

増殖溝内堆砂撤去法の開発

水産工学研究所

藤原正幸・久保 敏

1. 緒言

波浪エネルギーを利用し、海水導入を図る増殖溝が岩手県や北海道で造成され、ウニの増殖に利用されている。また鹿児島県の種子島では試験的にフクトコブシに、そして千葉県の白浜町ではアワビに、増殖溝の計画が進められている。図1は現地調査を行った岩手県種市町の増殖溝平面図である。溝の規模は幅約4 m、水深は60~90cmである。この施設は潮間帯に位置する平磯（磯棚、リーフなどとも呼ばれる。）に造成されたものであり、それまでは海藻も生えず未利用であった磯が現在では重要な漁場となっている。例えば昭和62年度の実績では、種市町全体でみた場合、ウニは増殖溝で種市全体の25%の漁獲量があり、7千万円ほどの漁獲金額があった。この地域での漁獲対象のウニは、ほとんどがキタムラサキウニであるが、他にエゾバフンウニも漁獲されている。漁業形態としては、沖のやせウニを増殖溝に移殖し、コンブを食べさせて身入りを良くして出荷する形態をとっている。この施設の海水取入口は、図2に示すように波浪エネルギーを水平的にも鉛直的にも集中させるような形状で、海水が溝内で停滞することなく一方向に流れるよう設計されている。しかし海岸に構築されるほとんどの構造物がそうであるように、この施設も砂（漂砂）の脅威にさらされている。実際増殖溝内に中央粒径が0.21~0.68 mmの砂分が堆積し、更に悪いことにキタムラサキウニは砂地を好まないため、施設は漁場としての機能を十分に発揮していない。現在その堆砂に対する処置として数年に一回重機を導入して砂を排除しているが、このような処置は経済的にも負担となっている。例えば岩手県種市工区では昭和51年に1850万円を投じて堆砂撤去を行っている。このような撤去を10年に一回実施するとすると一年に185万円必要ということになる。

このような理由から増殖溝内の堆砂を少なくする方策、または自然の力を利

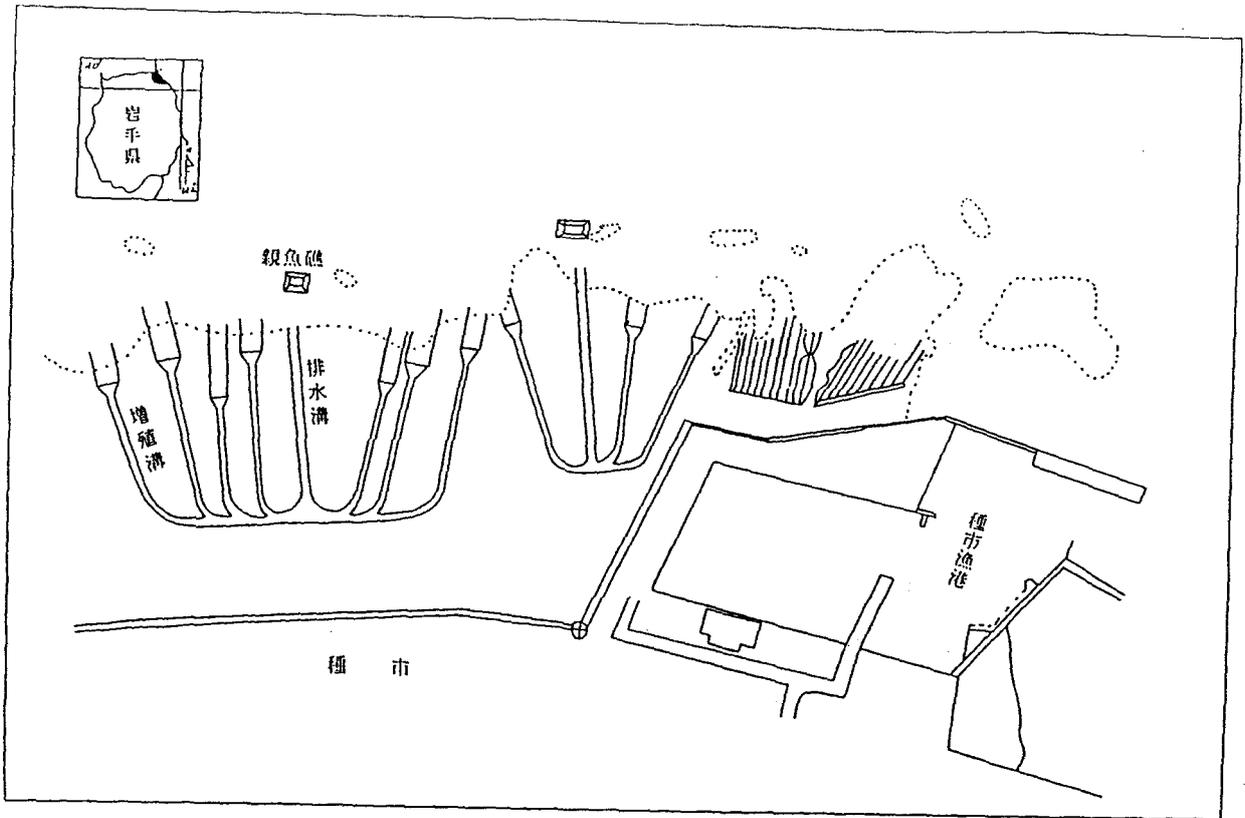


图 1 增殖溝平面图

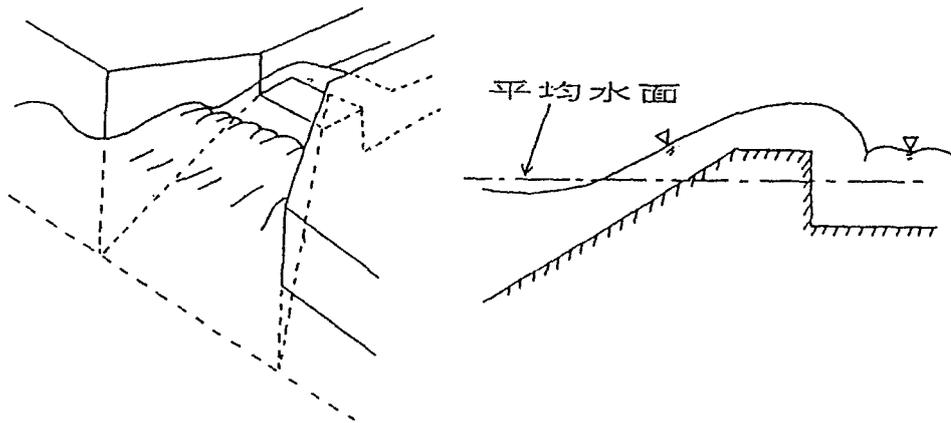


图 2 增殖溝取水口

用し、砂を撤去しやすい場所に集める増殖溝構造の開発研究が必要になっている。研究手順としては、平磯上の水理構造を把握し、それによって引き起こされている砂の侵入経路を明らかにし、その上で対策を考えることになる。具体的にはその第一段階として、溝が築かれた平磯上の基本的水理構造を把握するため、地形を単純化した模型で水理実験を行い、第二段階として現地で観測を行って、水理実験結果と比較検討し、最終段階として砂の侵入を阻止する対策について検討をした。

ここに平成元年度から3年度までの3年間の研究成果をまとめて報告する。

2. 単純化した地形での水理模型実験

2.1 模型と実験条件

この施設を造成するための設計指針の基となっている実験¹⁾は最干潮時を仮定し、取入口のみを取りだして溝内に設計流速が得られるように形状決定したもので、施設自体が海面下に没してしまう満潮時の流況については考慮されていなかった。また平磯上での波の変形については、現在までに多数研究²⁾されてきているが、平磯上に溝がある場合の流れについては過去数例^{3)・4)}であろう。よって溝が平磯上の水理構造にどのように影響を及ぼしているのかを明らかにするために、図3に示すように地形を理想化した水理模型を製作して、波高と水位をパラメータとした実験を行った。縮尺は1/10を想定した。波高は4

