%$) をとった。なお、図中には前述の藻場形成が持続可能な流速値 (0.25m/s) を破線で示した。図より、背後小段上の流速は藻場の形成が持続可能な流速を下回る年が多く、ウニの摂餌圧によりコンブが消失する環境にあると推察される。

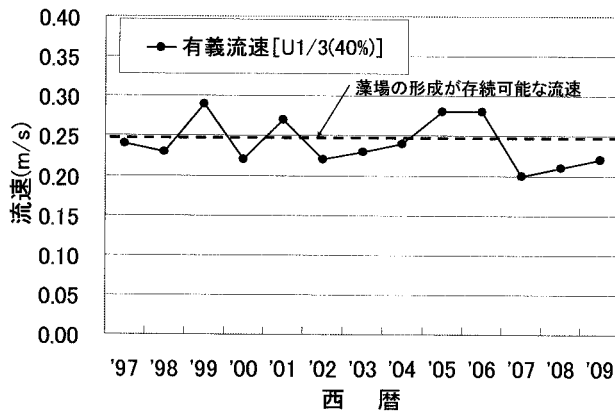


図 - 11 背後小段上の40%出現頻度有義流速

これまでの結果より、現在の背後小段の流動環境では、ウニの摂餌を抑制できないことが判明した。よって、現状の背後小段の天端水深（最深部において-3.9m）をさらに浅くして、波浪による流速増大を図る必要があると考えられる。そこで、今度は背後小段の波高における水深別の有義流速を算定した。算定結果を図-12に示す。図は、周期6.0sの場合の波高0.1mから0.5mを5段階に分けて表示した。

図より、例えば背後小段上の波高が0.2mの場合、現天端水深-3.9mにおける有義流速は約0.13m/sとなり、基準値となる0.25m/sを下回る。よって、現在の背後小段上の流動環境では、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有義流速を確保するためには、背後小段の天端水深を-1.4mまで嵩上げする必要があると推定される。

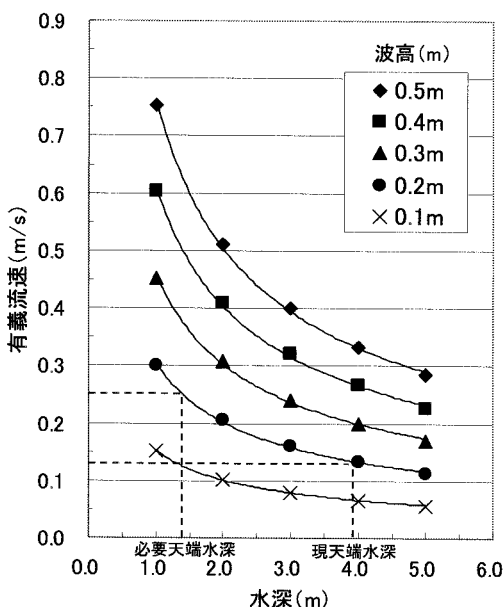


図 - 12 背後小段上の水深別有義流速(T=6.0s)

4. まとめと今後の課題

(1) 自然環境調和型沿岸構造物の藻場造成効果の長期的な調査により、背後小段上のホソメコンブの現存量は年変動が顕著であり、近年は、深刻化する周辺の磯焼けの状況と同様に、藻場造成効果が低い傾向にあることがわかった。

(2) 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ている。キタムラサキウニが高密度に生息する背後小段上では、近年の冬期の高水温により、本来休眠状態であるはずの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ものと推察される。

(3) 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であると考えられる。

今後は、海藻現存量の推移をさらに検証し、藻場造成機能低下原因の解明を行うとともに、嵩上げによる背後小段改良の整備手法の確立に向けて検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 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. 47，1996。
- 2) 明田定満他：複断面構造を有する港湾構造物への海藻群落形成について，海岸工学論文集，第44巻，pp. 1131-1135，1997。
- 3) 熊谷直哉，佐藤 仁，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論文集，pp. 63-66，2009。
- 4) 日本リモートセンシング研究会編：図解リモートセンシング（改訂2版），（社）日本測量協会，2004。
- 5) 明田定満他：表面処理の相違によるコンクリート面への海藻着生状況について，海岸工学論文集，第43巻，pp. 1246-1250，1996。
- 6) 谷口和也：磯焼けの機構と藻場修復，恒星社厚生閣，pp. 59-60，1999。
- 7) 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。
- 8) 竹田義則他：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，pp. 1221-1225，1999。