

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

誌名	水産工学研究所技報. 水産土木
ISSN	03892344
巻/号	13
掲載ページ	p. 25-35
発行年月	1991年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



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

藤原正幸*・久保 敏*

目 次

1. 緒言	25	4. 考察	29
2. 現地観測	25	5. 結言	34
3. 水理模型実験	26	参考文献	34
3.1 模型と実験条件	26	Summary	35
3.2 結果	27		

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北海道や岩手県などで造成され、ウニやアワビの増殖に利用されている。図1は今回現地調査を行った岩手県種市町の増殖溝平面図である。この施設は、満潮時に海面下に没し、干潮時には干出する平磯に造成されたものであり、それまでは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、種市町全体のみた場合、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。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 d_{50} 値で0.21~0.68mm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。そこで、今回はその第一段階として、砂移動を引き起こしている平磯上の水理構造を把握することを目的として、現地観測および水理模型実験を行ったのでその結果について報告する。

2. 現地観測

平成元年7月19日(最干時)増殖溝内流速の現地観測を実施した。流速測定には河川流速の測定によく用いられる現地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7cm/sである。測定位置と測定結果を図3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。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3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周辺である。この結果からすると場所的な特長は顕著ではない。

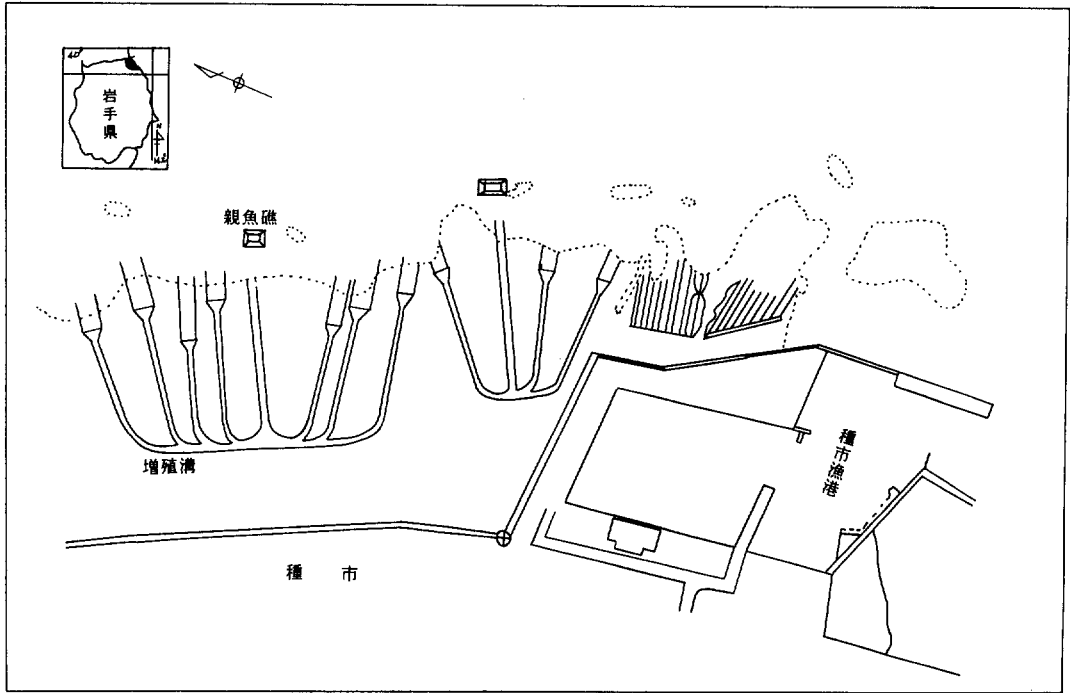


図1 増殖溝平面図

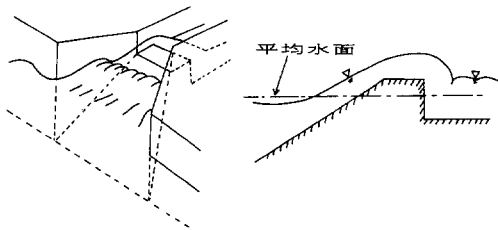


図2 増殖溝取水口

3. 水理模型実験

3.1 模型と実験条件

この施設的设计指針の基となっている実験は最干潮時を仮定し、取入口のみを取りだして设计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。そして平磯上にこのような溝が掘削された場合、水理構造はどう変化するかということもあまり解っていなかった。そこで図4に示すように形状を理想化した水理模型を水産工学研究所増養殖水理実験棟内小平面水槽に製作して、波高と水位をパラメータとした実験を行っ

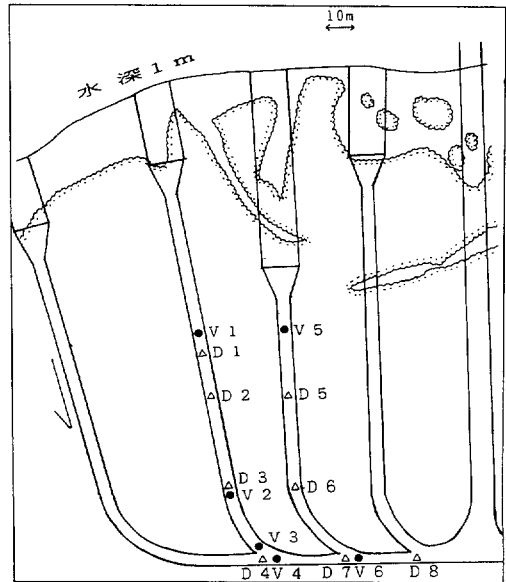


図3 測定位置

た。縮尺は1/10とした。波高は4種類(3.8cm, 5.4cm, 7.6cm, 9.7cm), 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

表1 流速測定結果

測定位置	流 速	
	上 層	下 層
V1	14~16cm/s	測定下限以下
V2	13~17cm/s	"
V3	11~17cm/s	"
V4	8~11cm/s	"
V5	測定下限以下	"
V6	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

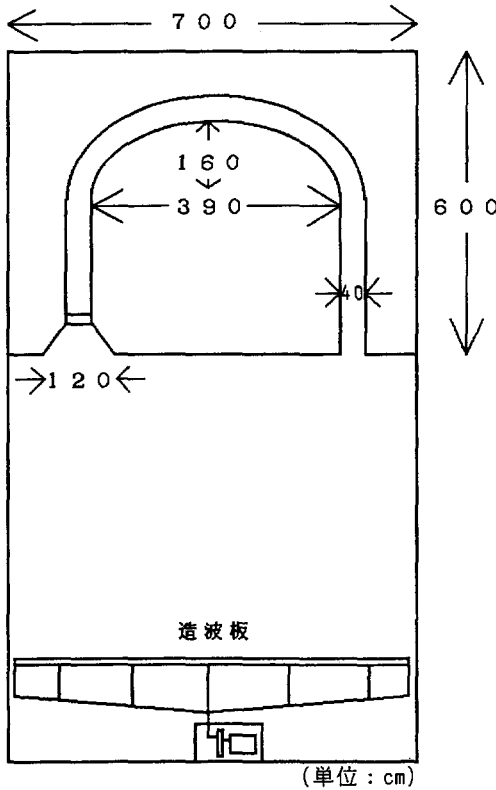


図4 水理模型

模型の平磯下6cm, 平均水位時は平磯下2cm, 満潮時は平磯上3cmとした。流速および波高測定点を図5(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、フロッピーディスクに格納した。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平均して入射波高を計算し、設定波高になるよう

