

磯根漁場における流れ藻の挙動とその捕捉装置の開発

川 俣 茂*

1. はじめに

コンブ類、アラメ・カジメ類等の大形海藻はアワビ、ウニの重要な餌料である。しかし大形海藻の生産のうちアワビ、ウニの餌として利用される割合は一般に小さく、大半は流れ藻として漁場から流出していると推察されている。そのため磯根漁場造成事業では東北地方太平洋岸を中心に流れ藻を餌料として有効利用させるため、流れ藻の滞留を目的とする施設、藻留め工が設置されてきた。

しかし調査・研究の進展に伴い、従来比較的多く用いられてきたコンクリートブロック、石材等から成る藻留め工では流れ藻を長時間滞留させることは現実的にほとんど不可能であることが明らかになりつつある(川俣, 1992)。その中で著者らは様々な条件下における藻留め工の適用限界の解明を図る(川俣, 1988)とともに効果的な施設の開発を検討してきた。本論文ではその一つとして考案した流れ藻捕捉装置の現地実験を行い、良好な結果と流れ藻の挙動に関する知見を得たのでその詳細を報告する。

本論に入る前に海底の近くを漂流する海藻体を流れ藻と呼ぶことに言及しておく。一般に「流れ藻」は水面付近を漂流する大形の底生植物をいう(岩波生物学辞典第3版)。水産の分野ではこのため海底の近くを漂流する海藻体をそれと区別して寄藻と呼ぶことがある。しかし、寄藻は本来「浜に打ち寄せられた藻」をさし、浮沈によって流れ藻と使い分けられた言葉ではない。この関係は流木と寄木の関係を考えれば明白である。実際、北海道及び東北地方太平洋岸ではこのような意味で流れ藻が使われており、著者もこれに倣った。

2. 従来の知見と梯形藻留め装置

流れ藻の水中と空中の重量比は非常に小さい。例えばホソメコンブで1/40~1/20、アラメで1/25~1/10である(川俣, 1988)。このため、流れ藻は水の動きにより容易に移動分散したり巻き上げられたりする。このような性質を有する流れ藻の捕捉・滞留について従来の知見

を整理すると、以下のことが言える。

- ① 海藻群落の形成される岩礁域では、砕波や海底の凹凸で発生する擾乱が激しく、流れ藻が巻き上げられないようにすることは施工上ほとんど不可能である。従って、藻留め工の設置場所は小なくとも砕波領域より沖側の平坦な海底とする必要がある。
- ② 一般に流れ藻はあらゆる方向に動くので、藻留め工はある領域を取り囲む形状・配置とする必要がある。
- ③ 波動の方向に遮蔽物を設けると、渦が発生するため流れ藻は巻き上げられ易い。従って、波動を妨げない構造・配置とする方が効果的である。

①と②より、効果的な施設として砕波領域の沖にある海藻群落を取り囲むようなものが考えられるかもしれない。しかし、砕波領域以深では大形海藻の生育量が少なくなることが、特に餌料海藻が不足する海域に多いので、そのような施設の適地は限られている。藻留め工が小規模でも効果的であるためには、通過する流れ藻が効率よく捕捉され、捕捉されると流出し難いものでなければならない。③については、波動下に置かれた衡立状の藻留め工の適用限界を2次元造波水槽で調べた川俣(1992)の研究がある。それによると流れ藻が巻き上げられて流出する限界は概ね次式で与えられる。

$$\frac{\hat{U}}{w} = 34.4 + 5.44 \log_e \frac{h_t}{L} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\hat{U}$ は底面波動全振幅、 w は流れ藻の沈降速度、 h_t は衡立の高さ、 L は波長である。 w は長さ2 m程度のホソメコンブで3 cm/sec程度である(川俣, 1988)から、式(1)を適用すれば容易に分かるように衡立のように波動を妨げる施設ではほとんど効果を期待できない。

以上のような考察から著者が考案したのが図-1に示すような構造を基本とする装置である。本装置はその側方断面形状が梯形(台形)状をしていることから梯形藻留め装置(以下、単に装置という)と呼んでいる。装置は基本的には1対の格子部及びその両脇に配置される脚部と連結側壁から構成される。図では脚部と連結側壁を各々ブロックと石積みとしたが、力学的安定が確保されれば格子として格子部と一体としてもよい。また設置方

