

## 浅海域の底生生物に対する環境改善を目的とした海底地形改善法

Improvement of sea bed condition using grid fence.

小野正順\*・出口一郎\*・榎木 亨\*

Masanobu Ono, Ichiro Daguchi, Toru Sawaragi

A new procedure for improving sea bed condition using a gridfence is proposed. The grid fences set on the bottom covered by sapropel has a function to flow down the sapropel by creating local scouring around them and improve sea bed condition into a favorable one for the growth of benthos.

The mechanism of local scouring and the shape of the local scouring are investigated through two dimensional experiments using wave and current. The maximum local scouring depth is expressed by the unique function of Shield's number.

Keywords : Vertical grid fence , Local scouring , Improvement of sea bed condition.

## 1. はじめに

浅海域の海浜や干潟は、稚魚の中間育成の場として近海の水産資源の供給源となっていると共に、貝類・甲殻類など生態系の低次の消費者の生活の場として生態系の豊富さを左右する重要な海域である。しかし、これらの海域は、生活污水や工場排水などの各種産業廃棄物によって水質・底質が汚染されており、これらが浅海域における生態系を貧弱なものとしている。従って、生産性の高い生態系の豊かな海に改良するためには、浅海域の海浜や干潟の水産生物にとっての環境改善が必要である。

一般的に、水産生物は、多量の卵を生むが成貝・成魚まで成長するものは少ない。従って、水産生物の生態を明らかにし、減耗の多い時期と減耗される原因を明らかにすることで増・養殖場の規模と環境改善方法を計画的に進めていく必要があり、より効率的かつ合理的な増・養殖場の造成計画が求められている。近年では、対象とする水産生物の生態に着目した増・養殖場施設の造成が行われている。

本研究では、海底に堆積する腐泥の除去を主目的とした洗掘促進工法について検討を行った。洗掘促進工法は、腐泥で覆われた海浜や干潟に構造物（格子フェンス）を設置することにより、構造物周辺で局所洗掘を発生させミオ筋を形成させると同時に、その下流側には腐泥が除去された底質砂による堆砂領域を形成させる底質改善法の1つである。また、海底地形に凹凸を形成させ、貝類や稚魚にとって好環境であるバー・トラフ地形を人工的に形成させる海底地形改善法でもある。海底地形の形状は、各々対象生物により理想環境地形が異なるため、目的とする地形を造成するには洗掘促進工による地形変化特性を予測しておく必要がある。また、このような水産生物に対する環境改善法は、単一の構造物によって局所的に行ってもあまり意味はなく、ある程度広い範囲を平面的に改善していく必要があることは言うまでもない。本研究では、まず波動場、往復流場及び波・流れ共存場において単体で設置された格子フェンス周辺で生じる地形変化特性について実験的に明らかにするものである。また、格子フェンスに生物が付着した場合を想定して、不透過フェンスによる実験も行っている。こうした格子フェンスを用いた洗掘促進工法による海底環境の改善は、既に全国で7,8ヶ所で試験施工が行われており、地形変化に関する観測結果があるため、その結果と本実験結果との比較も行った。これらの実験結果は、洗掘促進工の効果的な平面配置を考える際の基礎資料となるものである。

## 2. 底生生物の生態と増・養殖場造成工法の例

ここでは、本工法が対象とするアサリとヒラメの life cycle と、それらの中間育成場として望まれる環境について簡単に述べておく。

## 2.1 アサリ

(a) アサリの生態<sup>1)</sup>

アサリは年に2回（春と秋）の産卵を行う。受精卵は1日でふ化し浮遊幼生となり、2～3週間の浮遊幼生期間の後、約0.2mmの大きさで着底し沈着稚貝となる。その後0.3mm程度で潜砂能力を持ち、出入水管が機能し始めるのは殻長2mm以上になってからで、この時期でほぼ成貝と同形態となる。アサリは濾過食性であり、餌は珪藻類その他デトリタスなどである。その後の成長速度は、底質・水質環境によって左右される。アサリの生態のうち最も減耗の多い時期は着床してから成貝に発育する過程である。着床する密度は、1m<sup>2</sup>当たり数千個にも達することが報告<sup>2)</sup>されており、かなり広い範囲で十分多くの浮遊幼生が沈着すると考えられる。着床してから大量に減耗する原因としては、次のようなことが挙げられる<sup>3)</sup>。

\* 正会員 大阪大学 工学部 土木工学科 (〒565 吹田市山田丘2-1)

- ・貝の比重が底質砂より小さいため一時的な強い流れや波浪により集積され窒息死する場合
- ・夏期の高水温や冬期の低水温、河川水や降雨による海水の淡水化などによってアサリの活力が低下し濾過機能が低下することで、腐泥などにより呼吸機能に障害を生じてへい死に至る場合