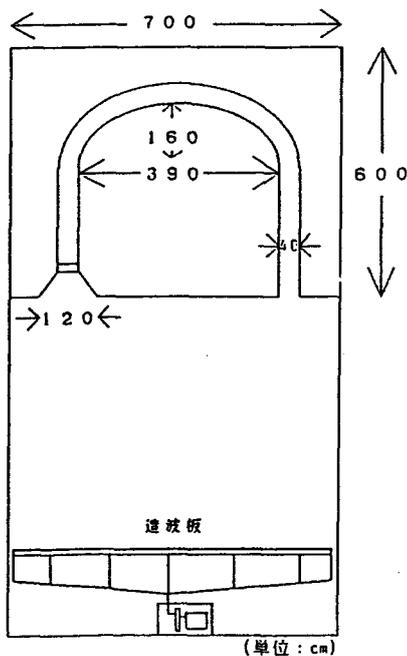


図3 水理模型

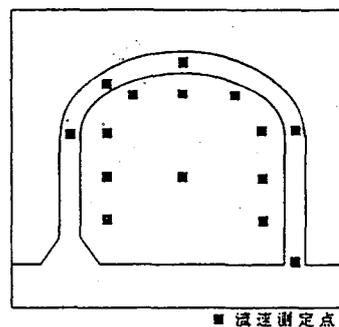


図4(a) 流速測定点

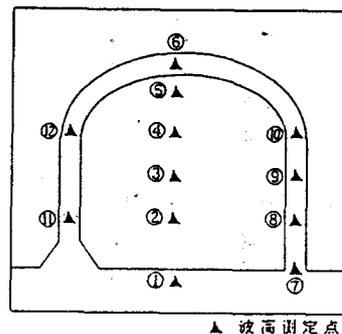


図4(b) 波高測定点

種類 (3.8 cm, 5.4 cm, 7.6 cm, 9.7 cm)、水位は3種類 (干潮、平均水位、満潮)、周期は1種類 (2秒) を設定した。干潮時の水位は、模型の平磯下6 cm、平均水位時は平磯下2 cm、満潮時は平磯上3 cmとした。流速および波高測定点を図4 (a) (b) に示す。流速は電磁流速計で、波高は容量式波高計で測定し、15Hz間隔でデータをA/D変換して、フロッピーディスクに記録した。設定波高は、沖波高として造波板の前面から10cm間隔で波高を測定し、その最大値と最小値を求め平均して入射波高を計算し、設定波高になるように造波板のストロークを調整した。

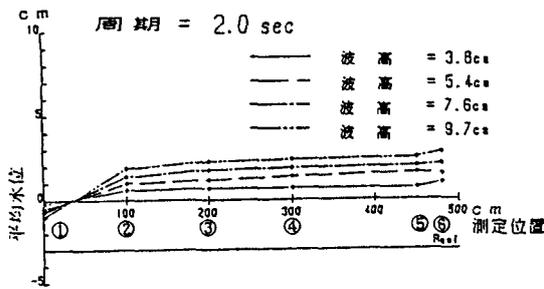


図 5(a) 平均水位 (平磯中央)

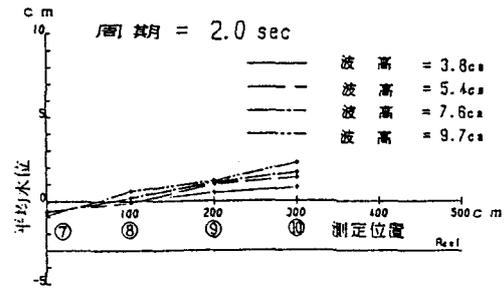


図 5(b) 平均水位 (排水溝)

2. 2 結果

2. 2. 1 平均水位 (満潮時)

平磯中央と排水溝での平均水位を図5 (a) (b) に示す。平磯前面では平均水位は下がり、平磯上では上昇する。波高が大きいほどその上昇量は大きく、図6に示すように沖波高の25%程度上昇する。平均水位は取入口→平磯中央→排水溝の順に低くなり、溝のカーブが始まる位置でそれぞれ等しくなる。

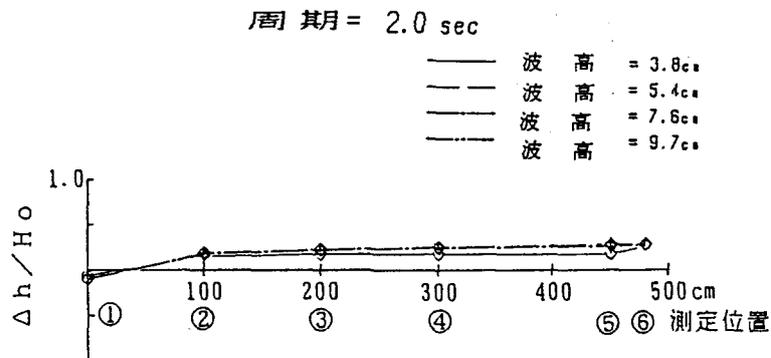


図 6 平均水位上昇量 (Δh) と沖波高 (H_0) の比

2. 2. 2 波高（満潮時）

平磯中央と排水溝での波の峯と谷の包絡線を図7(a)(b)に示す。平磯先端部を除いて、波高が大きくなるほど峯も谷も高くなる。平磯先端部では、波高が大きくなるほど谷が低くなる。また平磯中央での波高分布を図8に示す。平磯先端部で波高が大きくなり、そして碎波し、その後急速に減衰していく。各測定点での水深と波高の比をプロットしたのが図9である。波高にかかわらず0.4~0.5に収束している。また沖波高との比を図10に示した。その比は0.3~0.4になる。

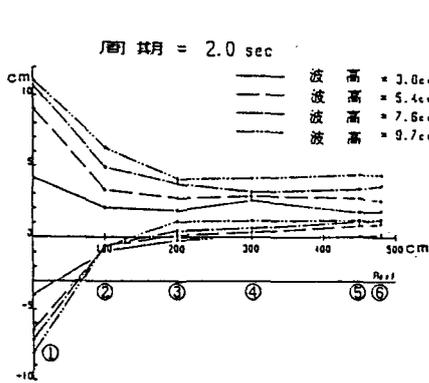


図7(a) 平磯中央での波の峯と谷の包絡線

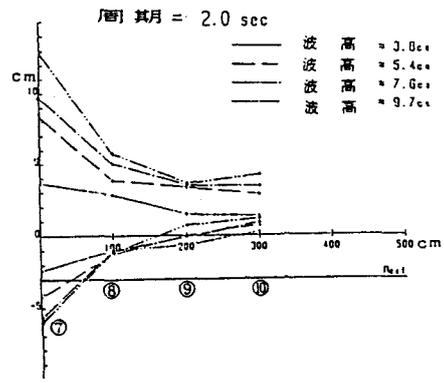


図7(b) 排水溝での波の峯と谷の包絡線

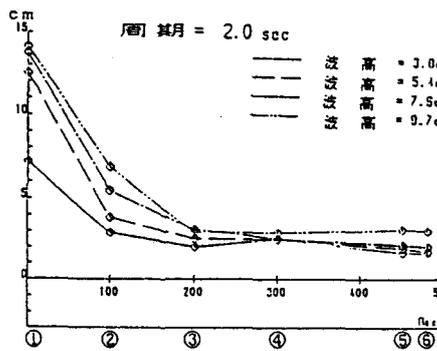


図8 波高分布（平磯中央）

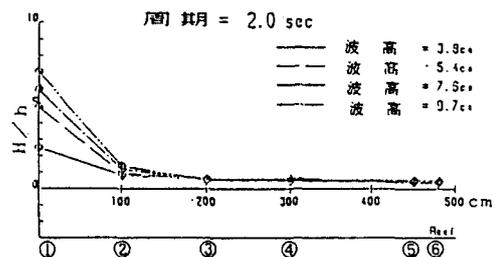


図9 水深と波高の比

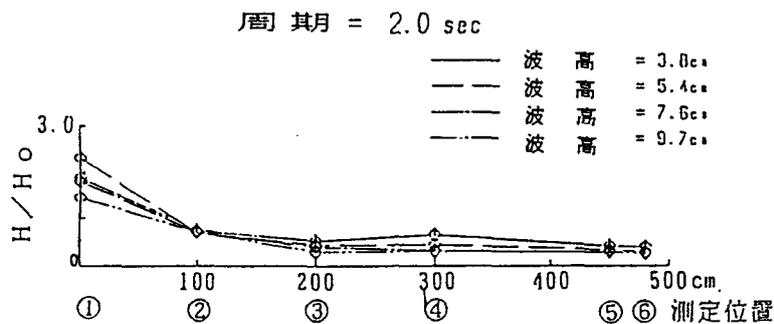


図10 沖波高(H_0)と各位置での波高(H)の比

2. 2. 3 流況

(1) 溝内流況

各水位（干潮、平均水位、満潮）条件における溝内流速（溝底より1 cm上）の変動図を図11に示す。ただしこの図は直感的に理解しやすくするために加工を施したもので、実際の変動形態ではなく、実際の変動を変動幅の等しいサインカーブに直したものである、満潮時のカーブ付近の図は、細かい変動が多くきれいなサインカーブにはならない。しかしその他の図はほぼ実際の変動に近い。この図から分かるように溝内流速は各水位とも岸に近い位置で変動が小さくまた流速自体も小さい。それに比べて沖に近い排出口付近は変動も大きく、流速も大きい。平磯上の水が排水溝に流れ込んでいることが分かる。取入口付近は図2に示したように堰を越流して溝に流れ込む形状になっているため、鉛直方向にもかなり激しい変動があり、岸に近づくにつれて水平的な変動に変わるため変動の定量的な測定は困難であるが、実験観察から岸に近いところより変動は激しいことが分かった。平均流向は干潮時と平均水位時では取入口から排出口になるが、満潮の場合はカーブの奥の位置で左右に分かれて取水溝でも沖向きになる。