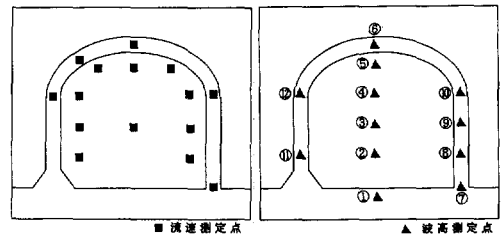


図5 (a) 流速測定点 (b) 波高測定点

に造波板のストロークを調整した。

3.2 結果

3.2.1 平均水位 (満潮時)

平磯中央と排水溝での平均水位を図6(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7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。

3.2.2 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8(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9に示す。平磯先端部で波高が高くなり、砕波し、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

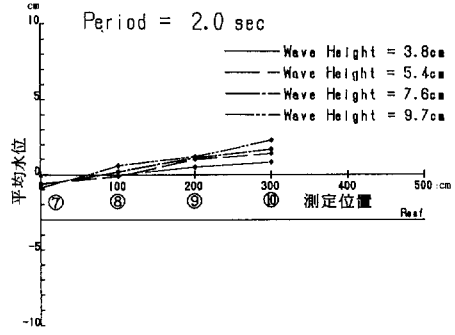
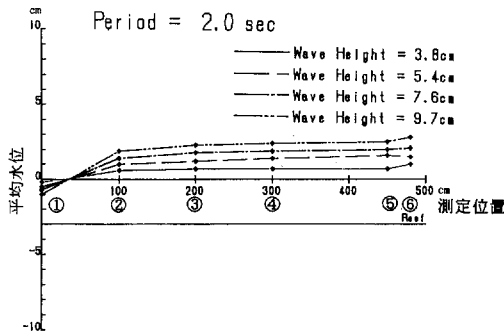


図6(a)(b) 平均水位

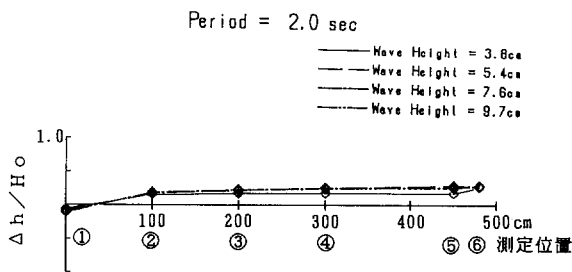


図7 平均水位上昇量 Δh と沖波高の比

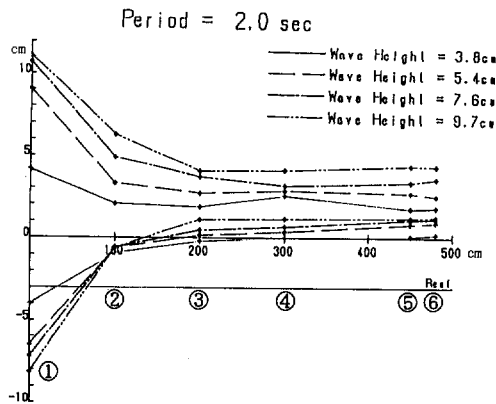


図8(a) 平磯中央での波の峯と谷の包絡線

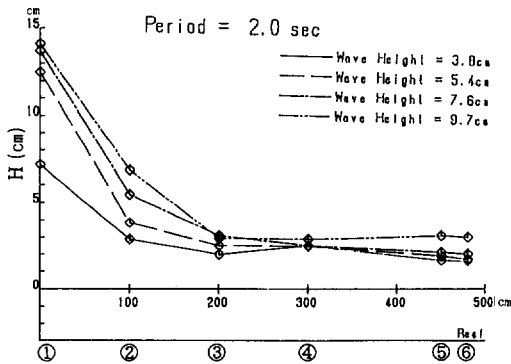


図9 波高分布 (平磯中央)

