

藻留め工の開発研究

水産工学研究所 川俣 茂・山本正昭・武内智行
共同調査機関：青森県漁業振興課
調査実施年度：平成4～7年度

緒言

波当たりの強いアワビ・ウニ漁場では、餌となる海藻のうち、利用されずに流れ藻として外洋へ流出する割合が高い。このため、従来より流れ藻を漁場内に滞留させるための施設（藻留め工）の造設が期待されてきた。しかし、これまでの一連の研究^{3)~6)}によって、流れ藻はコンクリートブロック等の施設の部材または底質の凹凸によって発生する乱れによって極めて容易に巻上げられて、流失することが明らかにされていた。このような状況の中で、効果的な藻留め工の開発が急務となり、著者の一人は平成2年に梯形（テイクイ）藻留め装置（特許第2500324号）を開発した。本装置は側方断面が梯形（台形）をした、斜面を有する1対の袋状格子構造物（図2参照）から成り、流れ藻を斜面を乗り越えさせて捕捉するものである。梯形藻留め装置は、流れ藻の巻上げの恐れのない、碎波帯の沖側で平坦な海底であれば、流れてくる流れ藻を比較的効率よく捕捉し、波浪による流出をかなり抑えることができることが現地実験⁷⁾⁸⁾によって実証された。この成果により、青森県はウニ増殖場造成に梯形藻留め装置を利用することを計画し、青森県と共同で平成4年度に試験装置を用いた事前調査を実施し、その効果と最適な施設配置を検討した。

しかし、梯形藻留め装置は従来の「可動部を持たない施設」としては“最適”であるが、渦が発生しやすい浅い所や起伏のある海底では利用できないこと、あまり激しい波動では流れ藻を流失させてしまうことなど、適用限界がある。そこで、著者の一人は流れてくる流れ藻をより確実に捕捉し、しかもどのような激浪下でも捕捉した流れ藻を絶対に流失させない装置の開発を目指して、新たに扉付流れ藻捕捉装置（特許出願中）を考案した。本装置は波によって装置の内側には開くが、外側にはストッパによって開かないようにした振り子状の扉を、箱形格子籠の側面に取り付けたもの（図12参照）である。扉付流れ藻捕捉装置については、まず捕捉効果、最適構造および設計外力の算定方法を室内模型実験によって明らかにし、次に簡単な試験装置を試作して現地での有効性を調べ、さらに事業にも利用し得る耐久性と施工性を有する試験装置を試作して現地調査を実施した。

本報告ではこれらの調査研究の概要を述べる。なお、詳しい内容については文献10)と11)を参照されたい。

I. 梯形藻留め装置

1. 事業計画の概要

梯形藻留め装置の利用が計画されたのは、青森県野牛地区地先型増殖場造成事業（平成4～6年度実施）である。本地区は津軽海峡に面する下北半島北方沿岸中央に位置し、海岸より約0.5～1.0km沖の水深約9～17mにある（図1）。地区の海底は中央粒径約1mmの砂質堆積物が覆う比較的平坦な地形となっている。

当地区の一帯には、キタムラサキウニが汀線付近から水深50m以深まで広く分布するが、餌となる海藻が少なく、ウニは身入りが少なく水産的価値のない、いわゆる“空ウニ”となっていた。このため、事業では空ウニを移植して身入りを良くする場として、餌料海藻の生育が少ない砂質底に餌料藻場を造成することが計画された。青森県津軽海峡沿岸では従来より投石によるコンブ藻場の造設が図られてきた。しかし、野牛地先においてはウニが高密度に分布し、しかもそれらの移動は砂質底では比較的速いと考えられ²⁾、ウニ侵入防止が藻場造成の重大な課題とされた。青森県の藻場造成では、これらのウニは砂質底に点在する安定した基質に長く留まる性質があることから、藻場区の周囲に間隔を置いて転石帯を造設し、藻場区に侵入してくるウニを転石帯に蟻集・定着させる方法が採られてきた¹⁾。また、当海域に出現するキタムラサキウニは小型のものが多く、それらのウニは30m以深の沖の海底で発生し、浅い所へ移動すると推察されている。

このようなウニの移動状況を考慮し、当事業では投石により造設される餌料藻場区（面積240m×490m）へのウニの侵入を抑制するため、図1に示すような二重の対策が計画された。すなわち、第一に従来と同様に餌料藻場区（A）の周囲に20mの距離をおいて幅10mの投石帯（B）を設け、第二にウニの侵入方向が特に多いと考えられる沖側には投石帯のさらに沖側に、30mの距離をおいて梯形藻留め装置による流れ藻滞留区（C）を

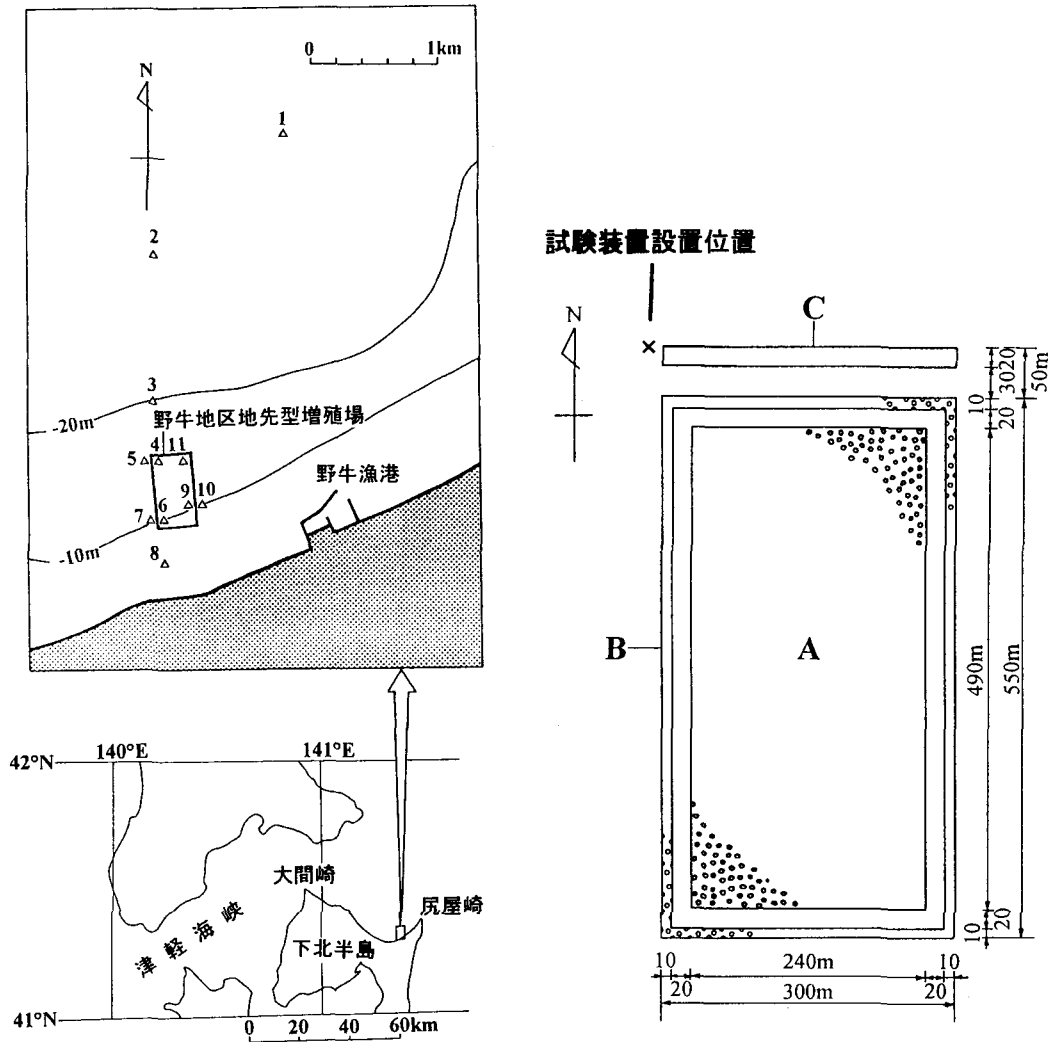


図1 野牛地区の位置図（左）と増殖場造成計画平面図（右）

造成することが検討された。梯形藻留め装置の設置は砕波帯の沖側の平坦な海底としなければならないが、流れ藻滞留区の造成が計画された領域は水深16~17mにあり、砕波による乱れの影響はないと考えられること、および海底が平坦であることから、梯形藻留め装置が適用出来ると判断された。