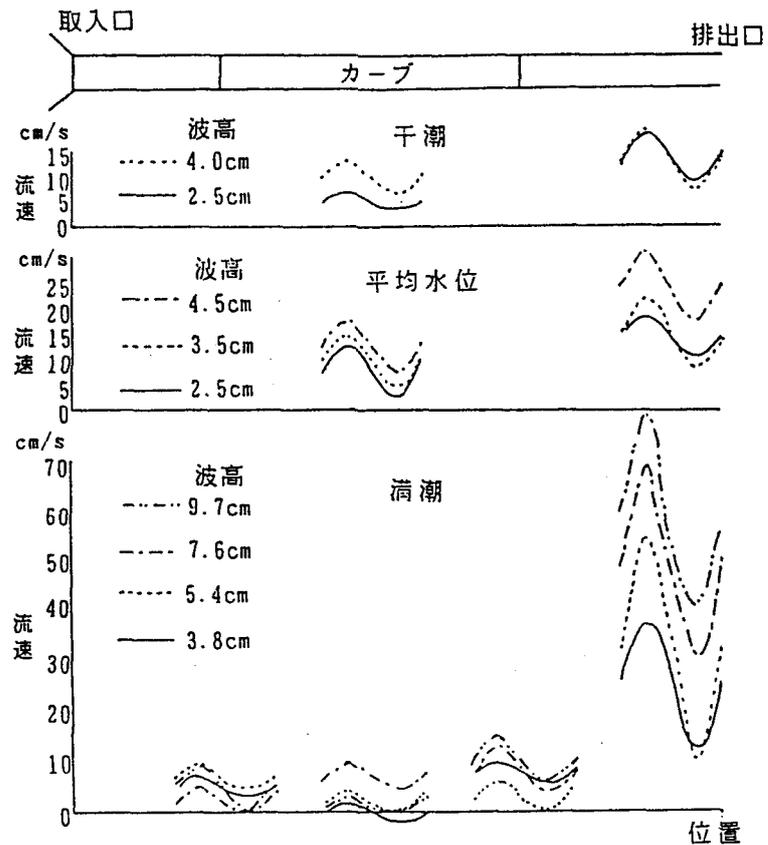


図11 溝内流況

(2) 平磯上での流況

平磯上での1周期の流速変動を図12(a)~(d)に示す。またその平均を図13(a)~(d)に示す。溝内は底から1 cmと8 cmの2箇所測定し、上層の測定値を破線で溝の外側に示した。平磯中央での流向が、岸~排水溝の間を変動しているのは入射波による質量輸送と平磯⇒排水溝となる水位勾配の影響であり、また他に取入口からの反射波の影響も考えられる。また波高が小さいと取水溝付近の平磯上は冲向きに流れるが、波高が大きくなると波の打ち込みによる力が大きくなるので岸向きになる。全体的に見ると平磯上は岸に向かい、溝内は沖に向かって流れているようである。

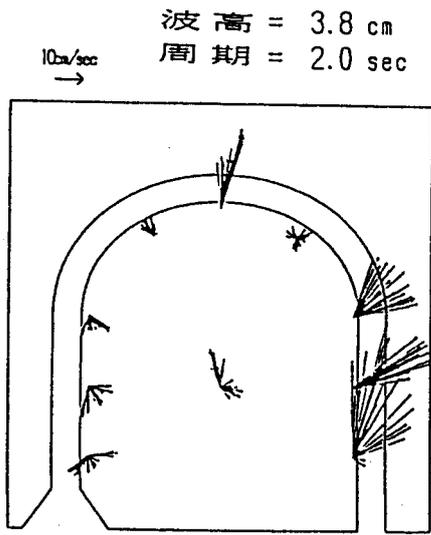


図12(a) 流速変動

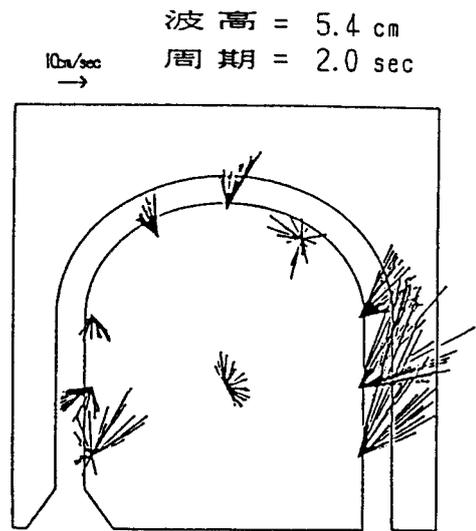


図12(b) 流速変動

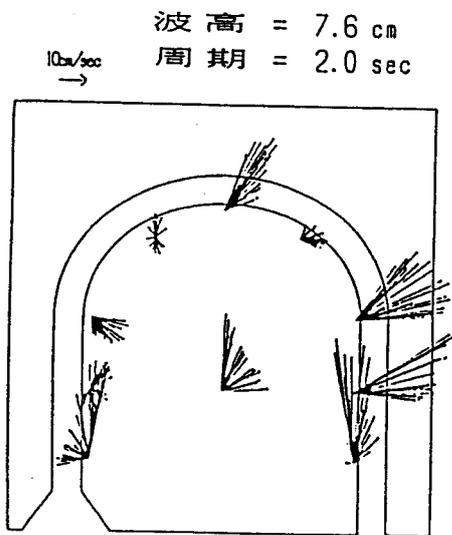


図12(c) 流速変動

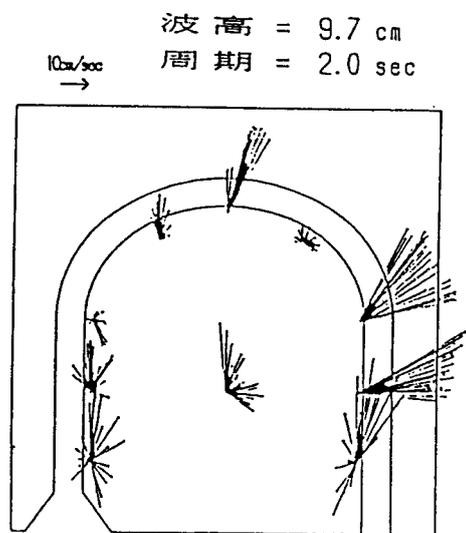


図12(d) 流速変動

波高 = 3.8 cm
 周期 = 2.0 sec

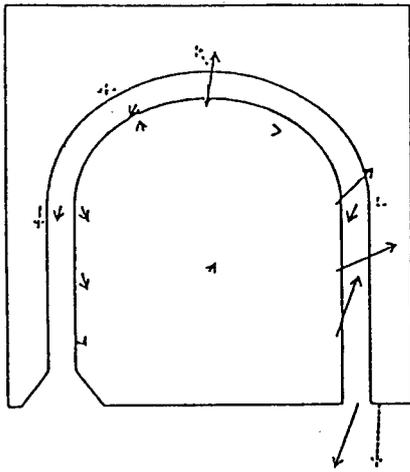


图13(a) 平均流速

波高 = 5.4 cm
 周期 = 2.0 sec

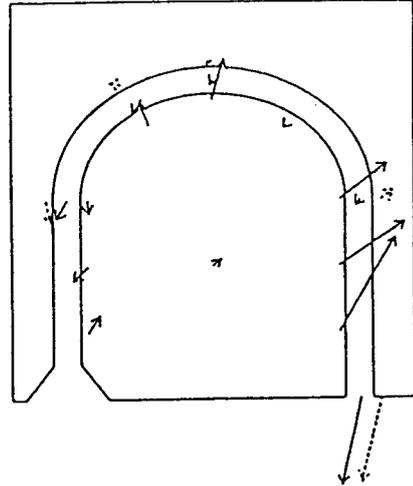


图13(b) 平均流速

波高 = 7.6 cm
 周期 = 2.0 sec

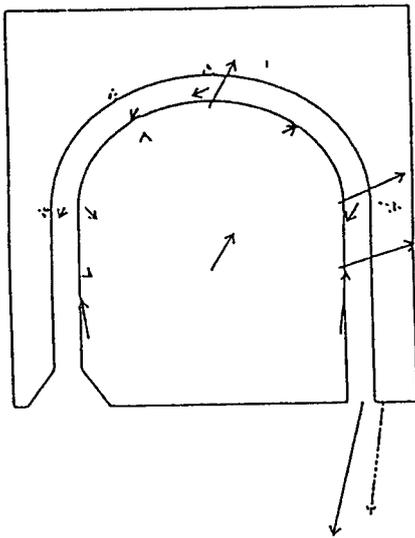


图13(c) 平均流速

波高 = 9.7 cm
 周期 = 2.0 sec

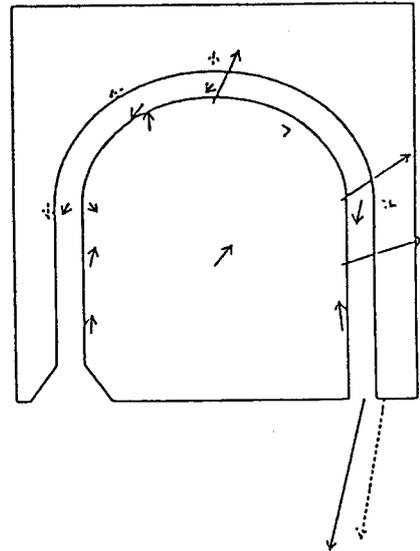


图13(d) 平均流速

2. 2. 4 粒子移動

直径1.5cm 比重1.025 の粒子を平磯先端に置き、波によりどのように移動するかを各波高について示したのが図14(a)~(d) である。図から分かる様に波高が大きくなるほど排水溝近くの粒子は排水溝に落ちる位置が沖に近くなっている。また小さい波高では取水溝のカーブ付近での平磯上の粒子は、徐々に沖に向かって流されるが、同時に引き摺られるように平磯中央の方向にも流される。平磯中央に向かうにつれて岸向きの流れが強くなるのでそれに捕まり、岸の

