

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

A STUDY ON SEAWEED FORMATION BY ARTIFICIAL SWINGING MATERIAL IN ISOYAKE AREA

北原繁志¹・今林 弘²・岩成正勝³

Shigeshi KITAHARA, Hiroshi IMABAYASHI and Masakatsu IWANARI

¹正会員 博士(水産科学) (独)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国土交通省北海道開発局函館開発建設部(〒040-0061 函館市海岸町25番7号)

³パブリックコンサルタント(株) 海洋港湾課(060-0005 札幌市中央区北5条西6丁目1-23)

In the Sea of Japan of southern Hokkaido, the area affected by *isoyake* (seaweeds withering phenomenon of a rocky shore) has been expanding. It is necessary to take the swift measures for restoring seaweed beds as soon as possible. It is thought that one of the causes of the continuous *isoyake* condition is the seaweed damage by northern sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*).

The creation of seaweed beds was experimented by the artificial swinging material at Era fishing port in Matsumae-Cho. The artificial swinging material is made by the polyester cloth, it has Velcro ruggedness on the surface. As a result, seaweed beds of kelp (*Laminaria religiosa*) were formed. Moreover, it was found that its durability for oscillatory flow was about 4.4m/sec by the experiment of fluid drag force.

Key Words: *isoyake* (seaweeds withering phenomenon of a rocky shore), artificial swinging material, kelp (*Laminaria religiosa*), durability for oscillatory flow

1. はじめに

北海道日本海南部ではコンブなどの大型海藻が消失し、多数のキタムラサキウニ(以下、ウニ)と無節サンゴモが存在する、いわゆる磯焼け現象が顕著である(写真-1)。磯焼けの原因は海水温の上昇など海況の変化やウニやアワビなどの植食動物による摂餌圧の増加及びそれらの複合要因などがいわれている¹⁾。ウニの摂餌選択性は海藻によって大きく異なり、コンブ類に対して高い摂餌率及び強い選択性を示すが、消化率は非常に低くなるため、ウニは海藻を栄養源として摂餌するのではなく、大量のコンブの茎などをかみ切って流出させて群落に大きな損傷を与えるといわれている²⁾。当チームではウニの移植実験などを通してウニの摂餌圧が磯焼けの大きな原因であることを確認している³⁾。ウニの移動は吸盤状の管足によることから、体を固定するためのしっかりした基盤が必要となる。このため、藻場への侵入を防止するために柔軟な刺し網等を用いたフェンスの設置などが行われてきたが、それらは波浪に対する耐久性などに課題が多い。



写真-1 磯焼けの現状(北海道松前町)

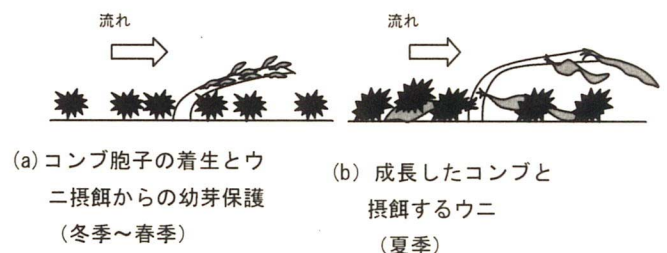


図-1 人工動揺基質の概念

そこで、当チームでは2004年から人工動揺基質を用いた藻場造成試験を行ってきた。人工動揺基質とは、基材にはポリエステル生地にウレタンコーティングしたものをを用い、表面にマジックテープ状の凹凸を持つ植毛シートを縫いつけてある。基材の引裂強度はタテ、ヨコとも128N（JIS-L1906シングルタンク法）であり、引っ張り強度はタテ、ヨコとも1,011N（3cm）である。人工動揺基質は柔軟性の高い素材で波による振動流によってたなびくことを期待するものである。冬季から春季の波浪の大きい時期はたなびきによって、ウニは人工動揺基質上に移動できず、コンブ幼体の茎をかみ切ることができないため藻場が維持されるとともに、波浪が小さくなる夏季にはたなびきが小さくなることで、成長した海藻をウニが摂餌可能になることを期待するものである（図-1）。しかし、波浪に対するたなびき方や耐久性、また海藻着生基盤自体がたなびくことが海藻着生に与える影響などには不明な点が多い。