2. 調査方法

1) 試験装置

平成4年10月22日、図2に示すような試験装置2基が流れ藻滞留区として計画された領域の西端、水深16.5mに設置され、事前調査が実施された。試験装置の配置については、以下のような考察に基づき、岸沖方向に段違いになるように併設するとともに、その西側側方フェンス部にコンクリートブロック（高さ30cm×幅50cm×長さ300cm）3個を設置した。

初めに装置の段違い配置について説明する。波により振動する流れの成分を波動流、またそれ以外の時間的変化がより緩やかな流速成分を平均流と呼んで区別すれば、概ね、流れ藻の巻き上げ・流失は波動流によって、また流れ藻の輸送は平均流によって生じるといえる。梯形藻留め装置による流れ藻の捕捉効果は、まず斜面格子部が波・流れを妨げずに平均流によって運ばれてきた流れ藻をそのまま乗越えさせて装置に取り込み、取り込まれた流れ藻が波動流によって動揺し、浮遊し始めるのを袋状の格子部が防止することによって発現される。従って、平均流と波動流の向きが一致する場合には、装置をその方向に平行に設置すれば、流れ藻の取込

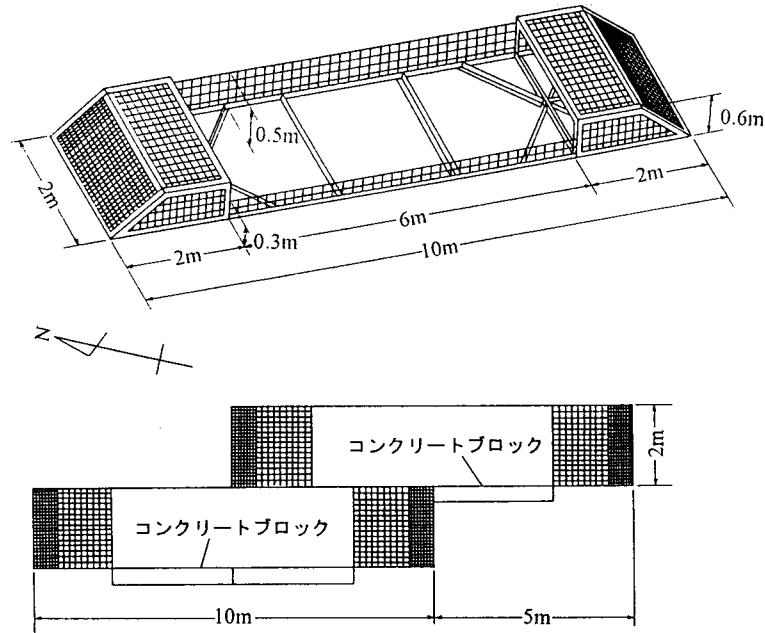


図2 試験装置の斜視図（上図）と配置図（下図）

みと同時に流失防止も効果的に出来るので極めて都合がよい。しかし、当地区では沿岸方向に強い流れの存在が予想され、装置を波動の卓越方向となる岸沖方向に平行に設置すると、流れ藻は沿岸方向の流れによって流されてしまい、取入れ口となる格子斜面部の前面に留まる時間が短く、捕捉効果の低下が危惧された。この対策として考え出されたのが段違い配置である。図のように装置を設置すれば、沿岸方向の流れによって運ばれてくる流れ藻が装置の側面で一時的に止められるため、その捕捉効果の向上が期待された。

次にコンクリートブロックを装置の西側側面に設置した理由について説明する。一般に平均流の影響がある場合、捕捉された流れ藻が装置内の一方所に寄せられて、装置の側壁を乗り越え易くなる。芙蓉開発（株）（未発表）の調査により、当初、野牛地区では東流が優勢であると考えられ、捕捉された流れ藻が東側フェンスに寄せられ、流失し易くなることが危惧された。しかし、高さ30cmのコンクリートブロックを装置の西側に設置することによって、平均流速がある程度（流れコンブで20～30cm/s程度）以下であれば流れ藻はブロックを容易に飛び越えて、その背後の渦領域に捕捉されることが従来の研究³⁾から予想され、堆積による流れ藻の流失をくい止められると考えた。またブロックはウニの移動防止または定着にも寄与すると考えられた。

2) 潮流・波動の調査方法

平成4年10月～平成6年3月にわたり計11回、2次元超音波流速計を海底に固定して流速を計測し、波動流速および平均流速を調べた。データ処理ではまず2成分流速データとコンパスデータより磁針偏差を補正して東方分速と北方分速を求め、計測時間毎の平均流速の算出と波動成分の処理を行った。平均流速については、成分ごとに最小2乗法による調和分析を行って恒流および主要4分潮 (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) 流の潮流楕円を求め、その長軸の方向と流速および短軸の流速を算出した。また、各流速成分ごとにフーリエ変換により周期25s以上の成分を除去した後、逆フーリエ変換により波動成分を求めた。この波動成分については、分散が最大となる向きとして定義される主波動方向 θ を算出し、その方向における流速成分についてゼロアップクロス法で有義流速全振幅 U_w と有義周期 T_w を求めた。

3) 事前調査

(1) 水中テレビによる流れ藻観察

平成4年10月28日および29日、有線式水中テレビカメラを試験装置に設置し、船上より流れ藻の挙動を観察した。また、29日には水中テレビカメラを曳航して、地区周辺の流れ藻の分布状況を調べた。

(2) 流れ藻およびキタムラサキウニの分布量の調査

野牛地区の周辺の底生物量および流れ藻の量を調べるため、図1中の三角形で示す測点St. 1～11において、枠取り調査を実施した。

(3) 標識コンブ放流追跡調査

平成5年3月20日、付近の防波堤で根元から採取したマコンブ100本に異なる標識を付け、装置の周辺4カ所および試験装置の中に放置し、その後の移動状況を追跡調査した。採取したコンブは葉長が1mになるように切り揃え、標識として蛍光テープを基部に取付けた。コンブの平均湿重量は144g/本であった。

4) 事業によって設置された装置および誘導柵の効果調査

平成6年2月17日、事業によって梯形流れ藻捕捉装置15基が流れ藻滞留区に設置された。同年3月14日、その流れ藻捕捉効果を調べるため、標識を付けたコンブを放流し、追跡調査を実施した。また、この調査では設置された装置に流れ藻を誘導するためのフェンス(誘導柵という)を付設してその有効性も合わせて調べた。標識コンブの放流では装置の南端を結ぶ線上に1mおきに目印を付けたロープ100mを張り、番号札をつけたマ