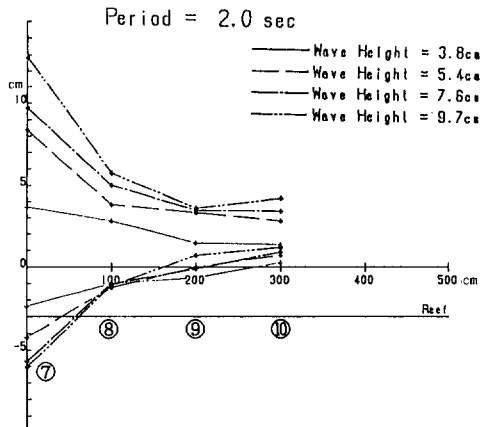


図8(b) 排水溝での波の峯と谷の包絡線

トしたのが図10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11に示した。その比は0.3~0.4になる。

3.2.3 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12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、細かい変動が多き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。この図から解るように溝内流速は各水位とも岸に

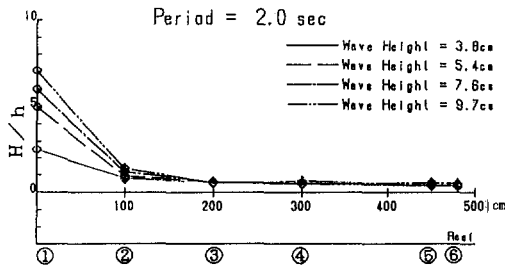


図10 水深と波高の比

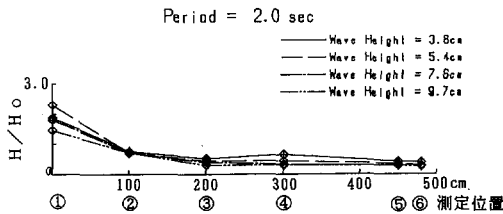


図11 沖波高とその位置での波高の比

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。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解った。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。

(2) 平磯上での流況

平磯上での1周期の流速変動を図13(a)~(d)に示す。またその平均を図14(a)~(d)に示す。溝内は底から1cmと8cm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他に取入口からの反射波の影響もある。また波高が小さいと取水溝付近の平磯上は沖向きに流れるが、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。

3.2.4 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15(a)~(d)である。図から解る様に波高が大きくなるほど

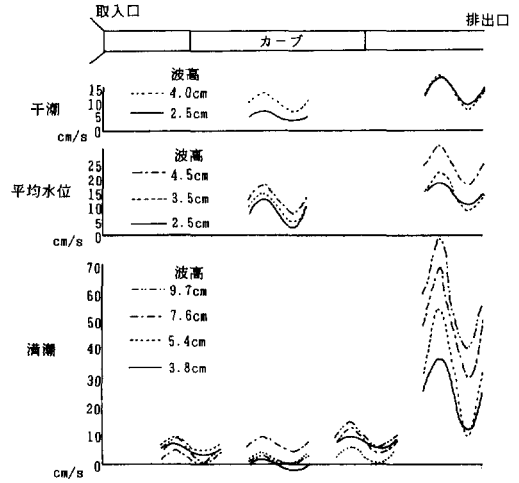


図12 溝内流況

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。

3.2.5 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16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17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。