そこで、2006年に新たに人工動揺基質を設置し、耐久性の検証、天然岩礁など他の基質との海藻現存量の比較及び海藻着生機能の経年変化などについて調査を行うとともに、室内実験において振動流下での挙動及び抗力を調査したのでそれらの結果について報告する。

2. 調査方法と内容

(1) 現地試験

現地試験は図-2に示す北海道松前町江良漁港西外防波堤で行った。2006年10月に人工動揺基質（3枚で1基）を25基、西外防波堤背後小段上の被覆ブロックにワンタッチアンカーを用いて固定した。また、2004年に外西防波堤に設置していた2基も新たな人工動揺基質の近くに移設した。

海藻繁茂量とウニの数について、2007年2月、5月、6月、7月の4回人工動揺基質と周辺の天然岩礁（水深-3m）及び被覆ブロック（水深-4m）を調査した。天然岩礁と被覆ブロックについては、遊走子等が容易に定着できるようにケレンを行い、人工動揺基質と条件を同じにした。なお、人工動揺基質に着生していた海藻の測定に当たっては、基質をブロックから取り外し船上にて海藻の種類、本数、葉体の大きさを測定した。また、2006年10月3日から2007年2月19日の期間、背後小段上に設置した波高流速計（WAVE HUNTER 94、水圧式）によって波高・流速を測定するとともに、水温照度計（ペンダントローガーUA002）を用いて水温と照度を測定した。調査箇所の全景を写真-2に示す。