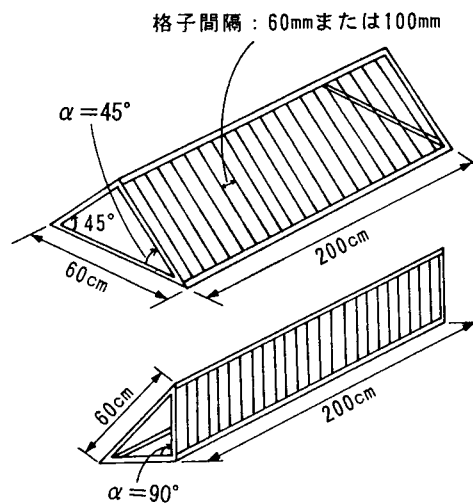


図3 誘導柵の斜視図

コンブ100本をロープ上1m毎に放置した。放流したマコンブは前述した調査と同様に1mの長さに切り揃え、プラスチック製番号札(重量2.8g)を基部に紐で結び付けた。誘導柵については、どのような形状および配置が効果的であるかを調べるため、図3に示すような長さ2mのものを5個繋いで長さ10mとし、格子間隔:60mm, 法面角(図3, α):45°, 設置方向:40°(北から時計回りに測った角度)を標準(誘導柵No.1)として、これらの3条件をそれぞれ1つずつ変えた、格子間隔を100mmとしたもの(誘導柵No.2), 法面角を90°としたもの(誘導柵No.3), および設置方向を10°としたもの(誘導柵No.4)を装置に取付け、誘導柵を取り付けなかった装置(対照区)と比較して、流れ藻捕捉における有効性を調べた(図11参照)。

3. 調査結果

1) 流速調査結果

(1) 平均流速

潮流の調和分析の結果を表1に、また図4に平均流速を示す。潮流は季節によって異なり、12月~3月には比較的明瞭な最大振幅20cm/s程の1日周期潮が卓越したが、8月~10月には潮流は乱調となり、日周潮が不鮮明になる傾向がみられた。潮流の調和分析では日周潮流の K_1 または O_1 分潮流が半日周潮流の M_2 または S_2 潮流より支配的であることが示された。図4に示す回帰直線の傾きより求めた、年平均的な潮流の主変動方向は66°(北方を基準に時計回りに測った角度)で、汀線方向にほぼ一致した。また恒流については、潮流の調和分析から季節による変化は認められず、年間を通じて東方に1~4cm/sの流速があることが示された。各平均流速成分の総平均より算出される恒流ベクトルは、大きさ2.71cm/s, 方向56°であり、多少沖向き成分があ

表1 流速データの測得期間と潮流の調和分析

Data	測得期間	M_2		S_2		K_1		O_1		恒流					
		長軸		短軸		長軸		短軸		長軸		短軸			
		方向	流速	流速	方向	流速	流速	方向	流速	流速	方向	流速	流速		
1	平成4年 10/13~10/14	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	
2	10/28	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	
3	12/10~12/20	42	0.8	0.3	74	1.0	0.3	22	0.9	0.6	56	4.4	0.1	34	3.6
4	平成5年 2/28~3/10	75	0.7	0.0	64	1.0	0.1	80	1.0	0.4	70	3.8	0.3	75	2.6
5	3/20~3/22	72	7.2	1.1	68	7.5	1.5	57	17.8	3.9	31	9.3	2.2	55	0.6
6	3/24~4/3	61	0.5	0.1	66	1.0	0.2	63	2.8	0.3	60	7.1	0.3	66	2.1
7	8/5~8/23	44	1.3	0.5	132	1.2	0.6	75	3.1	0.5	60	4.4	0.2	56	3.3
8	8/30~9/9	30	1.2	0.4	157	1.1	0.7	74	2.5	1.1	74	5.5	0.4	66	3.5
9	9/29~10/17	71	2.3	0.1	116	1.0	0.5	61	3.2	0.8	71	3.4	0.2	55	2.5
10	11/6~11/24	38	0.9	0.1	36	0.8	0.1	71	4.1	0.0	70	3.4	0.2	49	3.4
11	平成6年 3/15~3/24	39	1.5	0.0	54	2.1	0.1	40	2.4	0.7	54	12.1	0.1	43	1.8

(注) 方向は北から時計回りに測った角度で表す。 ※1 データ不足により解析不能。

表2 流れ藻のマコンブ、キタマツラ、エゴノバの分布密度

測点 番号	水深 (m)	底質 区分	平成14年10月28日			平成15年3月21日		
			流れ	キタマツラ	エゴノバ	流れ	キタマツラ	エゴノバ
			コシブ	サキウニ	アノウニ	コシブ	サキウニ	アノウニ
St. 1	30	砂礫底	—	22(669)	—	—	44(1313)	—
2	25	砂礫底	21(276)	21(771)	—	—	88(8383)	—
3	20	砂礫底	—	31(110)	—	—	10(106)	76(112)
4	15	投石区	26(422)	66(841)	16(166)	—	42(424)	544(124)
5	15	砂礫底	—	—	—	—	88(6363)	—
6	10	投石区	38(135)	5(216)	—	—	57(150)	1306(18)
7	10	砂礫底	23(959)	—	—	—	—	—
8	5	砂礫底	—	—	—	—	—	—
9	10	投石区	18(188)	1(14)	1(10)	—	228(850)	33(56)
10	10	砂礫底	—	—	—	—	—	—
11	15	投石区	22(998)	22(223)	22(22)	—	—	—

(注)単位:本数(または個体数)/2m²、()内は湿重量g/2m²を示す。

試験装置設置6日後の平成14年10月28日、装置内流れ藻の滞留量を調査された。その翌日に実施した湿重量測定では、装置内にマコンブ4702g(84本)とアノシジモク254g(8本)の滞留量が確認された。装置は捕捉された流れ藻は西側に集積し、特に東側の装置の中の内北西隅に約50%の流れ藻が集中的に滞留していた。また、流れ藻の量は装置の外部ではマコンブ4本と内部に比べて明らかに少なかったが、段違い配置により形成された、斜面格子部と側壁との稜角部にマコンブ3本が滞留していた。2日間には水中テレビカメラで流れ藻はほとんど動かなかったが、その分布状況から、装置に接近してきた流れ藻は稜角部に滞留した後、格子斜面を乗り越えて装置に入り、捕捉されなかったものの大部分はそのまま流去したと推察された。10月29日、水中テレビカメラを曳航して行った観察では、流れ藻は平坦な砂礫底にほとんど認められなかったが、事業によって造成された投石区では石に引っかかるように滞留するマコンブが比較的多く見られた。試験装置内の流れ藻の量を、水深10-200m投石区(St. 4, 6, 9, 11)と砂礫底(St. 3, 5, 7, 10)の分布量(表2)とを比較してみると、流れコシブの平均分布密度は装置内および砂礫底で各18g/18g/m²および2g/1g/m²(SD=13g/13g/m²)であり、装置内で明らかに高かったが、投石区でも0.95g/m²(SD=0.63g/m²)と高く、装置内と投石区との間に有意な差は示されなかった。但し、試験装置が調査の6日前に設置されたのに対して、投石区はそれより約3ヶ月前の10月7~24日に造成されていたこと、投石区のサンプリングに問題があることから、このような単純な比較では装置の効果は過小評価される可能性があることには注意を要する。

流れ藻の分布はその後にも調査したが、調査海域に出流れ藻がほとんど観察されず、装置の効果を比較検討することが出来なかった。また、投石区におけるコシブの生育量も非常に少なく、平成15年3月21日の採取調査でSt. 9(図1参照)に4本(85g) // 2m²が観察されたほかには計測されなかった。これらの原因は、周囲海域に広く認められてきた機殻の現象、または高い密度で分布するエゴノバによるマコンブの競争的捕食と考えられる。