4. 考察

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

Wave Height = 3.8 cm
 Period = 2.0 sec
 10cm/sec →

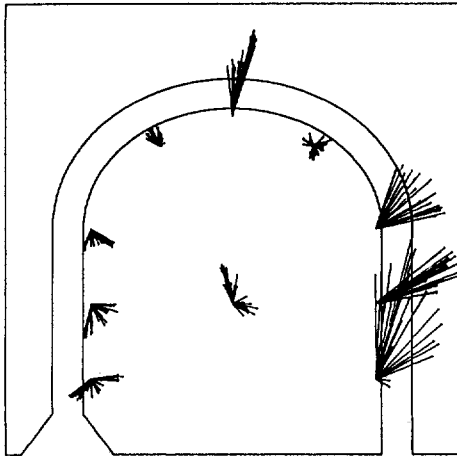


図13(a) 流速変動

Wave Height = 5.4 cm
 Period = 2.0 sec
 10cm/sec →

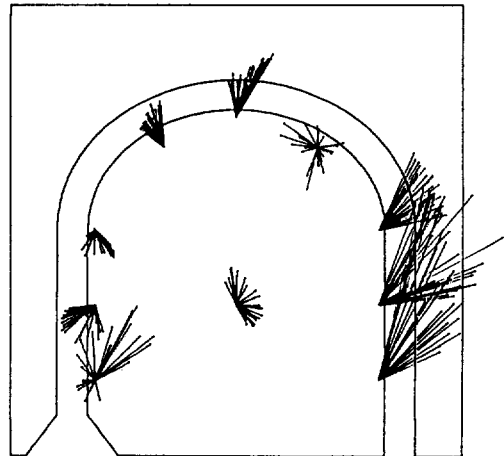


図13(b) 流速変動

Wave Height = 7.6 cm
 Period = 2.0 sec
 10cm/sec →

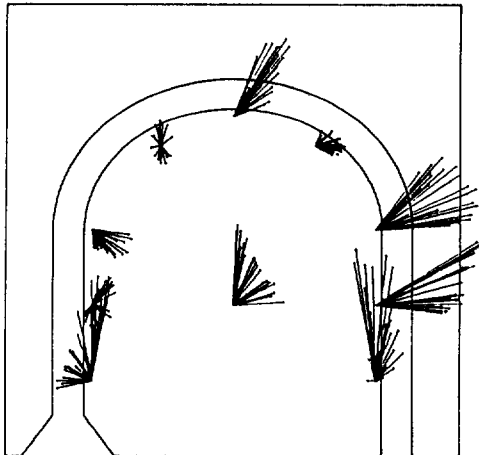


図13(c) 流速変動

Wave Height = 9.7 cm
 Period = 2.0 sec
 10cm/sec →

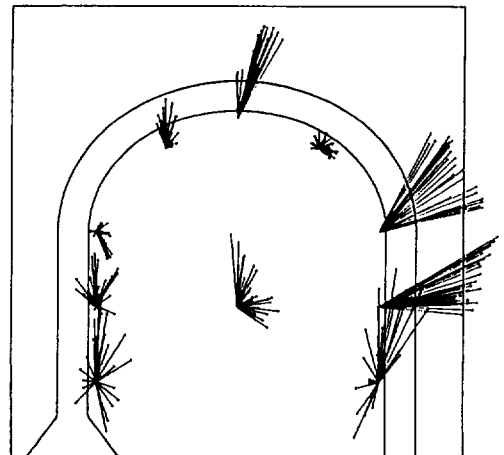


図13(d) 流速変動

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ので、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できるか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