* 正会員 水産庁水産工学研究所研究員

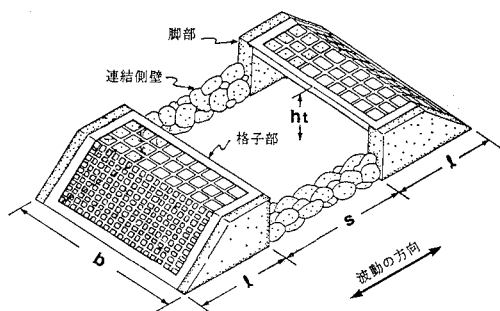


図-1 梯形藻留め装置の基本構造

向は連結側壁が波動の方向に平行になるようにする。

いま装置が砕波点以深で流れ藻が運ばれてくる平坦な海底に連結側壁が波向に平行になるように設置されているとする。また沿岸方向の流速は比較的小さく流れ藻は主として振動しながら岸沖方向に移動するものとする。波動流速または平均流速がある程度大きくなると、岸沖から装置に漂着した流れ藻はそのまま移動して格子部を乗り越えて装置内に取り込まれる。このとき装置は岸沖方向の流動を妨げないため、流れ藻がそのまま移動して装置内に取り込まれ易く、また前述した衝立のように波動の遮蔽によって強い渦が発生し流れ藻が巻き上げられて流出することはない。また装置内の流れ藻が波動によって動揺することはあるが、巻き上げようとする流れ藻を格子部の上面と斜面が上から抑えたとともに、連結側壁が流れ藻の沿岸方向への散らばりを防ぐ。このような理由で装置は流れ藻が流入し易く流出し難い構造といえる。更に安定重量が通常の漁場施設に比べて小さく、施工費を軽減できるという特長がある。

以上の説明から分かるように本装置の格子部斜面の勾配が小さい程、また両格子部間距離 s と格子部の奥行 l が大きい程効果的である。しかし格子部の高さ h_t については小さくすると取り込みは良くなるが滞留は悪くなるので、最適値が存在するはずである。

3. 装置の設計・施工に関する室内模型実験

現地実験の実施に際して装置の設計と施工について大まかな目安を得るため、簡単な室内模型実験を実施した。

(1) 実験方法

縮尺 1/10 を想定して全長 100 mm, 高さ 2 mm, 幅 1 mm の造波水槽を用いて模型実験を行った。造波水槽には勾配 1/30 のモルタル製傾斜面が設けてあり、その傾斜面上の水深約 60 cm の位置に装置の縮尺模型 ($h_t=30$ mm, $l=35$ mm 及び 50 mm, 幅 $b=200$ mm, 斜面勾配: 1/2 及び 1/1, 目合: 6 mm×6 mm 及び 10 mm×10 mm) を設置した。実験では流れ藻の縮尺模型として 100 mm×10 mm のセロハン紙を手で揉んで皺をつけたもの(以下、疑似海藻という) 20~30個を装置の模型の造波機側

(沖側) 近傍に放置した後、波を起こしてその挙動を調べた。

なお疑似海藻は従来より典型的な流れ藻の縮尺模型として用いているもので、沈降速度 $w=1.09$ cm/sec である。巻き上げ等の現象を扱う場合、縮尺 1/10 の模型実験では疑似海藻が妥当な挙動をすることが確かめられている。また波動下では流れ藻が振動しながら徐々に斜面を遡上することを付言しておく。これは波による質量輸送と類似した現象である。簡単に説明すると、水底の流向が波の進行方向(岸向き)である時には、流れ藻は波を追うように岸へ移動するため静止している時より少し長く岸向きの流れを受ける。これに対して沖向きの流れの時には流れ藻は波の進行方向と逆向きに動くため静止している時より沖向きの流れを少し長く受ける。これらの結果、流れ藻は平均的に岸向きに移動することとなる。

(2) 結果

実験により推察されたことを以下に上げる。

第一に装置周辺の底層に適当な乱れがあれば、格子部の斜面勾配は 1/1 程度でも流れ藻の取り込みに大差はないことである。最初、疑似海藻は装置に衝突を繰り返すだけで、格子部を乗り越えるものはほとんどなかった。この結果は格子部斜面の勾配を変えても同様であった。そこで、底面が平坦過ぎて乱れないことが原因と考えて、装置の沖側に長径 2~3 cm 程度の玉石を疎らに置いて乱れを発生させると、疑似海藻は多少浮遊して容易に斜面を乗り越えるようになった。ただし、実際の海底にはこの程度の乱れを発生させる粗度が存在し、浮遊を誘発するものは必要ないと考えられる。