(2) 標識コシブの放流調査結果

平成15年3月20日12時0分から12時45分にかけて図1中のA, B, CおよびDで示す4地点に異なる標識(白丸, 黒丸, 三角, 四角で表す)をつけたコシブ各20本を、また装置2基の中にも別の標識をつけたコシブ各10本を放置した。図はその翌日21日9時0分から9時48分に調べた標識コシブの位置を左に、また4日後に調べた位置を右に示す。欠測となった2日間の流速をその前後の流速から推測すると、この調査期間の平均流速および波動流速は両者ともほとんど20cm/s以下であったと推定される。コシブの移動状況については、第1回調査で装置外側の稜角部に比較的多くのコシブが集まり、地点Dから放流したコシブのうち2本が格子斜面に乗り、流入直前の状態となっていた。この状態は第2回調査でも継続的に観察され、入りかかっていたコシブ1本が装置の中に取り込まれていた。しかし、第1回調査では西側装置の中に入れたコシブ10本のうち4本が既に流失し、また第2回調査では東側装置の中にあった10本のうち1本が西側装置へ移動するとともに、2本が脱落し流失していた。最初のコシブの流失については、コシブ放流時流速20cm/s程の潮流が存在し、コシブの静置が難しかったことから、放流直後に生じたと推察された。また第2回調査前のコシブ流失については、3月21日4時頃から始まった、有義流速毎瞬間最大約20cm/sに達する北西方向の波動流が発生したため、コンクリートブロックで囲われが原因とし、コシブを流失させたと考えられた。

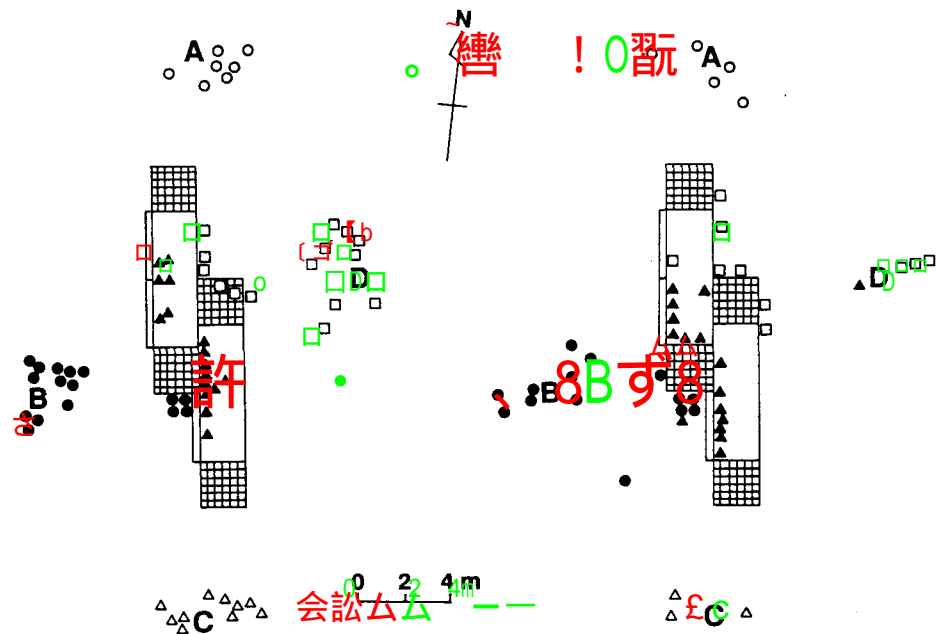


図8 平成5年毎月20日付試験装置周辺放流と標準コンブの放流速度日左図図および4日後(右図)の位置

標準コンブの挙動については、第2回調査で放流したコンブの大部分に多数のキタムラサキウニが蟻集していた。しかし、強い流動の中ではウニは安定した基質がない限りコンブを捕捉することは不可能である。コンブの放流時に潮流によってコンブの静止が困難であったことから、このとき流速速約20cm/s)が周囲コンブの移動限界流速であると推定されるが、この程度の定常流中ではキタムラサキウニは砂質底を容易に移動出来るので、コンブに蟻集し、その移動を抑えることが出来ると考えられる。

しかしいずれにしても、段違い配置によって形成された稜角部に比較的多くのコンブが滞留し、明らかに当該地区においてはこの配置方法が有効であることが示された。但し、その稜角部に滞留したコンブのうち、装置の中に捕捉されたものはわずかに1本だけであり、コンブが格子斜面部を乗り越えて装置の中に取り込まれるためには少なくとも20cm/s以上の流速が必要であると考えられた。

4) 装置の適正な配置

平成5年毎月それ以前の前流速度調査結果に基づき事業における梯形藻留め装置の配置計画が決定された。図9はその装置の外観図とその配置計画図を示す。太平洋側からの流れによる流れ藻の装置からの流失を防止するため装置の長さ方向を22°とし、また東方への恒流による流れ藻の移動を抑えるため、長さ10m、幅2mの装置3台を段違いに設置したものを1組みとして、間隔20mで造成区の幅300mにわたり設置することとした。装置の適正な設置方向については浪の波動が概ね40°の2方向の同程度の頻度で発生することから、それらの2方向とその中間の10°とを発生する方向とされたものの2方向前流中間流速の解析結果する3当地域では流れ藻の挙動に影響を流速の解析結果波動は、当地域では流れ藻の挙動に影響を及ぼす程の強い恒流に動流は流れ藻の滞留が重要である、このため潮流流および恒流に装置流設置の輸送が重要であること東赤木を約20°従すると、装置の設置方向を図9のように東寄りには捕捉された藻類が効果的に留められると期待されるが、より効果的に

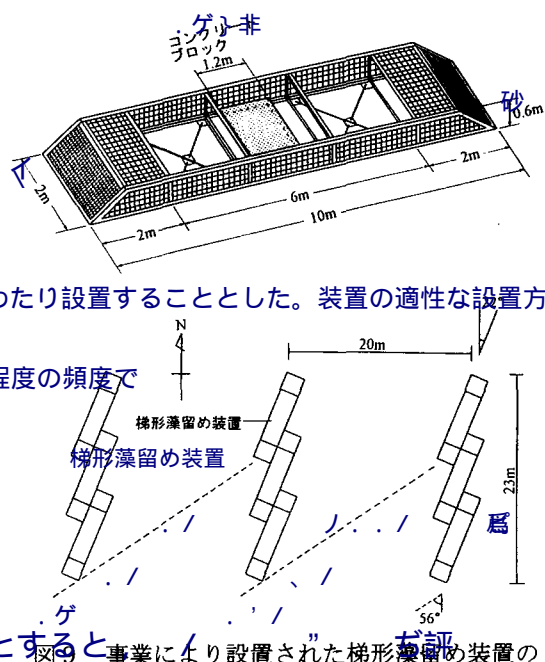


図9 事業により設置された梯形藻留め装置の外観図(上図)とその配置図(下図)

潮流および恒流によって運ばれてくる流れ藻をその外側の稜角部で止め、地動流と潮流を利用して装置の中の稜角部で止め、波動流と潮流を利用して装置の中に流れ藻を取り込むことが出来る。また流れ藻が多い時期に(晩夏取半ば)には流出変動がまた流れ藻が多い時期(晩夏~秋半ば)には強い波動が太平洋側からのうねりによって比較的多く発生すること(図10)から、この方向が最も効果的であることを考えられた。

また、試験装置にはブロッタを付設したが、大きな波動流速の向きが一定しないことから、これによる流れ藻の発生により流れ藻の流出が予想された。このため事業計画ではブロッタを付設しないこととした。