(2) 室内実験

実験に先立ち、吸水率の測定を行った。その結

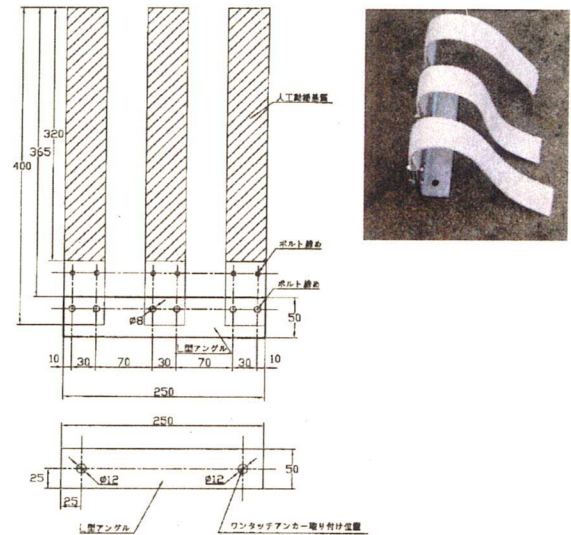


図-2 人工動揺基質の構造

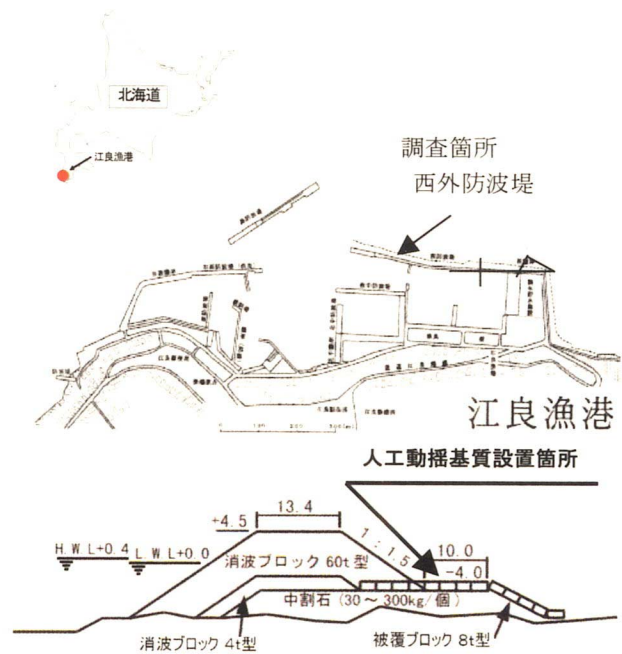


図-3 調査箇所図



写真-2 調査箇所全景

果、7日間で飽和に達し、吸水率は37%であった。この完全吸水のものをを用いて振動流装置で挙動を観察した。その様子を写真-3に示す。この写真からわかるように人工動揺基質は基部から先端方向への流れに対してたなびくが、逆の流れでは先端を基盤に押しつけたような形状となり容易に反転しなかった。実験に用いた振動流は周期8sec, 10, 30, 50, 70, 90cm/secの5流速で、50cm/secまで反転せず、70cm/secから反転するものが見られた。このため、どちらか一方が表側に固定されることが推察された。

次に、波浪による振動流への耐久性を予測するために、振動流装置の中に耐水性の3分力計を設置し、3分力計に人工動揺基質を2枚セットして流体抗力を測定した。なお、中央の人工動揺基質を取り外して測定した理由は、基質が3分力計に衝突すると大きなノイズが発生し、データの信頼性が低下するためである。実験に用いた振動流は7, 10secの2周期、10, 30, 50, 70, 90cm/secの5流速とした。実験概要図を図-4に示す。

3. 現地調査結果と考察

(1) 海藻着生量とウニの個体数

人工動揺基質、天然岩礁、被覆ブロックにおけるコンブ着生本数とウニの個体数を表-1に示す。単位は人工動揺基質1基(3本) 0.096m²当り(表と裏の合計)とした。有用海藻であるホソメコンブ

(以下、コンブ)に注目して見ると、人工動揺基質には多数のコンブが着生していたが天然岩礁と被覆ブロックにはコンブの着生は見られなかった。時系列的に人工動揺基質に着生していたコンブを見ると、本数は5月に最大となり、その後減少した。これは、コンブの根に当たる付着器の生長に伴って基質の競合が発生するとともに、生長が遅いものは早いものの陰になり受光できる光量が減少するために淘汰されるためと推察される。また、7月調査では先枯れが確認されたことから、枯れたことによる流出も考えられる。次にコンブを摂餌するウニの個体数は、調査期間全般にわたって天然岩礁に最も多く蟄集し、人工動揺基質には最も少なかった。これは、天然岩礁にはウニの体を固定できる凹凸が多く隠れ家として利用されているためであり、人工動揺基質では基部から先端方向の流れによるたなびきによってウニの体が固定できず、ウニの付着が阻害されているためと考えられる。

写真-4に人工動揺基質のコンブ繁茂状況を示す。5月以降は同一地点(N0.18)の状況である。また、写真-5に天然岩礁と被覆ブロックの状況を示す。写真-4において、2月18日ではコンブの芽が出て間がないことから数cm程度の大きさであるが、光量の増加に伴い5月13日には数十cmに生長する。しかし、