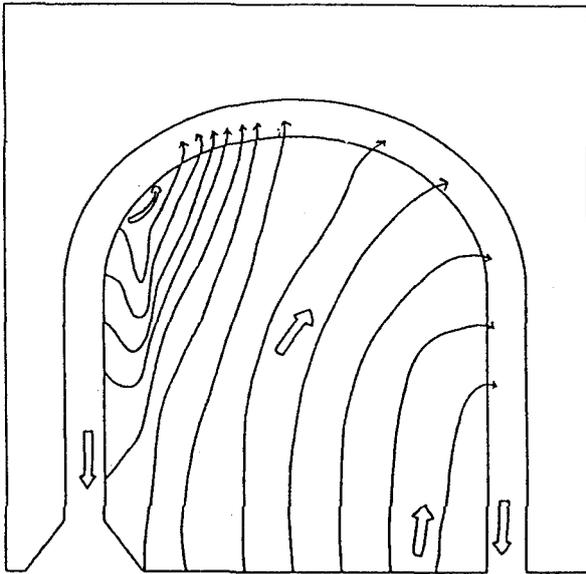


図14(a) 粒子の軌跡 (波高3.8cm)

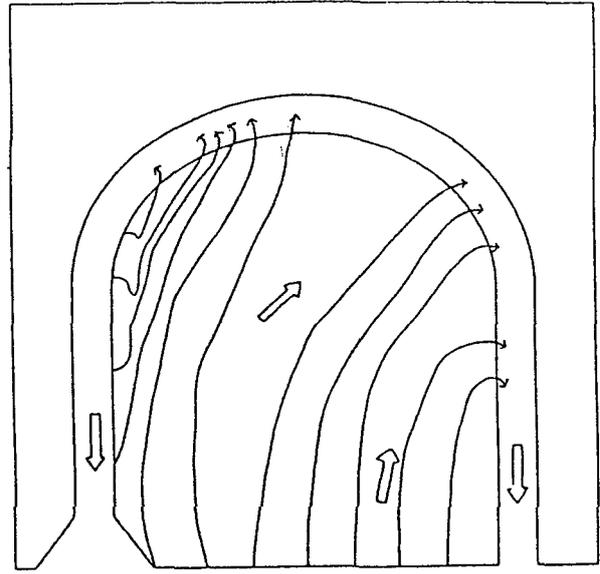


図14(b) 粒子の軌跡 (波高5.4cm)

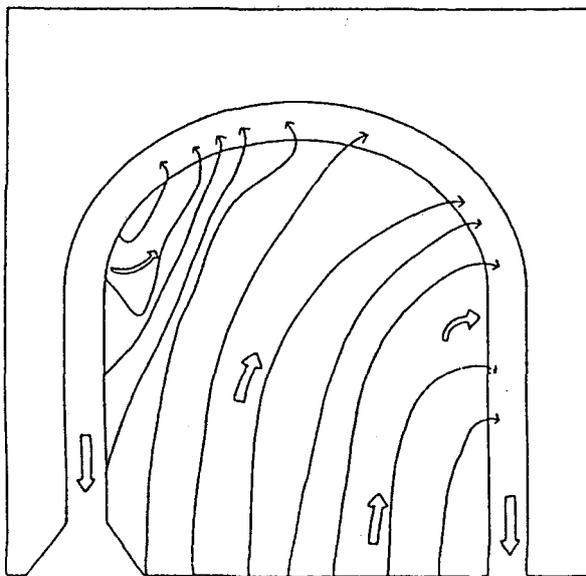


図14(c) 粒子の軌跡 (波高7.6cm)

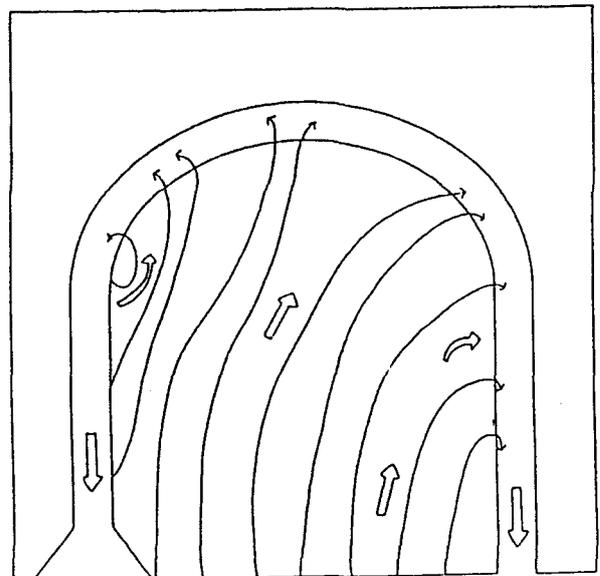


図14(d) 粒子の軌跡 (波高9.7cm)

ほうに流される。粒子の軌跡はオイラー的手法である流速計で得た値から想像される軌跡とほぼ一致している。溝に落ちてからはカーブの奥の位置を境としてそれより排出口のほうに落ちた粒子は排出口のほうに流れ、取入口のほうに落ちた粒子は取入口のほうに流れる。排出口のほうに流れた粒子はそのまま流れ去り、平磯前面で滞留するが、取入口のほうに流れた粒子は、取入口で一旦滞留し、波高が小さいときは越流してくる波で巻き上げられ取入口から出ていく確率が高いが、波高が大きくなると取入口を出たり入ったりしているうちにいくつかは平磯上に打ち上げられまた岸方向に運ばれることになる。

2. 2. 5 砂移動

比重2.65平均粒径0.2mm のかなり均一な砂（粒度分布を図15に示す。）を平磯先端に置き、波を当てその移動経路を確かめた。結果は図16のようになる。粒子の軌跡とほぼ一致した流線に沿った流れとなっている。

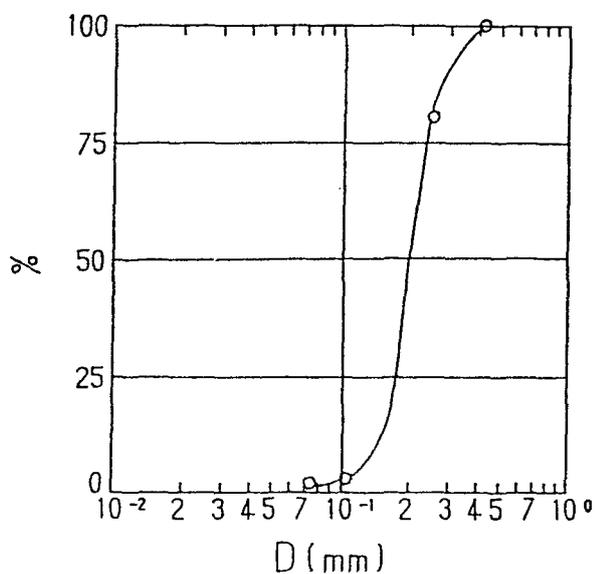


図15 粒径加積曲線

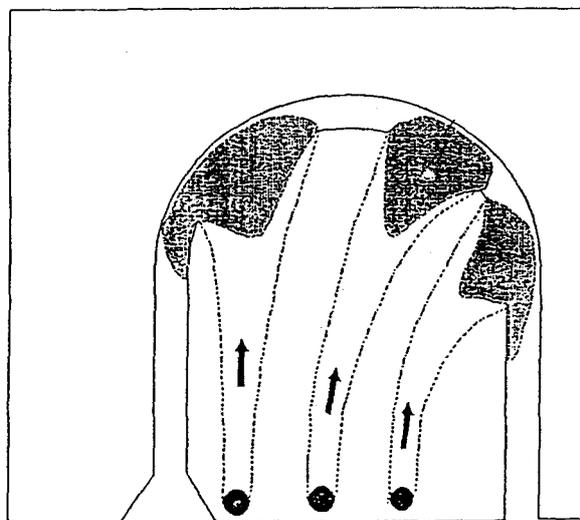


図16 砂輸送経路図

網かけ部：輸送後の位置（ただし最終的な位置ではない。）
 黒ぬり部：砂の初期の位置

2. 3 考察

干潮時と平均水位時では取入口から排出口に向かって流れるため、砂が入るとすれば取入口からである。取入口から入ると流れに乗って溝内を岸の方向に進むことになるが、変動流速が小さくなっていくため、大きい砂から順に堆積していく。もっとも岸に近い位置でも動かされる砂はそのまま排水溝を通じて海に戻るようになる。このような水理状態では、取入口と排出口との距離によ