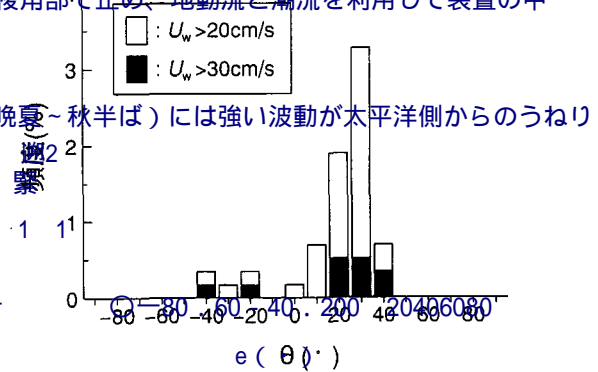


図10 $U_w > 20 \text{ cm/s}$ および $U_w > 30 \text{ cm/s}$ の主波動方向の発生頻度

5.5 事業後装置および誘導構造物の効果

平成6年3月15日、図11のA-F間に100mのロープを張

り、A点から1mおきに1から300の番号札を付け、ポンプを置いた。図中の数字はその札の番号を表し、○で囲んだ数字は3月8日の調査時の位置を、また□で囲んだ数字および無記号の数字は4月24日の調査時の位置を表し、無記号の数字はポンプが食い尽くされた札のみが残っていたことを表す。放流翌日には大部分のポンプはほぼ同じ位置に残留し、1本も装置に入っていないなかった。しかし、28日後の2回目の調査では誘導観察区域内では装置の中でのみ発見された。発見された標識は、東向きに恒流が存在するところから予想されるように、全て東向きへ移動していた。また、この調査でも放流したポンプは多数のキタムラサキウミが餌となり、藻体を活発に捕食するの観察された。

誘導構造物による流れ藻の移動防止効果については、2回目の調査では標識(番号札)の発見率が低いと低く、統計的検討が出来なかった。しかし、発見された標識のすべてが装置の中にあつたことから、梯形藻留め装置自体の流れ藻捕獲効果は有意であると云える。

4.4 まとめ

梯形藻留め装置の設置が計画された青森県野中地区地洗型増産場造成事業に関連して、事前調査および事後調査を実施し、以下の結論を得た。

- ① 恒流(津軽湾流)は月平均的に安定しており、その平均値は方向 65° 、流速 2.7 km/s であった。
- ② 潮流については田間潮流が卓越し、方向 66° に最大値 20 cm/s の振幅で振動していた。また、潮流には季節的変遷がみられ冬季は比較的明瞭な振動を観測したが夏季秋季は低調傾向がみられた。
- ③ 底面近く(の)波動流については、有義流速全振幅が、100%の藻の動き始める限界と考えられる 20 cm/s を超える確率が約10%と低く、当地域の波動現象は内湾寄りのことと示された。また比較的大きな振幅の波動流速は、概ね 20° および 40° の2方向に発生するが、一般に流れ藻が多くなる晩夏~秋半ばの時期に限るとみると前者(約 20°)の方向に比較的多く発生することが示された。

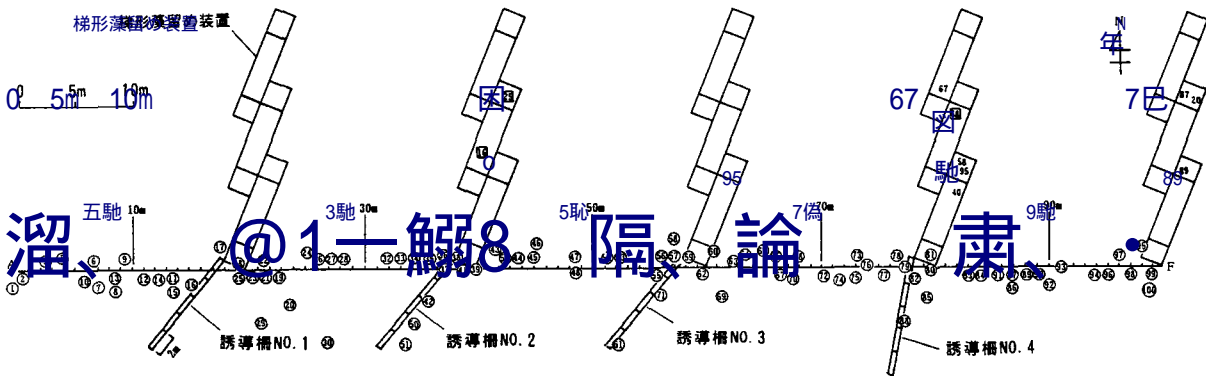


図11 事業後装置および誘導構造物の設置の周りで実施したポンプ放流追跡調査結果

- ④ 複数の梯形藻留め装置を段違いに配置することによって、潮流および恒流によって沿岸方向に運ばれる流れを効果的に止め、梯形藻留め装置はより容易に出来ることを確認した。
- ⑤ 上記の流速調査結果に基づき、事業による梯形藻留め装置の適正な配置計画を決定した。
- ⑥ 事業によって設置された装置の周辺に標識コンブを放流し、約1ヶ月後の調査で標識コンブまたは標識が装置の中での発見され、その有効性を確認した。

II. 扉付流れ藻捕捉装置

11. 調査方法

1) 室内実験

模型実験は縮尺1/10を想定して、造波水路(全長100m×幅1m)の1/30斜面上に長さ1.45m×幅1mのアクリル樹脂板を底面に貼り付けて試験区を設けた。試験区の中央部に模型装置を固定出来るようにした。模型装置は奥行300mm、上面高さ155mm、ステンレス製格子面から構成し、幅：98、148、198mm×高さ：49、99、149mmの扉を沖側(造波機側)側面に取り付けられるようにした。扉の位置での水深を0.50mとした。扉の下方または全面には流れを遮るためのアクリル樹脂製遮蔽板を取り付けた。また、ストッパはばね係数1.0696、2.90、5.568×10⁵(dyn/cm²)を用い、扉が丁度底面に垂直になったときに、扉の下端に触れるように装置の外側に固定した。

(1) 流れ藻の捕捉効率の捕捉効果

流れ藻の模型として(従来の研究)と同じ、手で揉んで皺を寄せた大きさ100mm×10mmのセロハン紙を用いた。この流れ藻の模型を試験区の沖の底面から激流し、波の下におけるその軌跡を調べた。また、放流場所の水路幅方向位置を変えて、捕捉効率の変化を調べた。

なお、流れ藻は進行波の下では振動しながら波の進行方向に徐々に移動する。

(2) 扉が開くときの衝撃力

扉が開くときに発生する衝撃的な力は非常に大きく、設計にはこの衝撃力を耐える必要がある。そこで、衝撃力の算定式を確立するため、荷重計を用いた各種の取り付けた衝撃力を測定した。

この扉に作用する衝撃的な力は、厳密にはかなり複雑な流体現象によって生じると思われるが、衝撃力が問題となる激浪時には、扉の運動エネルギーと扉の前側の領域の流体の運動エネルギーの和がストッパの弾性エネルギーに完全に交換されると仮定することができる。そこで、扉と一緒に計測する流体の振れを、断面が4分の1楕円形(片方の軸の1/2=遮蔽板の高さ)で、高さhの扉幅幅固定柱体仮定すれば、最大衝撃力 F_{max} は

$$F_{max} = k^{1/2} \left[I + \frac{\pi}{4} C_p b h_s^4 \left(\frac{r^2}{h_s^2} - \frac{8}{3\pi} \frac{r}{h_s} + \frac{1}{4} \right) \right]^{1/2} \omega \quad \dots \dots \dots (1)$$

となる。ここに、kはストッパ全体の弾性係数、Iは扉の慣性モーメント、Cは実験によって求める係数、pは水の密度、bは扉の幅、hは遮蔽板の高さ、rは扉の半径(高さ) cは扉の直前直後の扉の流速の速度である。 ω を正確に推定するには、扉の運動を予測する必要があるためより複雑な計算が必要となるが、激浪時には扉扉と水塊の運動は近似的に同じと考えられるので次式によりcを求めた。

$$\omega = u_d (e + h/L) - h_s / 2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 u_d は衝突時の流速である。