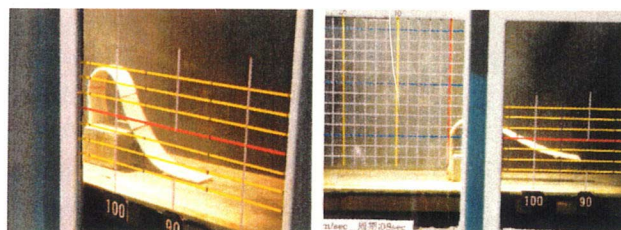


写真-3 人工動揺基質の振動流下での形態

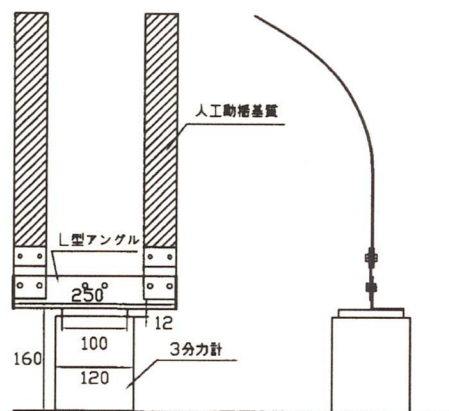


図-4 流体抗力の実験概要図

表-1 人工動揺基質1基(3本)当りのコンブ着生本数とウニの個体数(人工動揺基質の表と裏の合計面積 0.096m²当り)

	人工動揺基質 (本数)	天然岩礁 (本数)	被覆ブロック (本数)	人工動揺基質 (ウニ個体数)	天然岩礁(ウニ 個体数)	被覆ブロック (ウニ個体数)
2月18日	4.3	0	0	0	1	0
5月13日	121.7	0	0	0.3	3	2
6月14日	41.6	0	0	0	4	0
7月18日	18.2	0	0	0.4	1	0

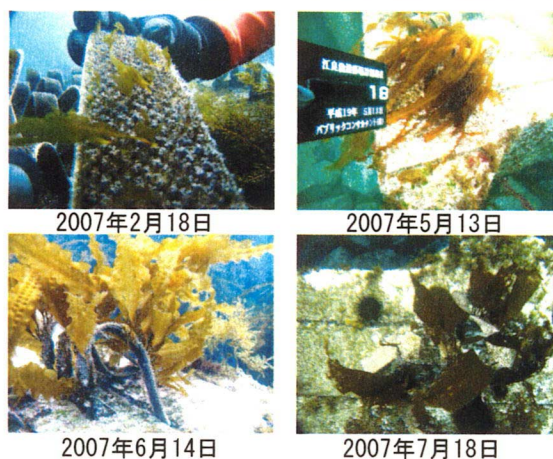
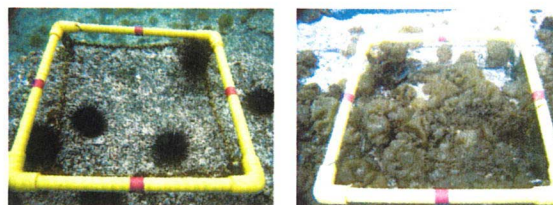


写真-4 人工動揺基質海藻繁茂状況
(時系列, 基質No18)



天然岩礁 被覆ブロック
写真-5 天然岩礁と被覆ブロックの状況
(2007年5月13日)

6月14日には葉長の伸びはほぼ終了し、先端がウニの摂餌を受けたものも確認できる。7月18日にはウニの摂餌を強く受けるとともに、先端部には小さな孔が確認できるようになり、先枯れが始まっていることがわかる。また、人工動揺基質基部の比較的堅い部分に付着したウニを確認することができる。ウニの活動は流速と密接な関係があることが知られている⁴⁾。夏季は海象状況が静穏になることからウニの活動が活発になり、人工動揺基質周辺で垂れ下がってきたコンブや流出したコンブを摂餌しているものと考えられる。しかし、人工動揺基質の中央から先端部の柔軟な部分に登っているウニは確認できなかった。これは、ウニが夏季においてもわずかな振動流による人工動揺基質の動揺と柔軟性を嫌うためと考えられる。このため、ウニがコンブの茎の部分を食べ荒らして藻場を消滅させることは無いと考えられる。以上のことから、藻場の形成と水産生物への餌料の供給という人工動揺基質の当初の目的を達成できていることがわかった。これに対して、被覆ブロックにはフクロノリが確認できるが、天然岩礁とともにコンブの着生は見られなかった。人工動揺基質は振動流装置を用いた実験から反転しづらいことは先に述べた。このため、表は裏より光条件がよいことからコンブがより繁茂すると考えられる。表 - 2に人工動揺基質1組当りの表と裏のコンブ着生本数を示すが、ほとんどが表に着生していることがわかる。