って堆砂量が決まることになる。つまりこの距離が短いと波のエネルギーに因る乱れが溝全域に及ぶため砂は移動しやすくなるが、この距離が長いとその乱れが及ばなくなる範囲が現れるのでそこに砂がたまりやすくなる。そのため単純化した状態で砂だけを対象とした場合、その底質と波浪条件から砂がたまらない最長の溝の長さは存在すると考えられる。

満潮時は溝内はどちらかといえば冲向きに流れるので平磯上を岸に向かって運ばれる砂が問題になる。砂移動形態としては平磯上を岸近くまで運ばれ、流速の小さい溝にトラップされ堆積することになる。溝近くに存在する砂はすぐ溝に落ちて、そこでの流速により流されるか堆積するかのどちらかになるが、平磯中央を岸近くまで運ばれて溝に落ちると変動流速が小さいので流されにくくなる。実験結果を総合するとどの水位状態でも岸に近い部分は堆積しやすいことになる。そして砂がそこまで運ばれる経路としては、干潮時や平均水位時に取入口から侵入してくる量よりも満潮時に平磯上を運ばれてくる量のほうが圧倒的に多いと考えられるので、その砂をカットすることができれば堆砂量を少なくすることができると思われる。

3. 現地観測

現地観測は3回実施した。第1回目は平成元年7月19日で、干潮時に溝内流速を測定した。第2回目は平成2年10月9~11日で、波高計および電磁流速計を溝内及び平磯上に設置した。第3回目は平成3年10月22~25日で、波高計・電磁流速計の他にフロートを通して平磯上の全体的な流れを測定した。

3.1 第1回現地観測結果および考察

先ず初めに、干潮時にはどの程度の流速が流れているのかを明らかにするために溝内流速を測定した。流速測定には河川流速の測定によく用いられる現場用プロベラ式流速計を使用した。この流速計の測定下限は7 cm/sである。測定位置と測定結果を図17と表1に示す。この時の波高は目視観測によると取入口付近で0.5m程度であった。溝内流速は溝により差異があり、今回2本の溝について測定を行ったが、一方は平磯先端に取入口があり、もう一方は平磯先端より少し岸側に取入口が設けられているという違いがある。その違いが、測定結果に表れたようである。取入口が平磯先端にある溝では、平均して上層で13~16cm/s程度の流れがあるが、他方の溝では上層ですら測定下限以下であった。

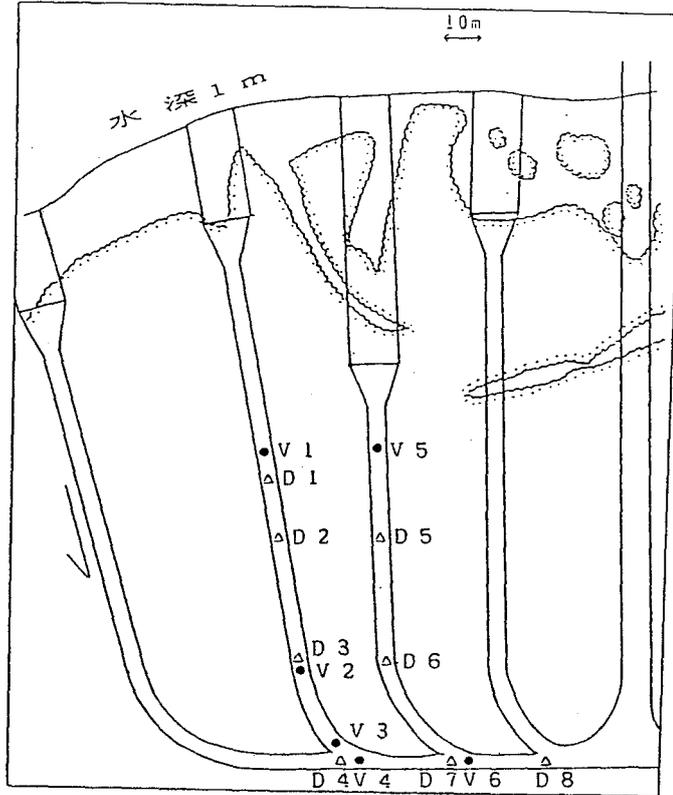


図17 流速測定及び堆砂採取位置
V:流速測定点, D:砂採取点

表 1 流速測定結果

測定位置	流 速	
	上 層	下 層
V 1	14~16cm/s	測定下限以下
V 2	13~17cm/s	〃
V 3	11~17cm/s	〃
V 4	8~11cm/s	〃
V 5	測定下限以下	〃
V 6	8~18cm/s	〃

表 2 ふるいわけ試験結果

採取位置	d_{50} 値 (mm)
D 1	0.27
D 2	0.21
D 3	0.37
D 4	0.68
D 5	0.23
D 6	0.24
D 7	0.31
D 8	0.27

下層においては双方の溝とも流速は測定下限以下で、流れがほとんどないようであった。

堆積している砂について岩手県が行ったふるいわけ試験の結果を表2に、そしてその採取位置を図17に示す。一箇所だけ0.68mmという大きな値が得られているが、その他は0.27mm前後である。この結果からすると場所的な特徴は顕著ではない。

現地観測結果より溝によって流速に差異があるのは、取入口の位置に原因があると考えられる。流速が遅い溝の取入口は平磯先端より少し奥まったところにあり、波が取入口に到達するまでに側壁の岩盤の影響などでエネルギーが減少してしまうため、流入する海水が少ないと考えられる。

ふるいわけ試験の結果を利用し、干潮時に溝内の流速がどれくらいあれば堆積している砂をフラッシュすることが可能かを見積もるため移動限界流速を岩垣の式と等流の式およびManningの式を用いて計算した。対象粒径は d_{50} 値の平均値0.27mmと最大値0.68mmとした。 $d = 0.27\text{mm}$ では限界摩擦速度 $u_{*c} = 1.56\text{cm/s}$ 、 $d = 0.68\text{mm}$ では限界摩擦速度 $u_{*c} = 1.93\text{cm/s}$ となる。そして溝内は波の影響を受けてはいるが、それほど顕著ではなくほぼ平均して流れているので等流と仮定し、Manning式を用いると、平均流速と摩擦速度の関係は以下の式で表される。

$$u = n^{-1} g^{-1/2} R^{1/6} u_*$$

- u : 平均流速
- n : Manningの粗度係数
- g : 重力加速度
- R : 径深
- u_* : 摩擦速度

ここで粗度係数をコンブが最大密生した状態 ($n = 0.093$) と岩盤がむきだしのままの状態 ($n = 0.035$) の2通りで計算すると表3のようになる。この表の見方は例えば、対象粒径0.27mmの砂は溝が岩盤の状態とすると、平均流速12.5cm/sの流速があると底面に対象粒径を流すだけの剪断力が働き、0.27mm以下の砂は移動することを示す。ただしこの計算条件は、合流や曲りを考慮していない。またコンブが最大密生した状態での粗度係数には、以前の現地観測結果から同定されたものを用いたが、どの程度の密生状態かを示す定量的な資料が

ないので不確かな値でもある。そしてコンブのような大型海藻の粗度を用いて底質の移動を計算するのも適切かどうかは疑問であるが、この計算結果からすると平均流速として設計流速（15cm/s）が流れていれば砂は流されることになる。しかし実際は砂は堆積している。現地観測結果からも特に下層は流れていないので砂が堆積するのは当然ともいえる。このことは溝内に設置されているブロックの影響が大きいと考えられる。ブロックは図18のような形状で、U字型ブロックはウニの隠れ家となり、十字型ブロックはコンブの付着基質となっている。これが水流に対してかなり大きな粗度になっていると考えられる。

表 3 移動限界流速

状態 (mm) 対象粒径	コンブ最大密生 $n = 0.093$	岩 盤 $n = 0.035$
0.68	5.83cm/s	15.5cm/s
0.27	4.71cm/s	12.5cm/s