2) 現地実験

平成6年9月10日に宮城県仙台市青葉区平野町鮫川港の港口付近、離岸距離数十m、水深約9mの比較的平坦な転石帯に試験装置(図12)を設置した。周辺の海底状況は、水深3m位まではアラメ群落が形成されていたが、それ以深はサトウササキが点在する磯場となっていた。

試験装置の本体はステンレス(SUS304)で作成し、扉としては、目合82mm×82mmの格子を高さ530mm×幅1900mmの外枠に取り付け、さらにその下端から高さ280mmが遮蔽面となるように厚さ5mmのFRP板を取り付けた。扉の質量、重力による復元モーメントおよび慣性モーメントはそれぞれ11.1kg、

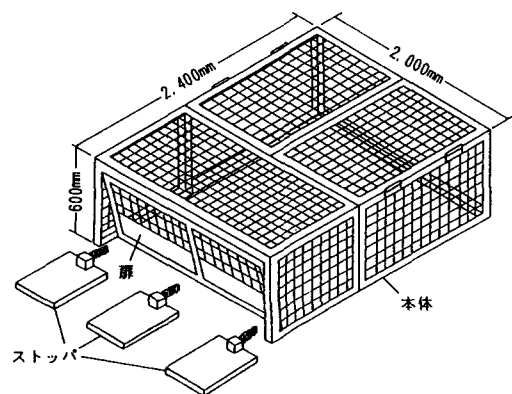


図12 平成6年度試験装置の概略図
図12 平成6年度試験装置の概略図

334. 1Nm, 11. 54kgm²であった。また、ストッパとして容量圧縮率300分の鋼製鋼線棒φ9.2mm×300mm×15mmの鉄板を平行になるように取り付け、また、ストッパを垂下する扉の下端にばねが触れるように

装置本体を扉が岸側を向くように設置し、その周囲

数を所定本中りりによって岩盤または巨岩にボルトを取付け、それと本体をロープで結んで固定した。

またストッパを垂下する扉の下端にばねが触れるように

扉の前通トッパを設置する扉の下端にばねが触れるように扉の

前通トッパを設置する扉の下端にばねが触れるように扉の前通トッパを設置する扉の下端にばねが触れるように

波動流速を調べるため、2次元超音波式流速計を海底に設置して、流速観測を行った。

2. 結果

2.1 流れ藻の捕捉機構

流れ藻の捕捉機構は、流れ藻の捕捉は大別して

次の3パターンがあることが分かった。

第1パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第2パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第3パターン：扉の斜め前方から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第4パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第5パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第6パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第7パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第8パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第9パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第10パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第11パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第12パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第13パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第14パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第15パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第16パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第17パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第18パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第19パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第20パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第21パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第22パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第23パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

第24パターン：扉の正面から接近してきた流れ藻が、

扉が閉じる方向に動いたときにそのまま装置の中に取り込まれる。

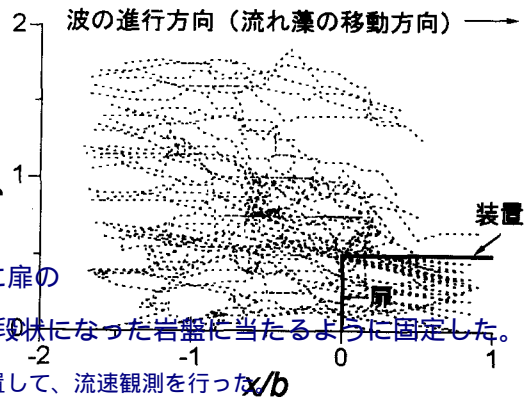


図13 扉周辺での流れ藻の軌跡

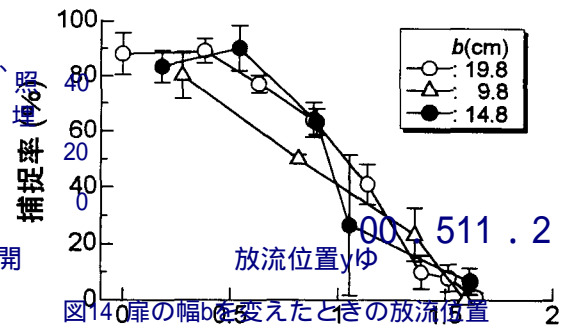


図14 扉の幅bを変えたときの放流位置による捕捉率の変化 (放流位置 y/b = 0.511, 流速全振幅: 71.3cm/s, 波の周期: 2.0s)

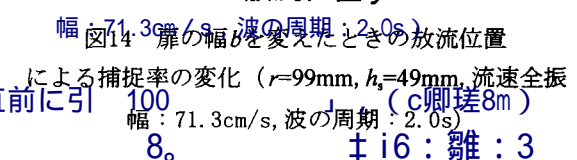


図15 扉の高さrまたは遮蔽板の高さhsを変えたときの放流位置による捕捉率の変化 (r=198mm, 流速全振幅: 23.2cm/s, 波の周期: 2.0s)

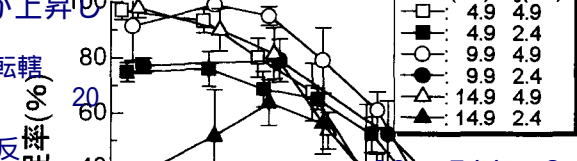


図16 扉の高さrまたは遮蔽板の高さhsを変えたときの放流位置による捕捉率の変化 (r=198mm, 流速全振幅: 23.2cm/s, 波の周期: 2.0s)

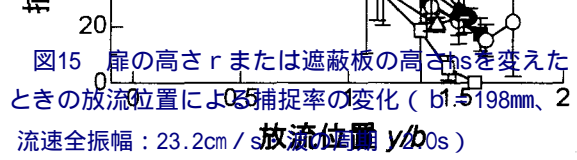


図17 扉の高さrまたは遮蔽板の高さhsを変えたときの放流位置による捕捉率の変化 (r=198mm, 流速全振幅: 23.2cm/s, 波の周期: 2.0s)

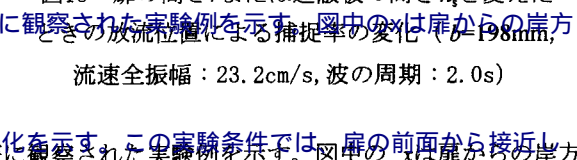


図18 扉の高さrまたは遮蔽板の高さhsを変えたときの放流位置による捕捉率の変化 (r=198mm, 流速全振幅: 23.2cm/s, 波の周期: 2.0s)

2.2 流れ藻の捕捉効果

図14に扉の幅rのみを変えて調べた流れ藻の捕捉率の変化を示す。この実験条件では、扉の正面から接近して

くる流れ藻は約90%のほぼ一定確率で捕捉されるが、前述したように流れ藻の接近経路が装置からはずれて

も捕捉率は急にはゼロとならず、その距離の増加に伴い減少するものの、扉の幅ほど離れた所から接近してき

る流れ藻は約90%のほぼ一定確率で捕捉されるが、前述したように流れ藻の接近経路が装置からはずれて

も捕捉率は急にはゼロとならず、その距離の増加に伴い減少するものの、扉の幅ほど離れた所から接近してき

る流れ藻は約90%のほぼ一定確率で捕捉されるが、前述したように流れ藻の接近経路が装置からはずれて

も捕捉率は急にはゼロとならず、その距離の増加に伴い減少するものの、扉の幅ほど離れた所から接近してき

る流れ藻は約90%のほぼ一定確率で捕捉されるが、前述したように流れ藻の接近経路が装置からはずれて

も捕捉率は急にはゼロとならず、その距離の増加に伴い減少するものの、扉の幅ほど離れた所から接近してき

る流れ藻は約90%のほぼ一定確率で捕捉されるが、前述したように流れ藻の接近経路が装置からはずれて

も捕捉率は急にはゼロとならず、その距離の増加に伴い減少するものの、扉の幅ほど離れた所から接近してき

た流れ藻まで捕捉できる可能性があることがわかる。従って、装置の効果は扉の2倍の幅を通過する流れ藻を完全に捕捉するのと同じことになる。

図15に扉高さで遮蔽板の高さを変えたときの流れ藻の捕捉率の变化を示す。遮蔽板の高さが遮蔽板の高さの約9mm（捕捉率49%）変化とあれば、最高に近づく捕捉効果が期待できるが、24mm（実物で24cm）にすると、捕捉効果は有意に低下すると推察される。