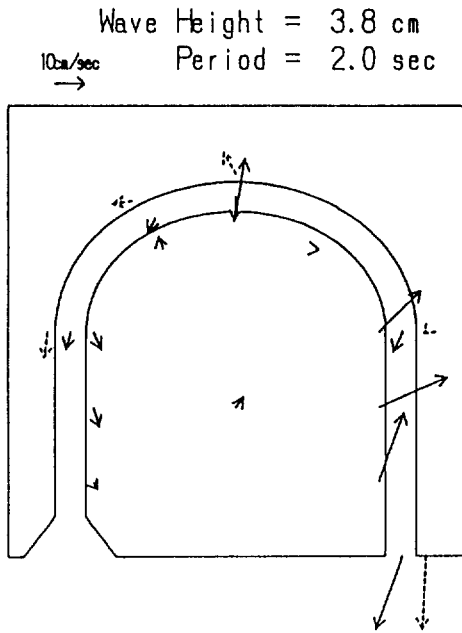


図14(a) 平均流速

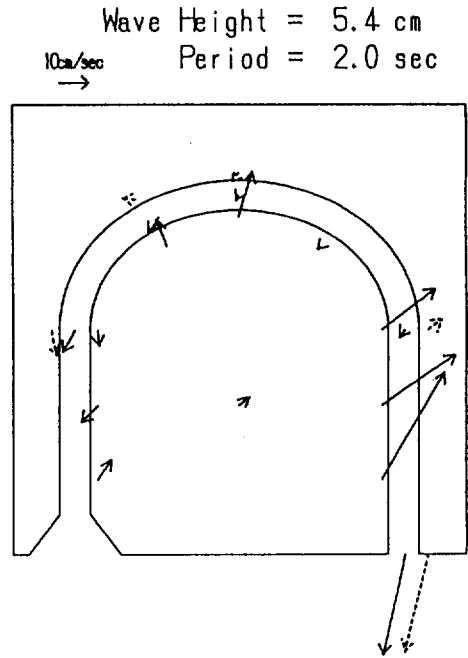


図14(b) 平均流速

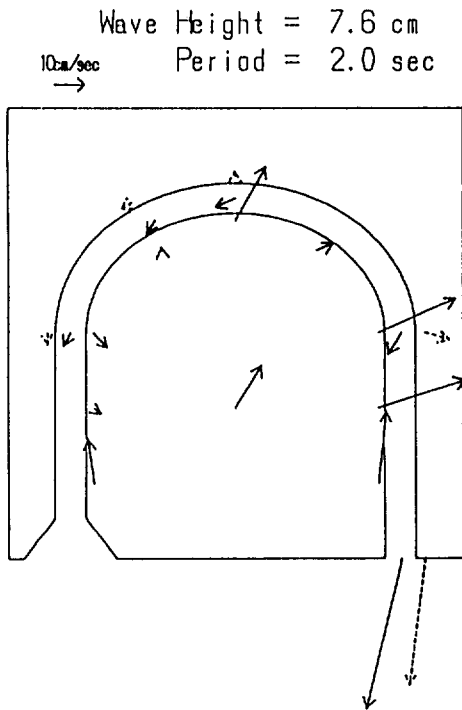


図14(c) 平均流速

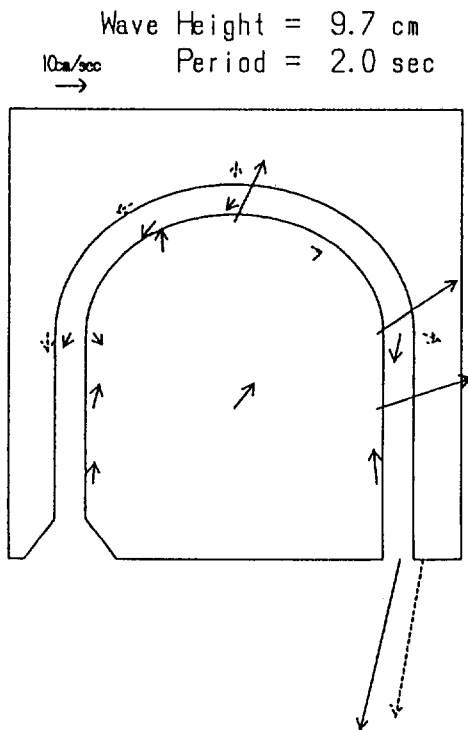


図14(d) 平均流速

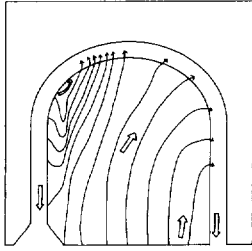


図15(a) 粒子の軌跡 (波高3.8cm)

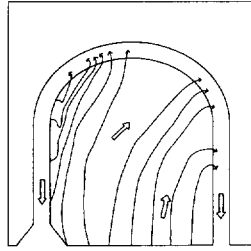


図15(b) 粒子の軌跡 (波高5.4cm)

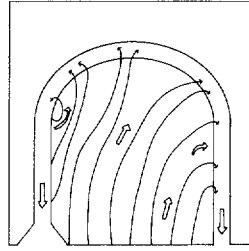


図15(c) 粒子の軌跡 (波高7.6cm)