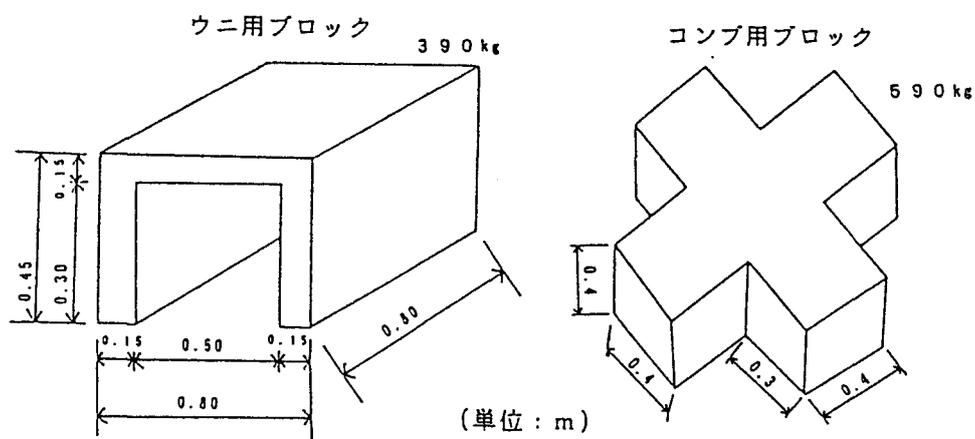


図18 増殖ブロック構造図

3. 2 第2回現地観測結果および考察

第1回目の観測では、干潮時の溝内のみの測定であり、もっとも漂砂の侵入が考えられる満潮時の流況については調査していないので、第2回目には水圧式波高計と電磁流速計を用い観測を行った。設置位置を図19に示す。まず波高分布についてレーリー分布と比較した結果を図20と図21に示す。排水溝の方はレーリー分布に近いが、増殖溝の方は1付近が多くなりレーリー分布からはずれる。これは過去のリーフでの実測でも報告されているが、大波浪が平磯先端で碎波してしまうからである。この結果から増殖溝はリーフ的で、排水溝はリーフ的ではないことがうかがえる。

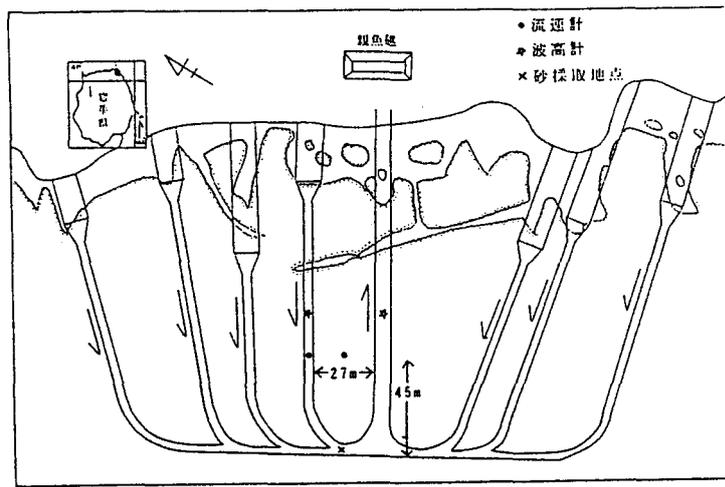


図19 計測位置 (波高と流速)

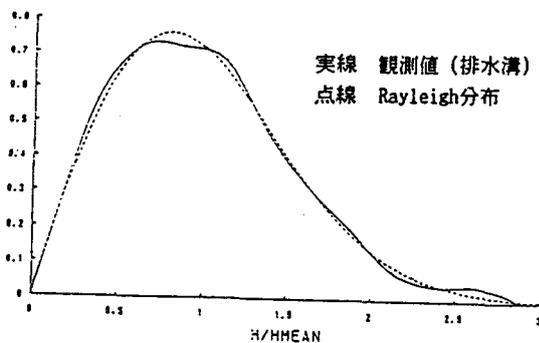


図20 波高分布 (排水溝)

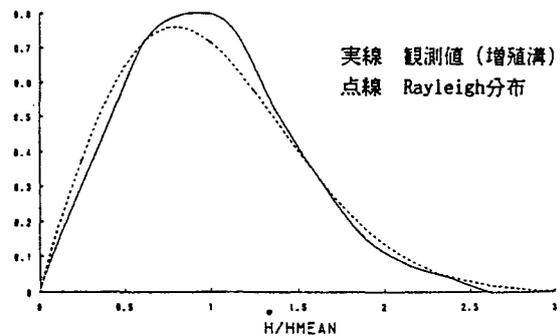


図21 波高分布 (増殖溝)

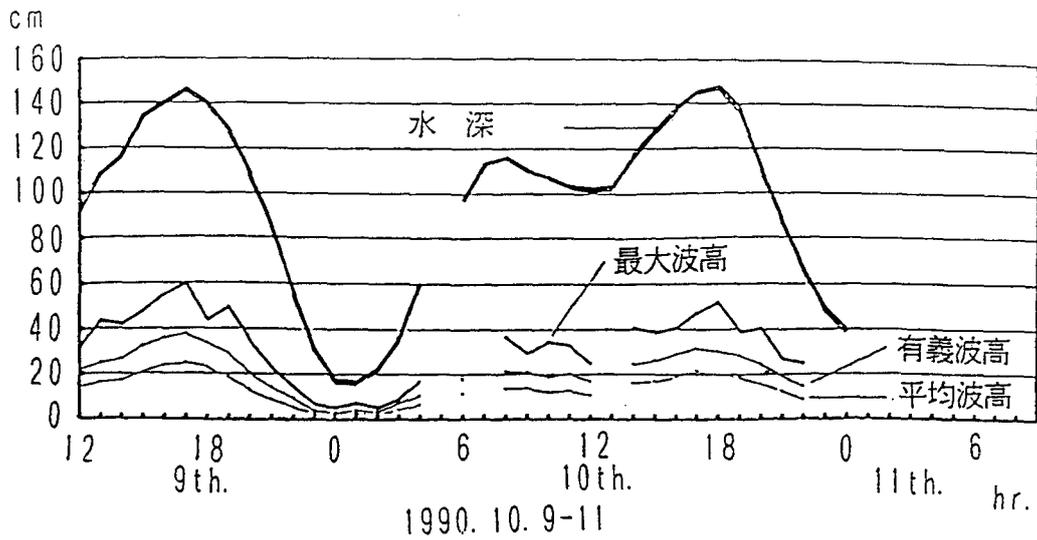


図22 水深変化と波高変化の関係

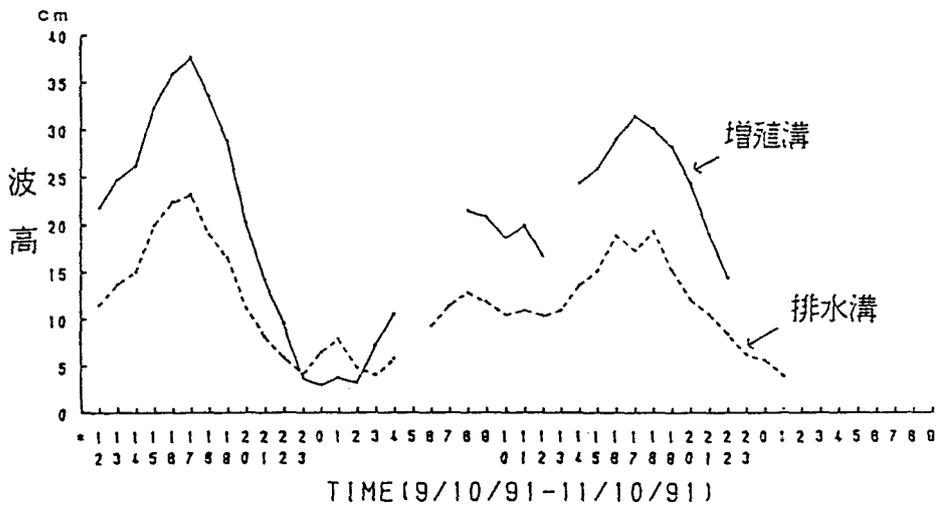


図23 波高変化

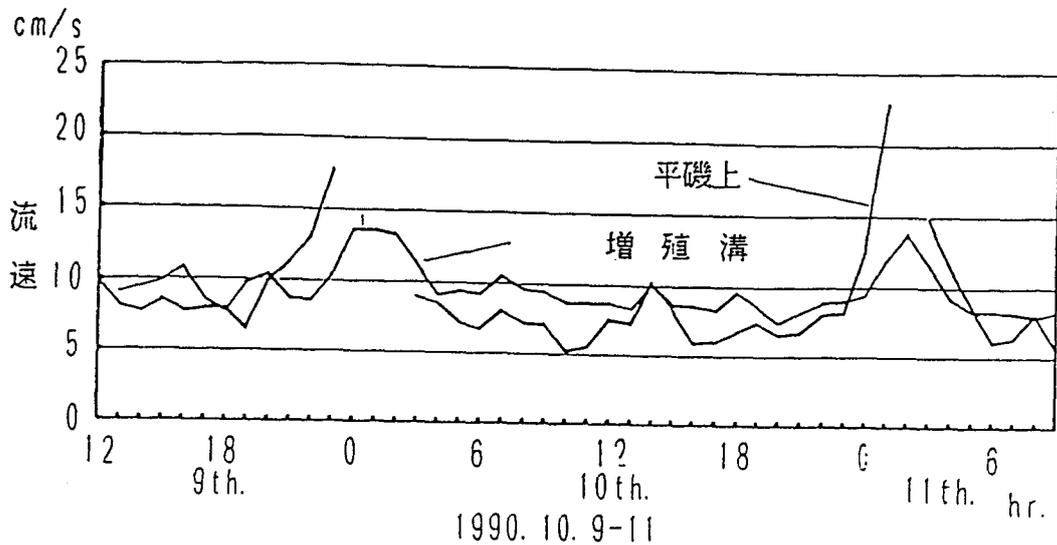


図24 流速変化

水深と波高の関係を図22に示す。図から分かるようにこれらはほとんど比例関係にあるといえる。観測値より波高/水深はおよそ0.2であり、過去に実測された値として沖縄県のサンゴリーフでの実測では0.18が報告されている。