流れや波浪の激しい場所については離岸堤や突堤などの海岸構造物で制御できるが、静穏な水域で水質や底質を改善することはかなり困難である。

#### (b) アサリの増・養殖場造成法

アサリの減耗や成長には、上述したように海底環境が大きく影響する。従って、アサリの増・養殖場は、底質の改善即ち腐泥の除去を中心に行われている。具体的には削土や客土、耕うん、作れいなど<sup>4)</sup>が行われているが1年程度で再び腐泥に覆われるために効果が長続きしていない。また、作れい工でミオ筋などを造成したが、腐泥がミオに溜まり赤潮の原因となった例<sup>4)</sup>も報告されている。このように底質環境の改善はかなり難しい。

### 2.2 ヒラメ

#### (a) ヒラメの生態<sup>5), 6)</sup>

ヒラメの産卵期は、5～6月である。この時期ヒラメの成魚は、沖合いから浅海に接岸し、水深20～60mの潮通しの良い場所で多数回産卵する。産卵受精された1mm程度の浮遊性卵は、産卵後2,3日でふ化し浮遊稚魚となる。その後、波や流れによって分散されながら、卵黄を吸収するのに4,5日かかり、ふ化後20日(体長9mm)頃から変態を始め20日間で完了し、底棲稚魚期(体長17mm)に入る。底棲稚魚期まで成育した稚魚は、かなりの数が成魚まで成長する。浮遊稚魚の生態はあまり知られていないが底棲稚魚が現れるのは水深20m以浅であり、特に10m以浅の砂質域で湖尻、河口域の陸水流入によって形成された渦流域あるいは、植物性プランクトンとデトリタスの著しい集積の行われるバー・トラフ地形などに現れる。これは、渦流域やバー・トラフ地形においてヒラメ稚魚の餌となる小型甲殻類(特にアミ類)が豊富であり、成長に伴って魚食性になっても小型魚類や稚魚が多いため、浮遊稚魚期にこのような場所に運ばれなかった稚魚は自然淘汰される。この時期における自然減耗がかなり多い。

#### (b) ヒラメの増・養殖場造成工法

ヒラメの減耗は、特に稚魚期において良好な餌場に運ばれるかどうかにか左右されている。従って、ヒラメの増・養殖場は、特に稚魚期における餌場として造成される。増・養殖場は、ヒラメ魚礁や十字礁と呼ばれる有脚式の魚礁を設置し局所洗掘を生じさせることで海底に凸凹を付け、凹部でデトリタスやアミ類の集積を行い餌場を造成し、凸部は海底環境の良好な場所として確保される。各地で大規模な増・養殖場の造成<sup>7), 8)</sup>が行われており、地形変化に関する観測結果は報告されているが、ヒラメの増殖効果については報告されていない。

### 2.3 洗掘促進工法による増・養殖場造成法

洗掘促進工法による底棲生物の海底環境改善法は、通常海底の砂が移動があまり激しくないため、腐泥などが海底に堆積しているような浅海域を対象とする。このような浅海域に図-1に示すような杭によって支持された格子フェンスを海底に設置することにより、フェンスまわりの乱れや縮流効果によって局所洗掘が生じ、ミオ筋(トラフ)が形成される。また、下流側においては泥分が除去された底質砂による堆砂領域(バー)が形成される。バーの領域には、腐泥は溜まることはなく、トラフの領域に溜まった腐泥は、フェンスによる乱れや縮流効果により通常時の波浪あるいは流れによって除去され、長期に渡ってトラフ内に留まることはない。このような格子フェンスを用いた海底環境改善工法は、既に現地で施工されている。本実験結果と比較を行った現地は、水深3.3～4.0mの外海域に、単体でフェンス高さ50cm長さ300cmの格子フェンスを8基一列に連続配置している場所である。底質砂の粒度分布や外力条件は、観測されていない。観測されているのは、フェンス設置後115日目に観測された各フェンス下側の断面地形である。

### 3. 洗掘促進工法による地形変化に関する実験

実験は図-1に示すように、単体設置の場合を想定して2次元移動床実験を行った。洗掘促進工の原型は、格子フェンスの高さが50cm、1 unitの長さが300cmのフェンスで、直径10cm、長さ500cmの6本の杭で支持されている。格子フェンスは、直径0.5cmのFRP製の棒で空隙率56%で格子に組まれたものである。実験は、水理条件も含めて1/10で縮尺している。洗掘促進工の模型は、格子フェンスの高さが5.7cm、直径 $D=0.12$ cmの鋼棒により空隙率51%で格子に組まれている。不透過フェンスは、格子フェンスと同様の外郭寸法のアクリル板で作成した。フェンスは、直径1cmの鋼棒の杭