第二に側方からの逸散を防止するため、連結側壁を隙間がないように設置しなければならないことである。実験では格子部の模型をはさむように直方体のブロックを置いたが、本実験のように完全な二次元流に近い場合でもブロックを除くと疑似海藻は急速に両脇から流出した。

第三に格子部には流れ藻の長さ程度以上の奥行が必要であることである。装置内の流れ藻の飛び出しは突然装置より高く巻き上げられて起こるのではなく、流れ藻の立ち上がりが次第に高くなって起こる。従って、ある程度の奥行があれば浮遊し始めた流れ藻は格子部上面の端に衝突した後、流れ藻のうち格子部より下の部分が更に奥に移動して上の部分を引っ張るため、立ち上がった部分を下へ引き戻すことができる。

第四に装置の高さは流れ藻の浮遊する高さの上限より少し低くすることである。これは流れ藻が入り易く出難くするためである。その高さは底面の粗度と流れの状態に依存すると考えられるが、玉石を置いた本実験では現地換算で 50~60 cm 程度であった。

4. 梯形藻留め装置の現地実験

本装置の効果を実証するとともにその構造を詳細に検討するため、試作器を用いて現地実験を行った。

(1) 試作器及び実験方法

現地実験は1990年7月～11月、東北水産研究所（担当：菊池，浅野，川村）との共同により宮城県江ノ島沿岸で実施した。装置には表-1に記す鋼製格子部6基と長さ60cm、高さ40cm、幅40cmのコンクリートブロック10個を連結側壁として用いた。装置の設置場所は図-2に示すような小湾の出入口近くに位置し、水深が約16mで岩盤の上に砂が薄く堆積する平坦な海底であった。大形海藻の植生については、潮間帯下部の浅所にコンブ類が優占し、湾の中部から口部にかけての張り出した岩盤にアラメの着生が見られた。図-3に装置と観測機器の配置図を示す。実験では流れ藻の動きと流れと関係を把握するため、遠隔操作によりカメラの旋回と照明の点灯ができる水中テレビと、超音波流速計及び超音波波高計を各々装置内と周辺に配置して陸上の監視塔から敷設した長さ約230mの海底ケーブル（図-2参照）により操作とデータ収集できるようにした。流速と波高については、監視塔でAD変換器付データレコーダーにより1時間毎に0.5secの間隔で1024回または2048回のサンプリングを行い、1日1回パソコン通信で茨城県波崎町にある水産工学研究所へ転送できるようにした。またテレビ観察については激浪の到来を予想して著者が

表-1 試作器の諸元

格子部斜面：目合50mm×50mm，径3.2mm，勾配1/1
格子部上面・脚部：目合100mm×100mm，径4mm
$h_1=50\text{cm}$ ， $l=200\text{cm}$ ， $b=200\text{cm}$