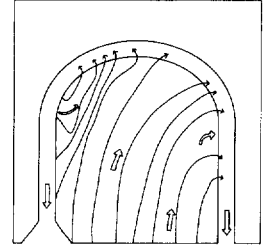


図15(d) 粒子の軌跡 (波高9.7cm)

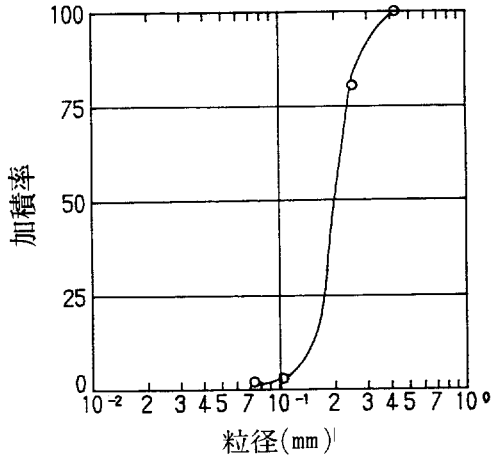


図16 粒径加積曲線

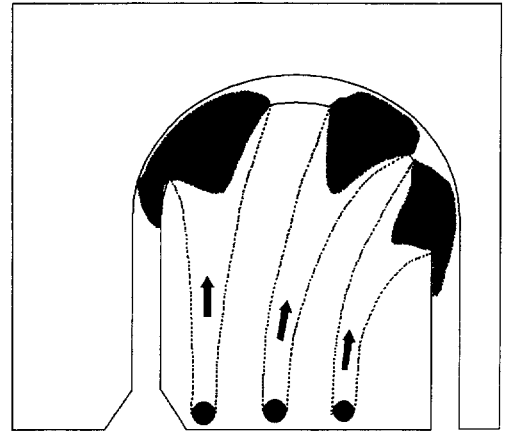
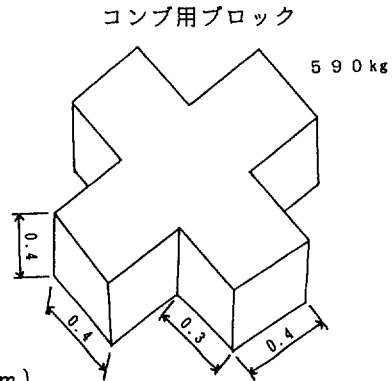
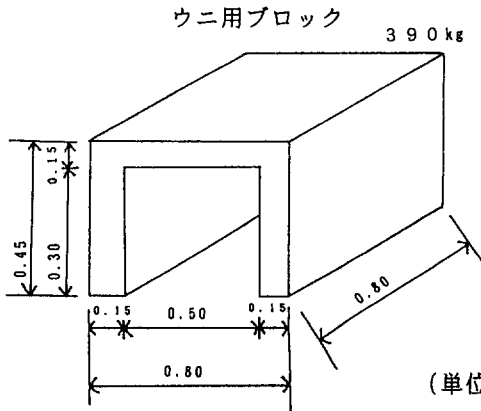


図17 砂移動経路図



(単位: m)

図18 増殖ブロック構造図

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

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ため目安にしかない。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。しかし実際には砂は堆積している。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のではないかと考えられる。しかしこのブロックを取り去り設計流速を流そうとすると砂は確かにフラッシュされるかもしれないが、今度は生物側(ウニ)から制限が課せられる。ブロックにより形成されている後流域や付着表面積の増大という生物側からの好条件がなくなるからである。漁場管理からの要求と生物側からの要求とのジレンマである。どちらを優先するかは投入される労働力と漁獲金額との割合を考えなければならない。しかしいずれにせよ侵入してくる漂砂を少なくするということは、堆砂を撤去する回数が減り経済的になり、また自然の力を利用して砂をなるべく1カ所に集積させるということは堆砂の分布範囲を狭くし、撤去費用において経済的になる。以上のことを考慮し、堆砂量の減少と分布範囲の縮小の二方向で、研究を進めている訳である。