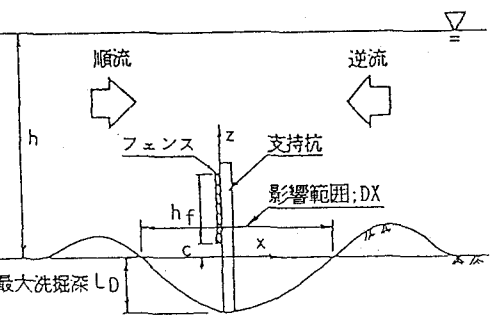


図-1 フェンス設置状況

により6.6cm間隔で支持されている。底質砂は、中央粒径 $d$ が0.012, 0.056cmの2種類を用いた。往復流は潮流を想定し、1時間毎に流向を変化させて作用させた。作用させた流速は3種類で、いずれも動的洗掘状態で洗掘が生じ、流速の速いケースで砂漣が発生し浮遊漂砂が卓越する。水深 $h$ は20cmを基準とし、粒径の大きいケースについ

ては、15、10cmの2種類に変化させた。摩擦速度 $U^*$ は、0.98～3.73cm/sec、シールズ数 $S=U^*/((\rho_s/\rho_f-1)gd_{so})$ は、0.05～0.19の範囲である。波動場の実験は、周期を1.0～5.0secの間の8種類、波高は5.0～7.0cmの間で変化させた。これらの実験条件は、往復流場の実験の摩擦速度と波動場での摩擦速度振幅が同程度となるように設定した。波動場での摩擦速度振幅は1.54～1.98cm/sec、シールズ数は、0.12～0.20、フェンス高さ $h_f$ に関するK.C.数 $u_*T/h_f$ 2.46～17.59、の範囲の実験を行った。また、波・流れ共存場の実験では、実験装置の能力上あまり大きな流速を作用させることができず、流れのみの場合に洗掘が生じない状態で、周期 $T$ は1.0、1.5secの2種類、波高 $H$ は7cmと一定とし、断面平均流速 $U$ を10、15cm/secの2種類に変化させた。地形の時間変化の測定は、水槽の側方からVTRにより観測した。図-1に洗掘促進工の設置状況と地形変化の形状パラメータを示す。

#### 4. 往復流場に設置した場合の洗掘促進工

##### による地形変化特性

##### 4.1 洗掘形状の時間変化特性

(i) 格子フェンス周辺の局所洗掘の時間変化

図-2は、格子フェンスと不透過フェンスに各流速の往復流を作用させた場合に生じるフェンス下側（杭と杭との間）の最大洗掘深の時間変化を示す。格子フェンスによる実験結果は、白抜きの記号で示している。格子フェンス周辺に生じる局所洗掘形状の時間変化は、一般的に3種類の変形パターンを経て定常（平衡）断面形状に至る。はじめに、 $U \cdot t/D = 0 \sim 9 \times 10^3$ （ $U$ :断面平均流速、 $D$ :支持杭の直径）の範囲の時間領域では、格子フェンス下端部周りの乱れによる洗掘と支持杭周りの局所洗掘により洗掘促進工の下側全域で洗掘が発達する。次に $U \cdot t/D = 9 \times 10^3 \sim 24 \times 10^3$ の時間領域では、格子フェンス下側の洗掘より支持杭周りの洗掘が卓越し3次元的な洗掘形状となる。その結果、図-2に示される様に格子フェンス下側の最大洗掘深は時間的にあまり発達しない。従来の杭周りの局所洗掘に関する研究より、定常洗掘は $U \cdot t/D$ が $10^4 \sim 10^5$ 程度で達することが知られている。また、その時生じる最大洗掘深は、杭径の1～2倍程度であることが報告されている。従って、この時点で支持杭による局所洗掘は、平衡に達していると考えられる。 $U \cdot t/D = 24 \times 10^3$ 以降の時間領域では、格子フェンスの縮流効果による洗掘が卓越し、隣合う支持杭の局所洗掘がつながり2次元的な洗掘形状が形成され定常（平衡）断面形状に至る。