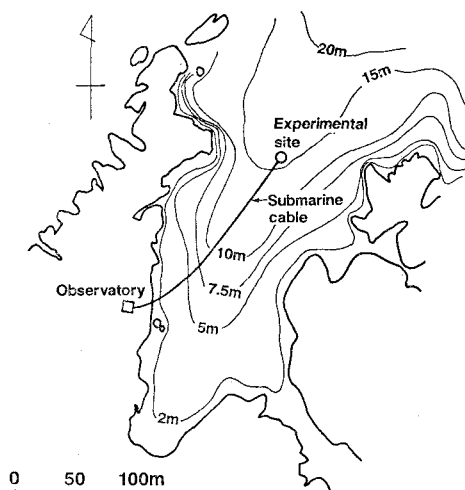


図-2 実験地区周辺の地形図

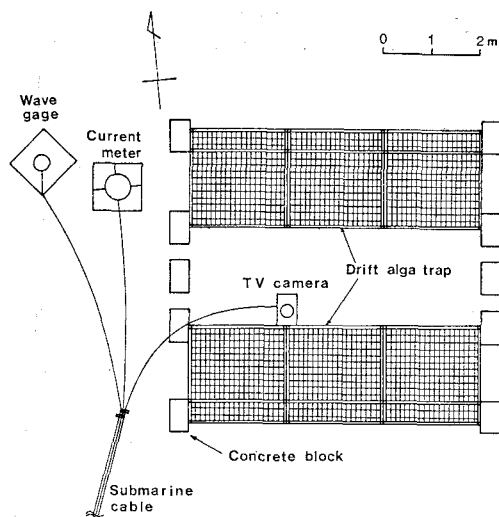


図-3 装置と観測機器の配置図

現地に赴いて行い、ビデオ録画することとした。装置内に捕捉された流れ藻の湿重量は定期的に菊池らによって測定された。

(2) 調査結果

流速と波高のデータの測得率は通信機器の故障により1/3程度となった。また超音波波高計は流れ藻等の漂流物が障害となり正常なデータをあまり多く得ることができなかった。以下には全般的な流況及び流れ藻の滞留量についての調査結果とテレビ観察に成功した台風第19号通過時の調査結果について述べる。

a) 全般的な流況と流れ藻の滞留状況

全期間における主波向と平均流速ベクトルを各々図-4と図-5に示す。主波向 θ は次式により求めたものである。

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{2 \sum_i u'_i v'_i}{\sum_i (u_i'^2 - v_i'^2)} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 u' 、 v' は各々流速変動の東方、北方成分である。図-4では原点から引いた線分の向きと距離が主波向とその方向の底面波動流速全振幅 $\bar{U}_{1/3}$ を表している。装置の設置は場所の制約から決められたが、理想的な設置方向より約30～45°北向きになっていたことが分かる。特に大きい波高の波がより東方から入射していたことは流れ藻の流出に強く作用したと推察される。また図-5において約4cm/secの西寄りの恒流が認められる。この恒流は波動流速と相関が見られないことから、波浪による流れではなく沿岸海流の影響と考えられた。ビデオ観察で明らかに流れ藻が装置内西側に寄せられる傾向が認められたが、この恒流がその原因であることが分かった。以上2つの不備と連結側壁を間断なく設置しなかった（図-3参照）ことから捕捉された流れ藻は西