次に、2006年に新しく設置した人工動揺基質（以下、新基質）と2004年から設置していた基質（以下、旧基質）について、ホソメコンブ着生量の比較を図 - 5に示す。その結果、葉長、葉幅や本数に大きな差は見られないことから、旧基質において3年間は海藻着生機能が失われていないと言える。

(2) 物理環境調査結果

a) 波高、流速、光量子量

図 - 6に背後小段上（水深-4m）で観測した日最大有義波高（m）、日最大流速（cm/sec）、日積算光量子量（mol/day/m²）の時系列変化を示す。ここで、日積算光量子量は測定器であるペンダントローガーUA002がlum/sqf（1平方ft当りのルクス）で照度を記録することから、1平方ftを1m²に換算し、続いて、稲田の換算係数⁵⁾（59.524、光源を昼間の太陽光6500Kとする）で照度（lux）を割り戻して光量子量へ換算した。

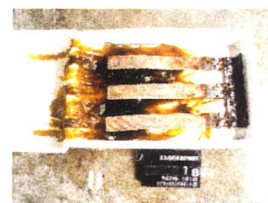
観測期間中最大の時化は2007年2月15日に発生し、有義波高3.8m、流速275cm/sec、周期13.0secを記録した。この時、松前町白神岬沖で気象庁が観測した有義波高は7.0mに達していた。この有義波高は2007年の観測最大波であり、過去の観測記録の中でも第8位に位置する大時化であった⁶⁾。この時化によっ

表 - 2 人工動揺基質1基（3本）当りの表と裏のホソメコンブ着生本数

	表	裏
2月18日	3.9	0.4
5月13日	121.7	0.0
6月14日	40.8	0.8
7月18日	18.2	0.0



表の状況



裏の状況

写真 - 6 人工動揺基質の表と裏の海藻繁茂状況
（5月13日調査、基質番号No18）

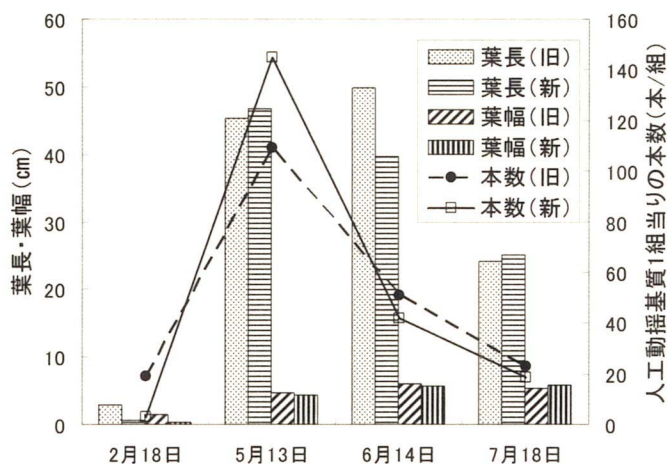


図 - 5 新基質と旧基質のコンブ着生量の比較

て、人工動揺基質を設置した被覆ブロック（重量8t）に若干の移動が見られた。しかし、設置したすべての人工動揺基質に破損や脱落などの異常は見られなかったことから、波浪に対する耐久性を有するものと考えられる。

海藻の生長に大きな影響を与える日積算光量子量は、10月から12月にかけて太陽の南中高度の低下に伴い暫減し、冬至を経過した後増加に転じる。コンブ類における生存に必要な最低光量子量である日補償積算光量子量は、夏季における釧路周辺海域に繁茂するナガコンブについて研究が進んでおり、その値は0.52 mol/day/m²である⁷⁾。本調査は秋季から春季にかけてであり、江良漁港海域に繁茂するコンブはホソメコンブであることから、参考値として上記の値を用いることとする。図 - 6からコンブが芽吹く2月上旬以降ではほぼ0.52 mol/day/m²を満足