##### (ii) 不透過フェンス周辺の局所洗掘の時間変化

図-2中で黒塗の記号が不透過フェンスの実験結果を示す。不透過フェンスによる洗掘形状の時間変化は、格子フェンスの場合と同様な地形変化過程をたどるが、格子フェンスの場合に比較すると時間的に早く地形変化が生じる。まず、 $U \cdot t/D < 5 \cdot 10^3$ の時間領域は、不透過フェンス下端部で発生する乱れによる洗掘と支持杭周りの局所洗掘により洗掘促進工の下側全域で洗掘が急激に発達するが、すぐ時間変化は緩やかになる。この時間領域では不透過フェンスによる洗掘よりも支持杭周りの局所洗掘が卓越し、洗掘孔の形状は3次元的となり、最大洗掘深の時間変化は緩やかになる。その後、 $5 \cdot 10^3 < U \cdot t/D < 10^5$ の時間領域では、各支持杭周りの洗掘孔がつながり、不透過フェンスの縮流効果による洗掘が卓越し、洗掘孔は2次元的となる。この二度目の急速な最大洗掘深の時間変化の後、 $U \cdot t/D = 10^5$ 以降で洗掘速度は緩やかになりほぼ2次元的な洗掘孔で平衡洗掘形状に至る。しかしながら、図-2の $S=0.05$ のケースに着目すると洗掘初期に最大洗掘深が急増した後は、ほとんど洗掘は発達せずほぼ平衡形状に達していることがわかる。これは、各杭周りの局所洗掘が卓越する状況で平衡形状に達したため、平衡形状は3次元的な洗掘形状となる。

この様に、一般的に杭とフェンスの複合構造物の局所洗掘は、各部材による洗掘機構が異なり杭の場合は、杭周りの渦流れが局所洗掘を生じさせ、フェンスはフェンス下側の縮流が局所洗掘を生じさせる。フェンスの縮流による洗掘は、フェンス下側を通る流量がある程度必要であり、杭による局所洗掘によってフェンス下側を通る流速がかなり大きくなった後にフェンスの縮流による局所洗掘が卓越する。断面平均流速が小さいケースで杭による3次元的な局所洗掘形状のまま平衡洗掘形状に達するのは、このためである。

##### (iii) 最終洗掘形状の3次元性とシールズ数の関係

図-2中の $S=0.05$ の場合のような、支持杭周りの局所洗掘が卓越した状態で平衡形状に達するケースを明らかにするため、フェンス下側（支持杭と支持杭の間）の断面地形形状と支持杭を横切る断面地形形状を比較した。図-3は、数ケースの実験結果の最終洗掘形状について洗掘形状の3次元性を比較するため、縦軸に2本の支持杭間

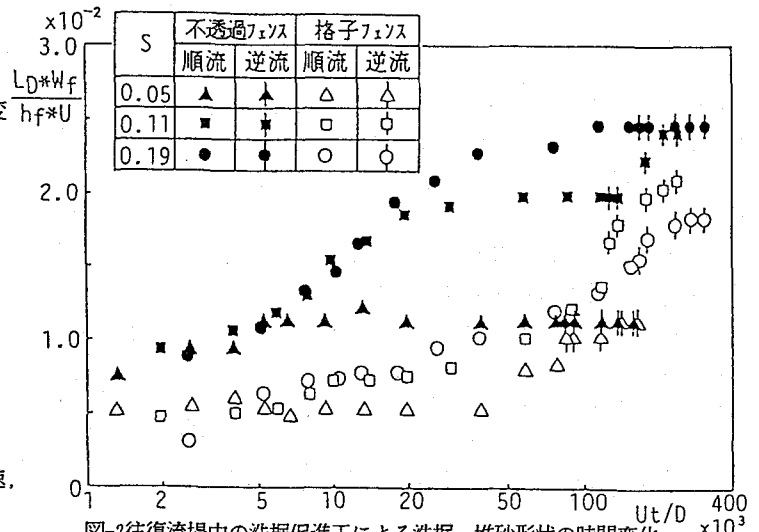


図-2 往復流場中の洗掘促進工による洗掘・堆砂形状の時間変化  
( $c/h_f=0$ ,  $h/h_f=3.68$ )

のフェンス下側を横切る断面地形と支持杭を含む断面地形との面積の差 $\Delta A$ を格子フェンスを含む断面の地形変化量 $A$ で無次元化したものをシールズ数に対して示したものである。図より $\Delta A/A$ が大きな値を示す3次元的な平衡形状が形成される領域は、底面とのクリアランスや格子フェンスの空隙率にあまり影響せず、シールズ数すなわち断面平均流速により大きく影響を受け、 $S=0.06$ 以下のケースで顕著な3次元性が現れることがわかる。