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、流速変動も流速も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(流速と変動が最小)でも動かされる砂はそのまま排水溝を通じて海に戻ることになる。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

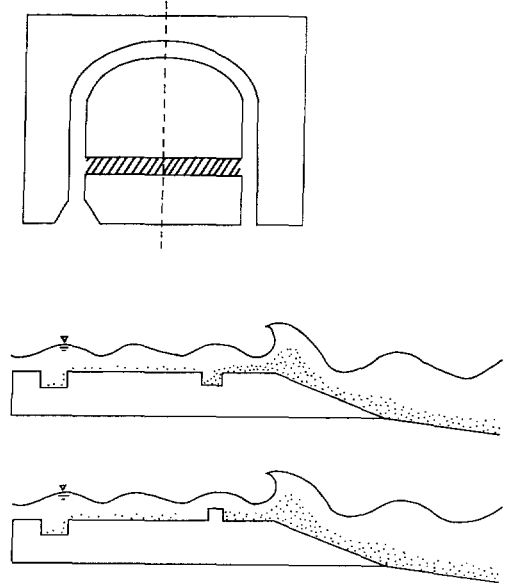


図19 漂砂侵入阻止概念図

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。だから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。

満潮時は溝内は沖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流速が小さいので流されにくくなる。今までの知見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で堆砂量を少なくすることができると考えられる。堆砂を少なくする手段として現在考えている構造は、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ということである。その概念図を図19に示す。今後その効果について実験を行う予定である。

残された問題点としては、以下の3点が考えられる。

(1) 今回の実験は、かなり理想化した状態(沿岸流はなく、波は正面から入射)と形状での結果であるということには留意しなければならない。

(2) 平磯前面の傾斜は、海底から平磯上に這上がる砂の量に影響を及ぼすと考えられるが、実験では垂直にしているので平磯上に運ばれるまでの砂の挙動については解明されていない。

(3) 自然はいつも不規則であるので、時化などの状態も考慮し、砂の動的な堆積過程を解明しなければならない。

5. 結言

実験より満潮時には、海水は平磯上を岸に向かって進行し、その間に溝に落ち、沖に戻るという水理構造があることが解った。砂もその流れによって運ばれてくる。またどの水位状態(干潮、平均水位、満潮)でも溝内の流況は岸に近い位置のほうが、沖に近い位置に比べ波の影響が小さくなるので流速も流速変動も小さくなり、砂が堆積しやすくなることが解った。

増殖溝にはソフト(生物)側からとハード(施設)側からと、いろいろな制約が課せられ、そのうえそれらは正反対であることが多い。そのため最終的に利益が集約する人間にとって最適な環境を増殖溝内に創造する必要がある。

現地観測を行うにあたり、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御協力を戴いたことに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中村 充：水産土木学，工業時事通信社，pp. 295～302, 1979
- 2) 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
- 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，水産工学研究所技報水産土木，第8号，pp.131～148, 1987
- 4) 土木学会：水理公式集，p. 222, 1985

A Basic Study on Sand Transport in Farming Ditches Constructed on Wave-Cut Bench

By

Masayuki FUJIHARA and Satoshi KUBO

Summary

The ditches which utilize the wave energy for the seawater exchange have been made on intertidal wave-cut benches to create suitable grounds for sea urchins and abalones.

However in some places, the problem have turned up that drift sand has deposited in them. Hence, research on how to reduce the sand transported from sea, was been carried out accordingly.

As a first step toward this goal, field investigation in TANEICHI Town, IWATE and hydraulic model experiments were done, and some basic phenomena on the bench under wave action were obtained. Some remarkable results are as follows.

- 1) At any sea level, minimum velocity and fluctuation appear at the nearest part of the ditches to the coast. So it is considered that sand is most accumulated in that part.
- 2) At high tide, flow direction on the bench is ashore and in the ditch is offshore. Therefore the sand on the wave-cut bench is transported toward the coast.