3) 衝撃力の算定

図16に式1および式2により求めた衝撃力係数Cの実験値をプロットした。図の横軸の妬は

図16に式1および式2により求めた衝撃力係数Cの実験値
 $C = \frac{M_f}{M_g} \left(\frac{r-h}{2} \right)$ 垢

で求めた流体力による特性モーメントであり、またMgは重力による復元モーメントである。Mf/Mgが大きいくほど、扉の運動に対する寄与が相対的に大きくなり、扉と水が同じように運動すると期待できるが、図より、Mf/Mgの増加（波浪の激化）に伴い、係数Cは漸近的にある定数(=1)に近づくことがわかる。従って、激浪時(Mf/Mg>0.5)ではC=1とすれば設計上十分であると考えられる。

4) 第1回現地実験

平成6年8月10日に設置した試験装置については、9月16日、設置時に装置に入れた標識付アラメ10本のうち、9本の残留が確認される（発見されなかった1本については標識が脱落したが、見落としされたと考えられる）とともに、扉が動き難くなるほどの満杯状態にアラメが捕捉されていた。その量は、標識アラメを除いて43本（推定湿重量：60~100kg）であった。しかし、次の10月1日の調査では、ストoppaがはじき飛ばされ、また装置の固定ロープが一部がはずれて、装置が転石の上に乗れ上がり、アラメは全て流失していた。この被害は、9月18~19日に三陸沿岸を超大型の台風第9424号が通過したときに生じたと考えられた。この時、三陸沿岸での波高は数十年確率波高に相当すると言われており、実験場所の海底では有義波動流速振幅1.2m/sを観測した。

10月1日に装置を修復したが、10月27日の調査では、周辺の海底には流れ藻は全くなかったが、装置に新たにアラメ7本、総湿重量4.7kgの流れ藻が捕捉されていた。

12月1日、流れ藻は装置の中にも周辺の転石帯にも全くなき、キタムラサキウニのみが点在していた。

5) 第2回現地実験

第1回現地実験では、装置は流れ藻を満杯になるまで捕捉し、しかも捕捉した流れ藻を流失させないように出来るといふ、予想以上の好結果が得られた。しかし、問題点として、ステンレスでは耐食性に問題があり、部材厚をある程度厚くしなければならないが、扉のつりばねに付随する追従性の点で重量を大きく出来ない扉のつりばねの小さい金属の使用が望まれること、扉の固定にアンカーボルトの利用が一般的に困難を内き、通常重量物の固定が望まれること、捕捉された流れ藻は本体の奥から溜まるが、約0.4m以上の高さになり、装置の奥から溜まるが、約0.4m以上の高さになり、装置

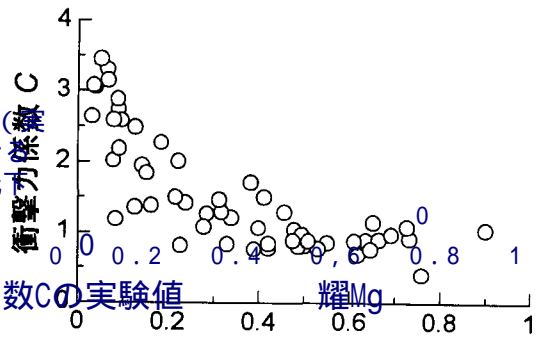


図16 衝撃力係数C/Mf/Mgに対する変化

出来るといふ、予想以上の好結果が得られた。しかし、問題点としては

①ステンレスでは耐食性に問題があり、部材厚をある程度厚くしなければならないが、扉のつりばねに付随する追従性の点で重量を大きく出来ない扉のつりばねの小さい金属の使用が望まれること、

②装置の固定にアンカーボルトの利用が一般的に困難を内き、通常重量物の固定が望まれること、

③捕捉された流れ藻は本体の奥から溜まるが、約0.4m以上の高さになり、装置の奥から溜まるが、約0.4m以上の高さになり、装置

④捕捉された流れ藻は本体の奥から溜まるが、約0.4m以上の高さになり、装置

⑤捕捉された流れ藻は本体の奥から溜まるが、約0.4m以上の高さになり、装置

⑥捕捉された流れ藻は本体の奥から溜まるが、約0.4m以上の高さになり、装置

⑦捕捉された流れ藻は本体の奥から溜まるが、約0.4m以上の高さになり、装置

⑧捕捉された流れ藻は本体の奥から溜まるが、約0.4m以上の高さになり、装置

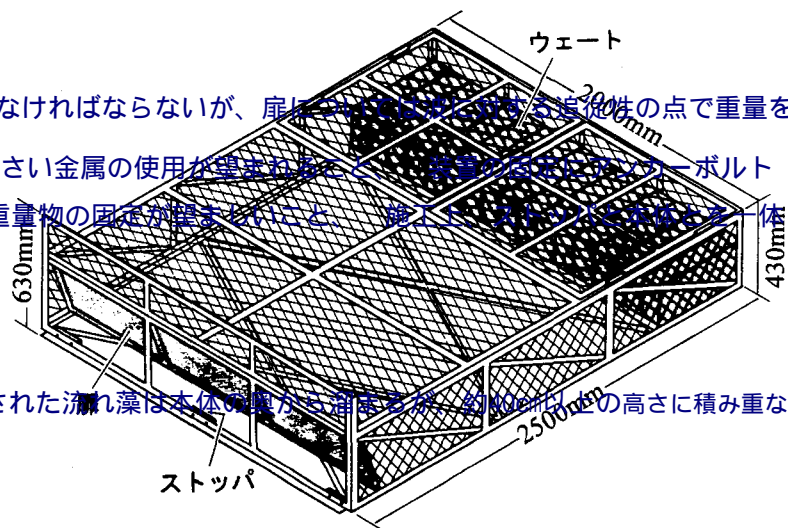


図17 改良した試験装置の概略図

図17 改良した試験装置の概略図

表3 装置内の流れ藻の量とキタムラサキウニの分布密度

調査日	装置内の流れ藻の重量	備考	キタムラサキウニの密度 ()内は平均殻径±SD(mm)	
			装置周辺からの50cm以内の領域	対照区8m ²
平成7年				
8月22日	なし	標識付アラメ10本を搬入	0個	8個 (8個 (46.2±16.7))
9月13日	標識アラメ 4kg	10本 (10本)	4個 (67.4個 (67.0±10.1))	16個 (28.9±17.6)
10月13日	無標識アラメ 38.2kg		243個 (243個 (62.9±9.0))	10個 (16個 (53.9±13.8))
11月30日	無標識アラメ 5.7kg	(99本)	48個 (48個 (60.0±10.2))	22個 (58.1±8.9)
12月22日	無標識アラメ 0.8kg	大部分が基根と仮根	102個 (102個 (68.1±7.6))	33個 (66.2±11.0)
平成8年				
3月1日	無標識アラメ 2kg	エゾアワビ 0.4kg	329個 (329個 (59.5±18.0))	20個 (54.5±9.9)