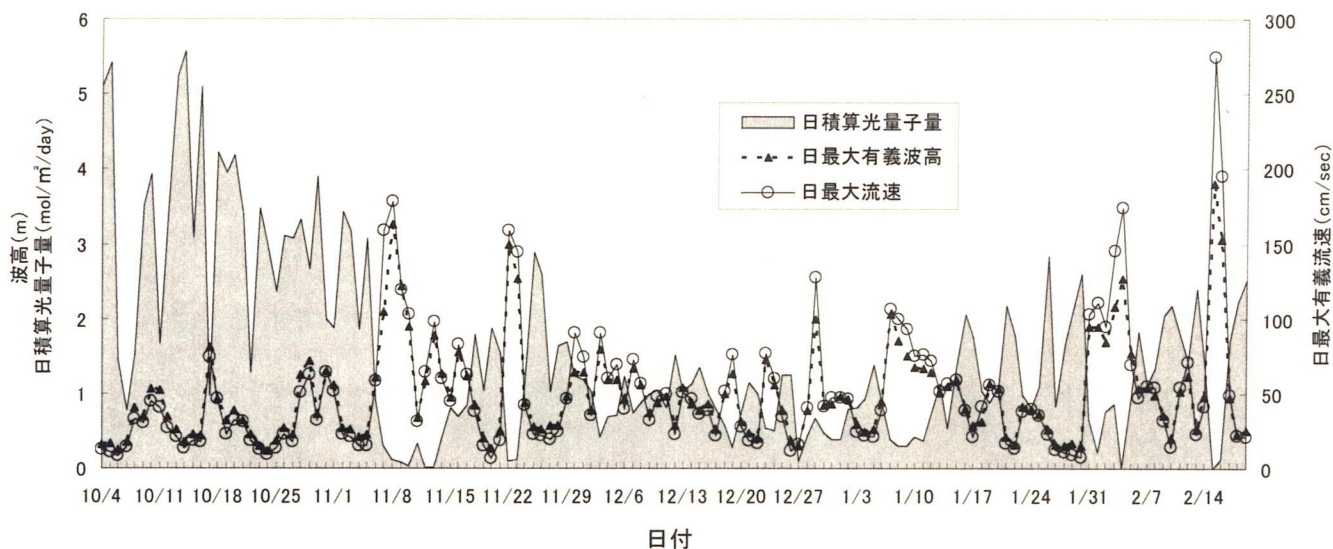


図 - 6 背後小段上の物理環境

していることがわかる。ただし、日最大有義波高が 2.0m 程度を越えると流速が 100cm/sec 程度を越え、光量子量の極端な低下が見られる。これは、波浪によって励起される振動流が底質を攪拌することによって濁度が上昇し、光量子量の減少を招いていると考えられる。しかし、この光量子量の減少は 1~2 日の短期間にとどまっており、背後小段上の光環境は良好であるといえる。

b) 水温

表 - 3 にコンブが芽吹く 2 月上旬を中心とした水温の最高、最低、平均水温を示す。1 月から 3 月の水温がコンブの生産量に影響を及ぼし、生産量は水温が低いほど多いと報告されている⁸⁾。表 - 3 によると 2007 年は過去 4 年間のうちで最も水温が高く推移した。このことから、2007 年は海藻生育条件としては過去 3 カ年と比較して厳しい条件にあったと考えられる。

c) 人工動揺基質の反転確率

次に人工動揺基質の反転について考察する。図 - 7 に有義波高と流速の関係を示すが、両者には非常に良い相関関係があることがわかる。室内実験では振動流速が 50 cm/sec では反転が見られず、70 cm/sec から見られたことから、60 cm/sec で反転が始まると仮定すると、図 - 7 から有義波高は 1.13m となる。背後小段上の有義波高と白神岬沖の有義波高の関係を示す図 - 8 から沖波の有義波高は 2.01m となる。この波高以上になる確率を、コンブが生長する 4~7 月における江良漁港有義波高出現頻度表（データ取得期間 1994 年~1998 年）（表 - 4）から求めると出現頻度は 4.2% となる。このことから、概ね 95% の確率で反転が起これないと考えられる。