波高の大きさを比べたものが図23である。排水溝の方が小さいのは流出する流れの影響を受けて波高の減衰が激しいからであると考えられる。

それぞれの位置での平均流速を図24に示す。平磯上のデータが不連続になっている部分は干潮時で、流速計のセンサーが干出していた状態である。この図から平磯上でも増殖溝内でも干潮時の方が大きい流速となることが分かる。干潮時以外の潮時では増殖溝がおよそ9cm/s、平磯上が7cm/sであった。特に平磯上は水深80cm以上あれば流速が7cm/sであった。その流向は90%以上が排水溝に流れ込む方向（南向き）であった。増殖溝の方は干潮時には溝に沿って流れることはいうまでもないが、満潮時には若干南に傾く。これらのことから、水理模型実験で得られた、平磯上の水塊は溝に流れ込む現象に加えて、沿岸流系統の流れが存在していると推察された。

3.3 第3回現地観測結果および考察

第2回の現地観測では、オイラー的な流れしか測定されず、なおかつ測点が少なかったため、平磯上全体の流れを把握するには至らなかった。よってラグランジェ的に流れを測定するため、ほとんど海底に接しながら流される中性浮力より少し小さいフロート球に、水深とほぼ等しい長さの細いロープを付け、もう一方の端に目印の旗を付けた小さいフロート（水面に浮かぶ。）を付けたもの（図25）を流し、それをトランシットで追跡することにより流れを測定した（満潮時と上げ潮時）。さらに電磁流速計を平磯上（図26の○印）と排水溝（図26の×印）に設置し、波高計を平磯沖（水深約7.5m）と排水溝（図26の×印）に設置した。

図26と図27にフロートにより測定した流況を示す。図26は満潮を挟んで90分間で測定した結果である。平磯上の平均水深は約1.2mである。図27は干潮時から上げ潮時の2時間で測定した結果であり、その間平磯上水深は0.5~1mに変化

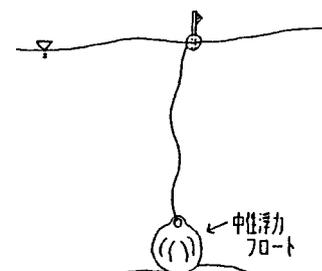


図25 中性浮力フロート

した。図26から分かる様に満潮時は、ほぼ南下流（沿岸流と考えられる。）が

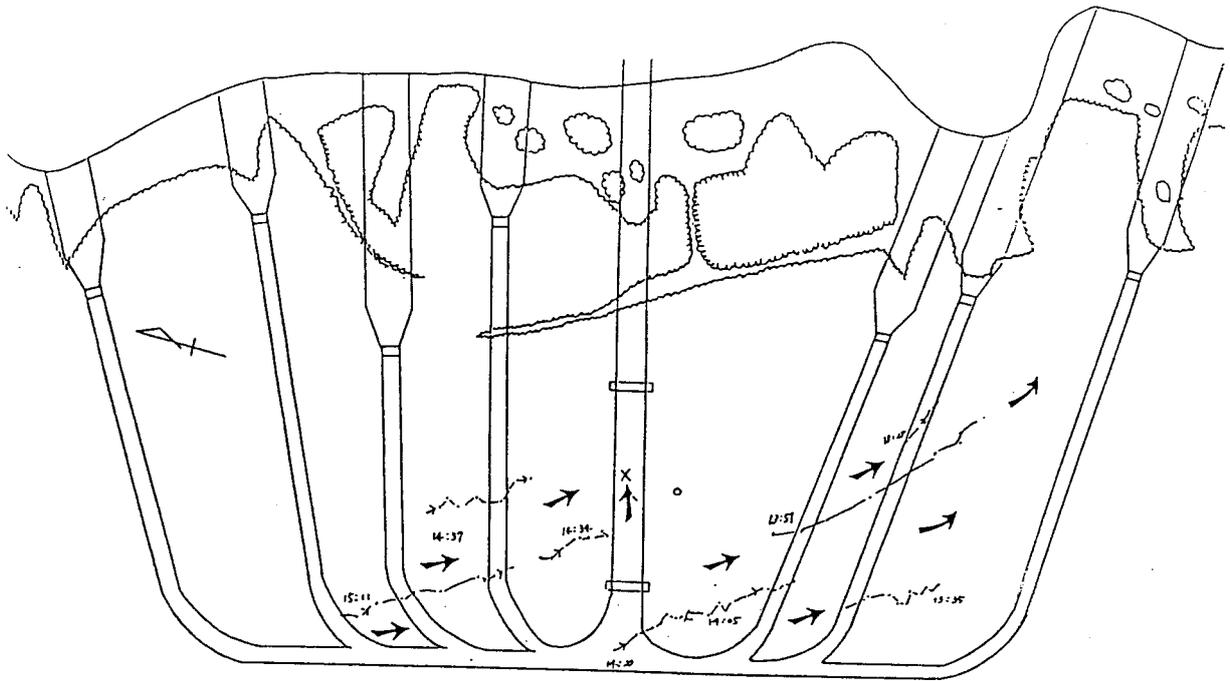


図26 フロート流跡図 (満潮)

10 m

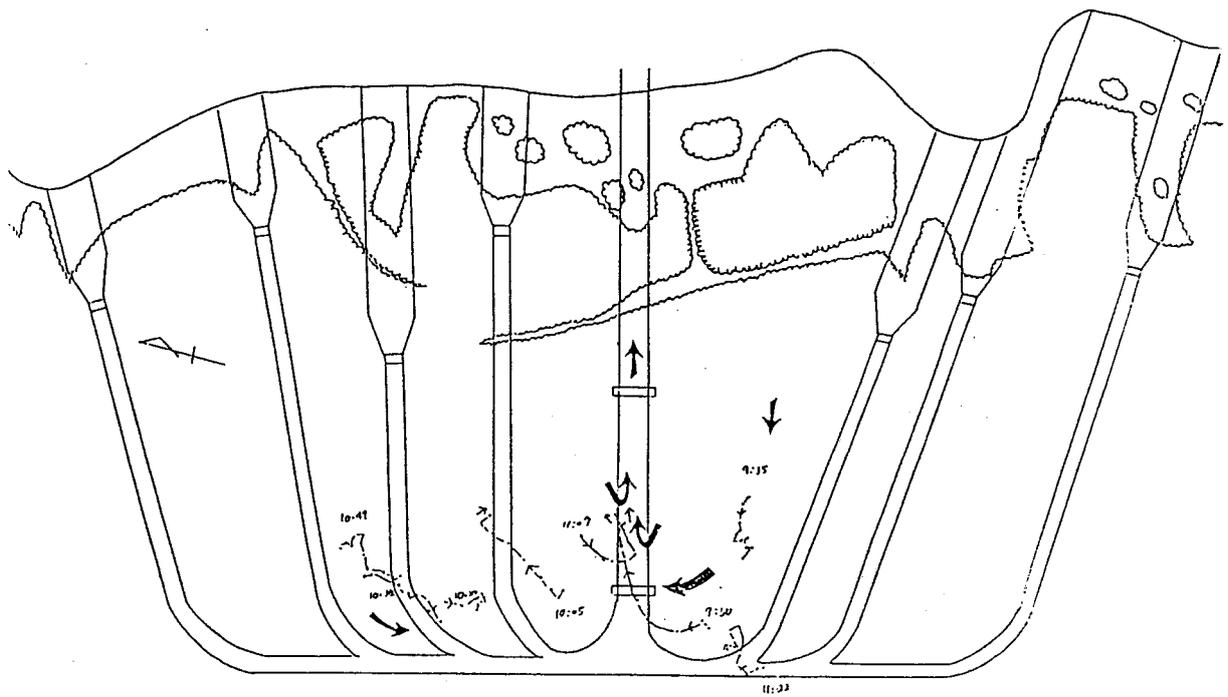


図27 フロート流跡図 (上げ潮)