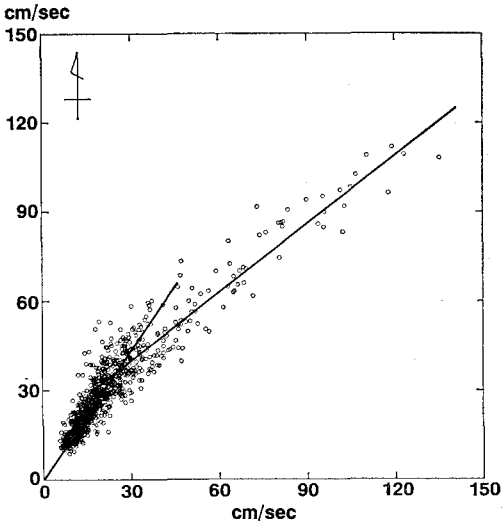


図-4 主波向の底面波動流速全振幅の分布

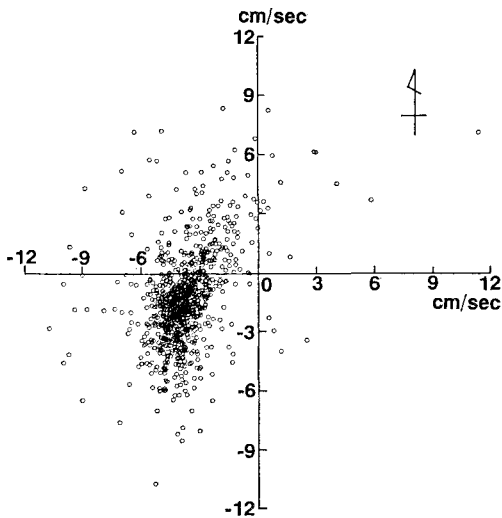


図-5 平均流速ベクトルの分布

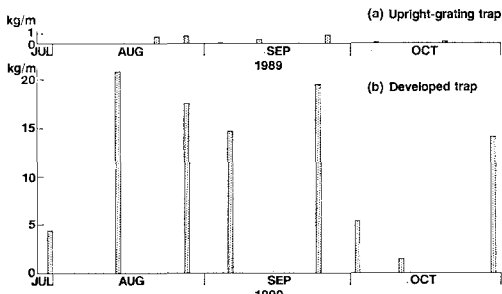


図-6 流れ藻の滞留量の変化

側の連結側壁からかなりの量流出したものと考えられる。

しかし装置がこのような不利な条件で設置されたにも

かわらず、その流れ藻捕捉効果は極めて高かった。図-6 は単位幅当たりの流れ藻の滞留量を示したものである。図中 a の藻留め工とは1989年にはほぼ同じ場所に設置した延長 12 m、高さ 30 cm、ピッチ 6 cm の縦格子を直立させた単純なフェンスであり、菊池らが同様に流れ藻の滞留量を測定した結果を比較として示した。兩年の海藻現存量はほぼ同程度であった(菊池ら、未発表)ことを考え合わせると、梯形藻留め装置が調査期間を通じて流れ藻をかなり高い水準で維持していたことは明かである。

b) 台風第19号通過時の流れ藻の挙動と流況

解析ではビデオ画像を早送りで再生して見て平均的な流れ藻の動きを把握するよう努めた。しかし、水中カメラのシールドへの生物の付着や後述する海水の濁りにより、特に夜間の映像は不鮮明であったので、前後関係から総合的な判断を加えた。

図-7 に主波向の底面波動流速全振幅 $\hat{U}_{1/3}$ の時間変化と流れ藻の挙動を示す。テレビ観察によると、9月20日午前中までは流れ藻の動揺は振幅 50 cm 程度以下でほとんどなかったが、12時30分頃から浮遊砂による濁りが発生するとともに流れ藻の動揺が激しくなり、その振幅が平均で 1 m 程度、最大で 2 m を越えるようになった。同日16時には濁りと動揺が更に激しくなり、小葉片の巻き上げが観察されるようになった。同日22時以前の流速データは得られなかったが、海藻の動揺の程度から判断して $\hat{U}_{1/3}$ は 80 cm/sec 程度であり、波動は9月21日0時頃に最大に達したと見られ、その後漸減した。

捕捉された流れ藻の主体は長さ 1~3 m 程度の大形のマコンブであり、そのほかに基部から剥がれたアラメと 10~30 cm 程度の雑多な海藻の小葉片が観察された。流れ藻の滞留量は、9月21日3時30分頃までは局所的に(多くの場合、西側の格子部の間に)塊となって滞留する程度であったが、9月21日5時には流れ藻が層状に堆積していたことから、同日4時前後に大量の流れ藻が装置に流入したと推察された。また図-7の矢印で示す時には流れ藻が岸側から装置内に流入するのが観察され

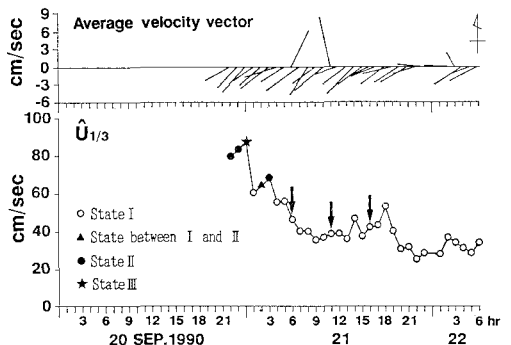


図-7 台風第19号通過時の流れ藻の挙動と流れの変化

た。特に10時52分から始まった流入では大形のマコンブの流れ藻が多量に流入するのがはっきりと撮らえられ、20分程度にわたり間欠的に流れ藻の流入が観察された。この冲向きの流れは図-7上図の平均流速ベクトルにも明確に現れている。ところでこの流れの起因として長周期波が考えられたが、水位と流速のスペクトルに低周波のピークが現れなかったことやビデオ観察でその後逆向きの流れが見られなかったことからその影響は考え難い。監視塔から撮影した水面の波立ちの状況から波浪に起因した離岸流と推察された。