4. 室内実験結果と考察

図 - 9 に人工動揺基質 3 枚のうち 1 枚に働く流体抗力を示す。人工動揺基質の引裂強度は 128N であったことから、図 - 9 における流体抗力が大きく

表 - 3 過去4カ年の水温の推移

水温(-3.5m)	2004年	2005年	2006年	2007年
最高値	10.2	10.2	10.2	11.1
最低値	7.7	6.8	6.3	6.6
平均値	8.9	8.6	8.4	9.1

(期間: 1月27日~2月19日)

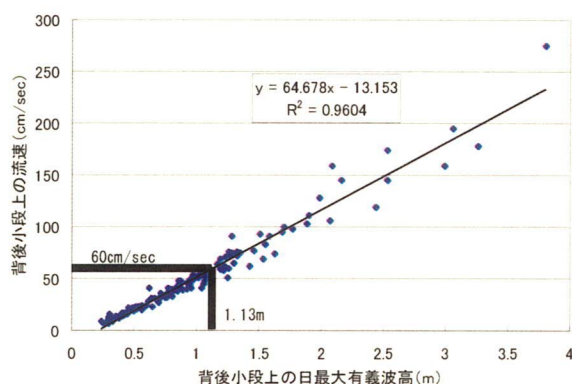


図 - 7 背後小段上の有義波高と流速の関係

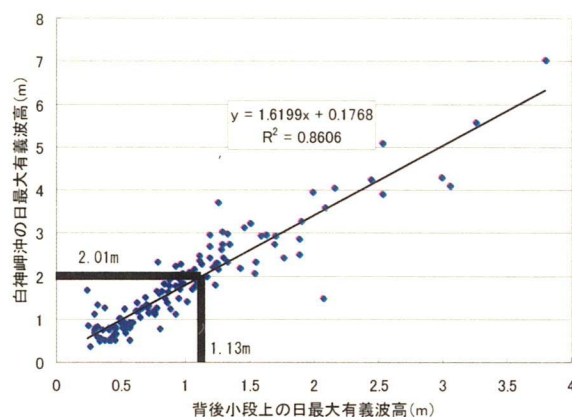


図 - 8 背後小段上の有義波高と沖波の関係
沖波観測地点: 松前町白神岬沖-49m
気象庁観測

表 - 4 江良漁港有義波高出現頻度表（沖波）

4月から7月までの有義波高状況									データ取得期間(1994年から1998年)					
波高 波向	静穏	0.3m以上 0.5m未満	0.5m以上 1.0m未満	1.0m以上 1.5m未満	1.5m以上 2.0m未満	2.0m以上 2.5m未満	2.5m以上 3.0m未満	3.0m以上 3.5m未満	3.5m以上 4.0m未満	4.0m以上 4.5m未満	4.5m以上 5.0m未満	5.0m以上 5.5m未満	合計	
合計	2381 33.1%	1503 20.9%	1560 21.7%	917 12.8%	515 7.2%	210 2.9%	75 1.0%	13 0.2%	6 0.1%	2 0.0%	1 0.0%	0 0.0%	7183 100.0%	

なる周期 10sec の近似曲線を用いて限界流速を計算すると、437 cm/sec となる。現地観測の最大流速値が 275 cm/sec であったことから、この 1.6 倍程度の流速まで耐波性を有すると考えられる。