の高さをこの最高の高さより下げること、が上げられた。

以上のことを考慮して、事業にも適用出来るよう(但し、太さは検討要)に改良した装置(図17)を新たに製作し、平成7年9月13日第3回現地実験で同位置に設置した。この試験装置はネットがウニ以外には全て耐食性に優れたチタンで製作した。本体は目合100mm×50mmのチタンメッシュで被い、また扉は高さ400mm×幅1960mmで、全面遮蔽板とした。但し、扉の上方には高さ20cmの格子を設け、扉が閉じたときに流れ藻が巻き上がって、装置を飛び越えるのを防ぐようにした。

ストッパとしては、直方体の天然ゴム(受圧面80×85mm、厚さ64mm)3個を装置の前面下端に配置した。天然ゴムのヤング率は約5×10⁹N/m²であるので、このストッパ全体の弾性係数は6.27×10⁸N/mとなるが、衝撃力を出来るだけ抑えるために天然ゴムに中空部を設けた。これにより、設計では弾性係数を実質的にその半分の3.14×10⁸N/mに出来ると仮定して、設置時流速 $v=1.2m/s$ として設計衝撃力を式(1)および式(2)を用いて計算し、 $F_{max}=1.137 \times 10^4 N (3000kg)$ を得た。さらには掛かり抵抗を含めた見かけの摩擦係数を0.8として鋼製ウェートの所要重量を求めると、1920kgを得たので、60kgの鉄塊32個を製作した。このウェートを、装置本体内部の最奥部に、電線防止用のゴムマット(厚さ10mm)を敷いて設置した。

流れ藻の捕捉量と装置の周辺50cm以内の領域および対照区として近くの転石帯に設けた4m²枠2枠においてキタムラサキウニとエゾアワビの分布量を調べた。分布量調査では個数と平均殻径(殻長)を調べたが、個数が10個を超えた場合には無作為に10個を抽出して、測定を行った。また、設置後最初の調査(8月22日)では標識付アラメ10本を装置の中に入れてその残存量を経過変化を調査した。

平成7年9月13日装置を設置したが、例年流れ藻の量が多発する時期である9月になっても流れ藻は装置の中にも周辺にも全く見られなかった(表3)。これは、9月の調査日までの有義運動流速瞬間が前回の調査では40cm/sを超えたのに対して、今回は20cm/s以下と小さかったことから明らかのように、時化がなかったために海藻が流失しなかったと考えられた。しかし、その後、9月7日には有義運動流速瞬間が40cm/sを超え、30cm/sを超え時化の日が1週間ほど続いた。10月13日の調査では、前年度の調査と同様にアラメがほぼ満杯に近い状態まで捕捉され、顕著なキタムラサキウニの個体集積観察された(表3)。

その後、装置の中の流れ藻の量はウニの摂食と流れ藻の供給量の減少によって減少し、11月30日には10月13日目の量の約1/4までに減少し、さらに12月22日には装置内の流れ藻は摂食され、基根と仮根だけがなくなった。この間のウニの摂食は非常に激しく、流れ藻の滞留量は急激に減少したが、2月14日に新たな流れ藻の捕捉が観察され、3月1日の測定で約10kgの藻体残量を確認された。

8月22日の装置に入れた標識付アラメ10本は、ウニの摂食によって重量は減少したが、流失することなく、少なくとも10月13日まで9本が残留(1本は標識のみ発見)し、捕捉されたが流れ藻は細片化しない限り、流失しないことを確認した。

エゾアワビについては、設置時には転石帯に多少観察されたが、設置後、3月1日は殻長66mmの個体1個が装置の中で発見されるまで全く発見されなかった。この原因として、扉が閉まるときに発生する衝撃音が考え

られる。しかし、平成8年3月以降行われた調査では、アブラヒ数個体が観察されるようにはなっており、“慣れ”による集約の可能性はある。

装置は約7ヶ月経過した平成8年9月10日時点での扉の変形メトリバの損傷は認められず、装置は正常に機能していた。また格子および扉には付着生物が着生してきたが、その量は微少で、格子が耳詰まりを起こしたり、扉が開きにくくなったりするとは考えられなかった。今後の経過を調べる必要があるが、キタムラサキウミなどが静穏時に、装置に着生して付着生物を摂食しているようで、今後も付着生物の量が周辺の岩盤以上に増えることはないように思われた。

3. まとめ

扉付流れ藻捕捉装置を考案し、室内模型実験の現地実験により以下のことを証明した。

- ① 流れ藻の捕捉範囲は、扉の前面だけでなく、扉の両端から扉の幅離れた所まで及ぶ。
- ② 流れ藻の捕捉効果は遮蔽板の高さが50cm程度あれば最高に近いが、25cm程度では有意に低下する。
- ③ 激浪時の衝撃力は次式で求められる。

$$F_{max} = k^{1/2} \left[\frac{\rho \omega^2 I}{4} \left(\frac{h}{h_s} - \frac{8}{3\pi} \frac{h_s}{h} + \frac{1}{4} \right) \right]^{1/2} \frac{\rho \omega^2 I}{4} \frac{h}{h_s} \left(\frac{h}{h_s} - \frac{8}{3\pi} \frac{h_s}{h} + \frac{1}{4} \right) u_c / (r - h_s/2)$$

ここに、kはストップ全体の弾性係数、Iは扉の慣性モーメント、ρは水の密度、bは扉の幅、hは遮蔽板の高さ、rは扉の回転半径(有角さ)、u_cは激浪時の流速C=1Cである。

- ④ 装置は流れ藻を溝内近くまで捕捉することを出来る。
- ⑤ 捕捉された流れ藻は細片化しない限り、流失しない。
- ⑥ 捕捉された流れ藻はウミエビ等が有効に利用される。

また、改良した装置は約7ヶ月経過した時点でも故障なく機能しており、現在、ストップおよび扉の強度劣化を検討しているが、これらの点について詳細を検討して検討すれば、充分に事業に利用できるをいえる。

参考文献

- 1) 足助光久, 1983: コブ藻養殖場造成の効果を産水産土木(1)20(d), pp. 374-44.
- 2) 青森県水産増殖センター, 1987: 大規模増殖場開発事業調査報告書(石狩地区), 青水増殖料, 552524008 9, pp. 78
- 3) 川俣茂・萩野静也, 1987: 二次元一様流中における平板型流れ藻捕捉装置について, 水産土木, 2328(2), pp. 11-11
- 4) 川俣茂, 1987: 流出海藻滞留施設, 産水産土木(24)1, pp. 53-60.
- 5) 川俣茂, 1988: スリット状の開口部を有するブロック型藻留め施設の開発研究, 水産工学研究所研究報告, 9, pp. 4-8.
- 6) 川俣茂, 1988: 餌料としての流出海藻を滞留施設, 明海海洋科学, 20, pp. 369-376.
- 7) 川俣茂, 1992: 磯根漁場における流れ藻の挙動とその捕捉装置の開発, 海岸工学論文集, 39, pp. 891-895.
- 8) 川俣茂・萩野静也・山本正昭, 1993: 藻留め施設の海藻捕捉効果に関する研究, 平成3年度沿岸漁場整備開発事業に関する水産庁研究所研究報告書(水産庁振興部開発課), pp. 139-164.
- 9) 川俣茂, 1994: 磯根漁場造成における物理的攪拌の重要性, 産水産工学, 31, pp. 103-110
- 10) Kawamata, S and H. Suzuki, 1995: Development of a drift-algal trap for nearshore rocky aquaculture. Proc. of ECQSET '95, pp. 628-633.
- 11) 川俣茂・植村康, 1996: 青森県野牛地区における梯形藻留め装置の配置計画と効果に関する現地調査, 水産工学研究振興報 E(印刷中)
- 12) 堀定清・新田清, 1989: 津軽海峡域における海水流動機構の解明, 津軽暖流域に関する総合研究報告書(科学技術庁研究調整局), pp. 144-155