10 m

卓越し、フロートは増殖溝を横切って南下していく。しかし排水溝は横切ることができず、そこで流向を東に変える。一般に珊瑚礁などのリーフに亀裂（リーフギャップ）などが存在すると、そこはリーフ先端での碎波によって誘起された岸向きの流れが、沖に流出する出口となっていることが知られている⁵⁾。そのような現象が平磯上に築かれた排水溝のような小さい規模のものでも発生していることが分かる。この現象は、水深が浅くなる上げ潮時にもっとはっきり現れる。図27より排水溝周辺フロートは排水溝に向かっているのが良く分かる。また排水溝の南側の平磯上では平磯先端部での碎波により発生したと考えられる岸向きの流れが現れている。この2点に関しては単純化した水理模型実験結果と一致する。つまり基本的な水理構造が現れていると考えられる。平磯上の平均流速は3～8 cm/sであった。電磁流速計で得られた排水溝の流速ベクトルを図28に示す。排水溝は潮位に関係なく常に沖向きに流れ、満潮時で2～4 cm/s、平磯が干出する低低潮時では20 cm/s以上となる。増殖溝は海水取入口が沖向きの流れを妨げる構造のため、排水溝の様に沖向きの流れは発生していない。また規模が小さいことも要因であろう。堆砂に関しては周年の調査が必要であるが、あえて今回の調査から堆砂機構について考察すると、漂砂は平磯先端での碎波により巻き上げられ、発生した向岸流によって平磯上に補給され、岸方向に輸送され、更に平磯上水深が大きくなる満潮時には沿岸流によって岸沿いに輸送されながら、流れが遅く、かつ乱れの小さい増殖溝に落ち込んで堆積すると考えられる。

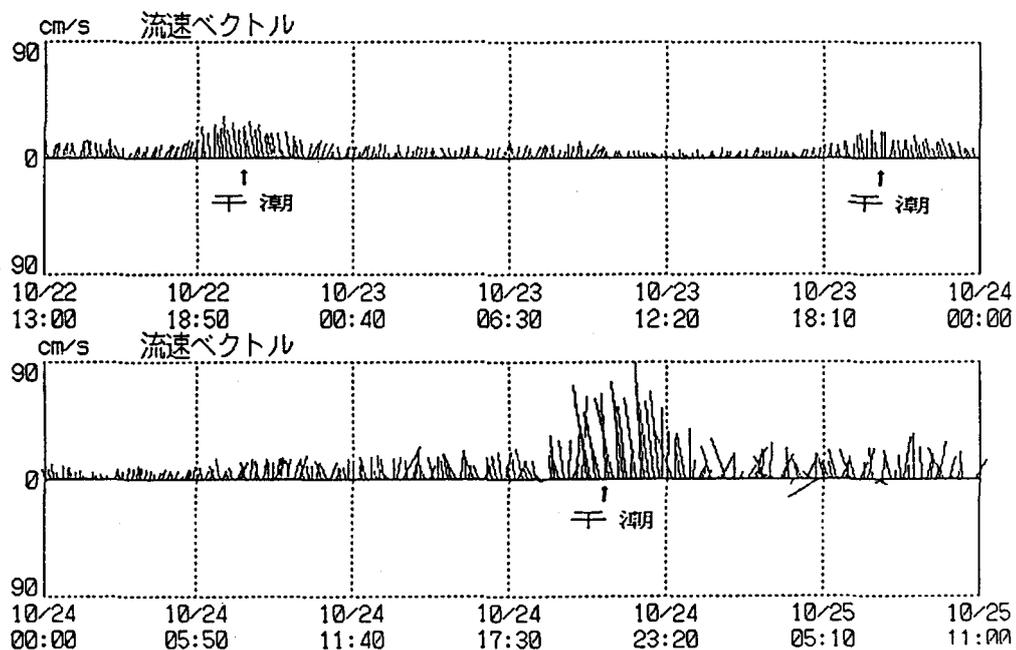


図28 流速ベクトル時系列（排水溝）

4. 堆砂対策

以上実施してきた水理模型実験や現地観測から平磯上を運ばれてくる漂砂の侵入を阻止することが重要であると考えられる。そこで堆砂を少なくする手段として、平磯上に増殖溝と直角に漂砂のトラップ用の溝を掘削するか、またはブロック障壁を設けることにより平磯上を岸に向かって運ばれてくる砂をカットすることを考えてみた。その概念図を図29に示す。その効果を検証するために図30に示した模型を製作し、実験を行った。実際に砂を用いて実験を行ったが、相似則や粗度の関係で定量的に効果を判定することは出来なかったが、定性的に二三の知見が得られたので以下にまとめる。

まず漂砂トラップ用の溝の岸沖方向の位置については、平磯の先端部に近い（Aの位置）と一度堆積した砂が、波による乱れのために再び巻き上げられ、溝を越えて岸側に輸送されてしまうので効果はない。

もっとも効果があると考えられるのは、現在堆積している部分（模型ではCの位置）にポケットのような形（図31）に、深い溝を設けることである。そうすることにより堆砂撤去の間隔が伸び、実質経済的になると考えられる。

また新たに増殖溝を造成する場合は、その溝がトラップ用の溝とならないために、満潮時の既存の流れに直角にならないようにすることが重要である。

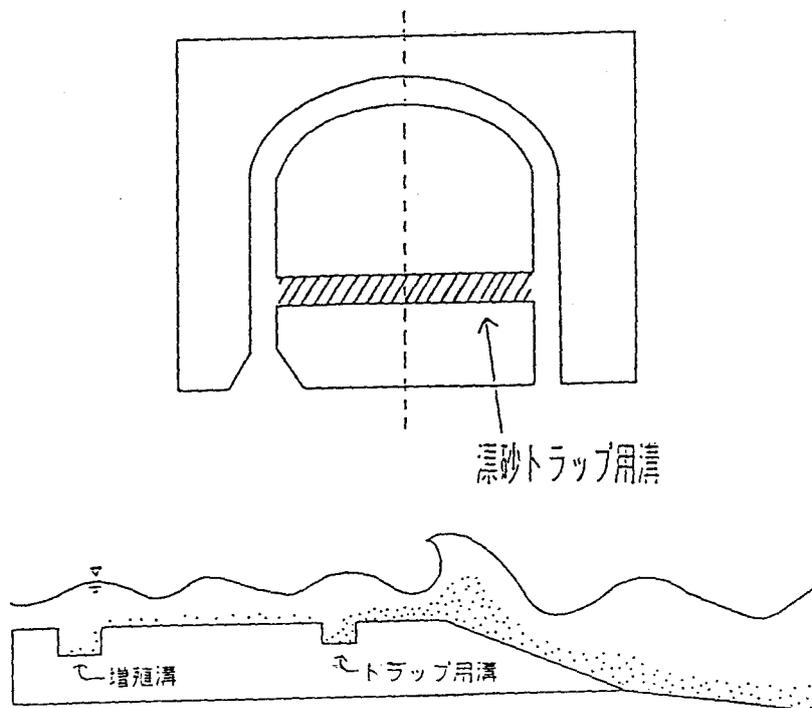


図29 堆砂トラップ用溝

5. 結言

三年間、調査と実験を行ったが、明解な解決策は建っていないのが現状である。砂が溝の岸側全域に堆積している事や実施した調査から考えて、漂砂は平磯上のある特定の場所から侵入してくるのではなく、全体的に運ばれてくると推察される。そのためそれらを完全に止める事はほとんど不可能であろうと考え、堆積分布域を縮小したり、堆砂撤去の間隔を長くする方策を求め研究を進めてきた。その点で現在の知見から考えて堆砂ポケットがよいということができるが、その規模や効果的な位置などについては明らかに示すことができなかった。

最後に漁場としての機能を持続的に発揮させるには、使用者の維持・管理が重要である事を附記しておきたい。

謝辞 現地調査を実施するに当たり、岩手県林業水産部漁業振興課と種市漁業協同組合の方々にご協力戴いた事に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中村 充・乃万俊文：波浪エネルギーによる海水導入に関する研究，農業土木試験場報告，第15号，pp.87-97,1977.
- 2) 例えば高山知司・神山豊・菊地治：リーフ上の波の変形に関する研究，港湾技研資料，No.278，pp.1-32,Sept.1977.
- 3) 山本正昭：リーフ上の波および水位に関する実験的研究（I），水産工学研究所技報（水産土木），第8号，pp.131~148,1987.
- 4) 宇田高明・谷本修志・坂野章・高木利光：リーフ上およびリーフギャップ周辺におけるサンゴ片の移動機構，海岸工学論文集 37, pp.215-219,1990.
- 5) 谷本修志・宇多高明・高木利光：リーフの筋目模様から予見された流れの数値計算による検証，海岸工学論文集，第36巻，pp.229-233,1989.

発表文献

- ・藤原正幸・久保 敏：平磯上に造成された増殖溝の砂移動に関する基礎的研究，水産工学研究所技報（水産土木），pp.25-36,1991.

- ・ 藤原正幸・久保 敏：平磯上に造成されたウニ増殖溝の流況観測と模型実験，平成3年度農業土木学会大会講演会講演要旨集，pp.280-281,1991.
- ・ 藤原正幸・久保 敏：増殖溝が造成された平磯上の水理構造，平成4年度日本水産工学会学術講演会論文集，pp.19-20,1992.