5. まとめ

人工動揺基質による藻場造成調査結果について、主要な結論をまとめると以下のとおりである。

- (1) 調査した年度である2007年度はその前年度以前の3カ年に比べて水温が高く、コンブ生長には厳しい条件であった。このため、天然岩礁及び被覆ブロック上には着生が見られず、背後小段上では人工動揺基質にのみにコンブが着生した。このことから、人工動揺基質は海藻繁殖効果が高いと判断できる。
- (2) 人工動揺基質周辺のウニの個体数は天然岩礁に比べて少ない。
- (3) 人工動揺基質は設置後3年間、海藻着生機能が維持されており今後さらに延伸が期待できる。
- (4) 背後小段上ではコンブ生長にとって十分な光量子量が存在する。
- (5) 人工動揺基質は基部から先端方向に向かう振動流によってたなびくが、逆の流れでは容易に反転しない
- (6) 江良漁港西外防波堤背後小段上ではコンブが生長する4～7月において、反転するような時化は5%以下であることから、表と裏が固定され光環境が良好な表側でコンブが生長する。
- (7) 人工動揺基質の設置水深-4mにおいて観測した有義波高3.8m、流速275cm/secの大時化においても破損や脱落などの異常はなかった。流体抗力の実験から波浪によって励起される振動流速が440cm/sec程度までは耐波性を有すると考えられる。

6. 今後の課題

人工動揺基質は一定の海藻繁殖効果を有することが判明した。今後は、水深や違う海域など条件の

有義波高2.0m以上の発生確率4.2%

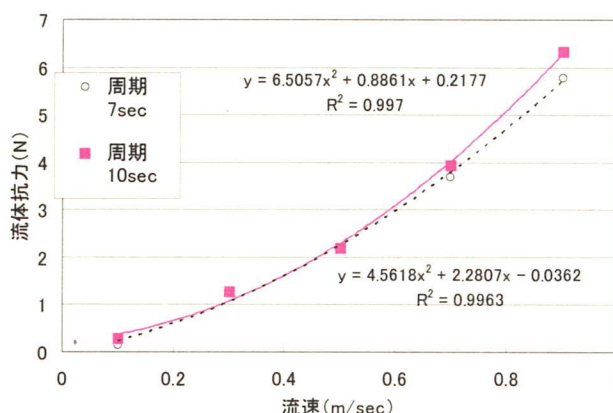


図 - 9 流速と流体抗力の関係

異なる場所や地域での実証実験を進めていくとともに、事業化に向けてブロックなどへの設置方法を改良することや海藻繁殖量と価格を考慮した最適な大きさの追求が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 農林水産技術会議事務局編：磯焼けの発生機構の解明と予測技術の開発，pp2，1997
- 2) Bernstein B.B., Williams B.E., Mann K.H.: The role of behavioral responses to predators in modifying urchins' (*Strongylocentrotus droebachiensis*) destructive grazing and seasonal foraging patterns. Mar.Biol.63: pp39-49, 1981
- 3) 永田晋一郎，坪田幸雄，竹田義則：傾斜堤背後小段に形成された藻場における流速とウニの摂餌の関係について，開発土木研究所月報NO. 557，pp. 2～7，1999
- 4) 川俣茂，足立久美子，山本正昭：キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響，平成6年度日本水産工学会学術講演会論文集，pp85～88，1994
- 5) 稲田勝美編著：光と植物生育，養賢堂，1984
- 6) 沿岸波浪計統計値：気象庁WEBサイト <http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/wave/stat/>
- 7) 坂西芳彦他：釧路沿岸における夏季のナガコンブの日補償深度，北水研報告65，pp. 127～128，Jan, 2001
- 8) 桐原慎二，仲村俊毅，能登谷正浩：下北半島尻屋崎地先のマコンブの生育に及ぼす水温の影響，水産増殖51 (3)，pp273～280，2003