次に $\bar{U}_{1/3}$ と捕捉された流れ藻の挙動との関係について見てみる。 $\bar{U}_{1/3}$ の増加に伴い、どの流れ藻も全く巻き上げられずに流出しない状態(状態Ⅰ)、小葉片のみが巻き上げられ流出する状態(状態Ⅱ)、基部から剝離した大形の流れ藻も流出する状態(状態Ⅲ)の順に遷移した。この場合、状態Ⅱの閾値は $\bar{U}_{1/3} \sim 66 \text{ cm/sec}$ 、状態Ⅲの閾値は $\bar{U}_{1/3} \sim 86 \text{ cm/sec}$ であったことが分かる。しかしこれらの閾値は決定的なものでなく、水中テレビのアンカー用として設置したコンクリートブロック(図-3参照)や捕捉された多量の流れ藻による乱れの発生が認められたことから最適な条件での値より低くなったと考えられる。比較的鮮明な映像が得られた9月20日日中午後における流れ藻の挙動をみると、滞留量が多くなければ流れ藻が振幅2m以上の激しい動きをしても格子部が効果的に流れ藻の巻き上げを抑制するのが認められた。またこのときの観察より装置の高さは50~60cm程度が妥当であることが確認された。

5. 考 察

(1) 流れ藻の挙動

流れ藻の実態については、未だ体系的にまとめられるほどよく分かっていないが、従来と今回の調査で得られた知見を整理してみた。

まず流れ藻の発生については、季節の変化はあるが従来の認識どおり激浪時に流れ藻の大部分が発生することはほぼ間違いない。このとき発生した流れ藻は波が治まらない間は、最初の方で述べたように岸方向へ移動する。ただし今回の調査ではその傾向が推察されたが、透明度が低く明白には分からなかった。また浅所では流れ藻が激しく巻き上げられることも推察された。激浪から波高が低下し始めると、岸近くに打ち寄せられた流れ藻は数日の内に消失することから急速に沖へ移動していくはずであるが、その要因としてサーフビート、潮汐等による大きな振動と水中重量が考えられる。今回の調査では離岸流と思われる冲向きの流れが流れ藻の沖への輸送に関与していたが、ポケットビーチや湾では離岸流が重

要な役割をしていると推察された。このことは、調査(静穏な時に実施)では流れ藻の大部分が装置内沖側に滞留していたと川村(私信)が指摘していたことにも裏付けられる。そして当地で観察されたように湾口まで到達した流れ藻は海流等の恒流により外洋へ運ばれていくものと考えられる。

(2) 装置の設計・施工

今回の現地実験により装置の有効性が実証されたが、以上のような流れ藻の挙動から考えても最初に述べた装置の設計施工・方法は妥当なものであり、実用に耐え得るものといえる。しかし今後の利用でより大きな効果を期すため以下の事項を指摘しておく。

まず第一に対象生物の生息環境と装置の設置場所との関係に留意すべきである。今回の実験では菊池らが装置内に不十分ながら着定基質としてコンクリートブロックを設置し、キタムラサキウニを放流したがすぐに逸散してしまった。キタムラサキウニの生息適地が充分によく分かっていないためにその理由は明確ではないが、装置の設置場所が砂に覆われていたこと、隠れ場がない平坦な海底であったこと等がその要因として考えられる。動物の棲み場を装置内につくる場合、それによる流れ藻の巻き上げ流出を考慮して格子部間距離 s を大きくとる必要がある。

次に装置の幅を大きくする場合、仕切を入れる必要がある。恒流により流れ藻が一箇所に寄せ集められると流出し易くなるので、仕切として連結側壁を適当な間隔で入れることが必要であろう。

6. 結 言

考案した梯形藻留め装置の試作器を用いて現地実験を行い、高い流れ藻捕捉効果を確認するとともに設計・施工方法を決定した。また現地実験により流れ藻の挙動と発生から流出に至る過程を概念的なモデルとして提案した。今後は様々な漁場で設置されつつある本装置の追跡調査を通じて実証と改良を積み重ねる予定である。

謝辞：江ノ島漁業協同組合及び(有)フクダ海洋企画の方々には現地実験にご協力いただいた。また東北区水産研究所浅野昌充氏には貴重なデータを提供していただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 川俣 茂 (1988)：餌料としての流出海藻とその滞留施設，月刊海洋科学，20巻，pp. 369-376.
- 川俣 茂 (1992)：波動場におけるブロック型藻留め工の適用限界，平成4年度日本水産学会学術講演会論文集，pp. 13-16.