#### 4.2最終断面形状の相似性

図-4は、数ケースの最終地形の断面形状を各々の最大洗掘深 $L_0$ で無次元化したものを比較したものである。それぞれ多少のばらつきがあるもののほぼ洗掘形状は、相似性を示しているものと考えられる。しかしながら、堆砂形状については、フェンスの不透過・透過やフェンス下端と海底とのクリアランスの大小によってかなり異なっており、これらの諸量がフェンスの後流渦や乱れに影響を及ぼし、堆砂形状が異なってきていることがわかる。

また、図中には現地で観測された典型的な2つの断面形状を併せ示している。本実験結果と同様、フェンス下側で洗掘・堆砂形状が生じており、多少実験結果よりも洗掘斜面勾配がきつくなっている。

図-5は、横軸にシールズ数を取り、縦軸に図-1に示す影響範囲（洗掘領域） $DX$ と最大洗掘深 $L_0$ の比について示したものである。実験結果は往復流の実験結果を

全てプロットしている。図中にプロットされている Symbol の実験ケースを表-1に示している。図より、かなりばらついているが、影響範囲は、底質粒径やシールズ数や底面とのクリアランス、フェンスの透過・不透過に関わらず最大洗掘深のほぼ4～7倍程度となることがわかる。また、図中には現地観測結果が併せて示してある。図-4及び図-5に示されるように現地洗掘地形と実験結果は必ずしも良い一致は示さない。この原因については、現地の流体運動の特性が明かでないことから詳細な検討は行えないが、模型と現地における底質粒度分布の差異（アーマリング効果）等が関係しているものと推定される。

#### 4.3最終断面形状の最大洗掘深

前節で述べたように、実験条件に関わらず往復流場でフェンスによって生じる最終洗掘形状は、ほぼ相似形を示す。従って、最大洗掘深などの洗掘形状に関する代表長さが予測できれば、洗掘形状が予測できることになる。図-6は、底質粒径により最大洗掘深を無次元化し、シールズ数との関係について示したものである。図より、不透過フェンスの場合の最大洗掘深は、シールズ数と比例関係を示す

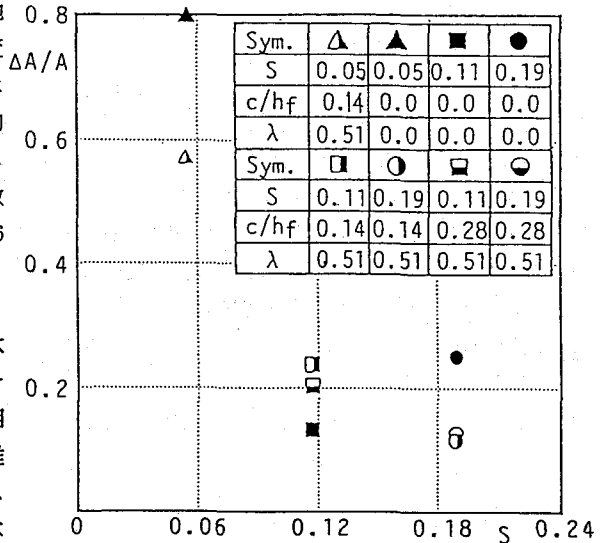


図-3往復流場中の洗掘促進工による洗掘孔の3次元性 ( $h/h_r=3.68$ )

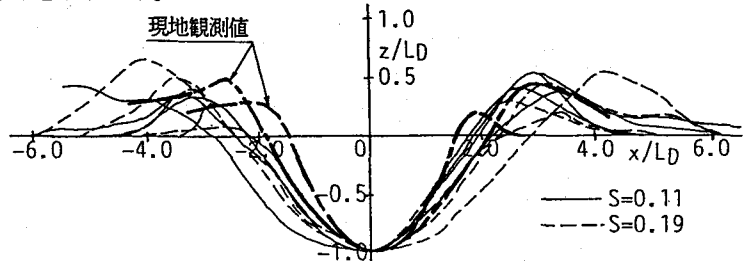


図-4往復流場中の洗掘促進工による最終断面形状の相似性 ( $h/h_r=3.68$ )

表-1往復流場での実験結果のSymbol

| Sym. | λ   | c/h <sub>r</sub> | h/h <sub>r</sub> | h <sub>r</sub> /d <sub>50</sub> |
|------|-----|------------------|------------------|---------------------------------|
| ○    | .51 | 0.0              | 1.75             | 475                             |
| ○    | .51 | 0.0              | 3.51             | 475                             |
| ○    | .51 | 0.0              | 5.26             | 475                             |
| ●    | 0.0 | 0.0              | 3.51             | 475                             |
| ○    | .51 | 0.14             | 3.51             | 475                             |
| ◉    | .51 | 0.28             | 3.51             | 475                             |
| ○    | .51 | 0.0              | 2.63             | 163                             |
| ●    | 0.0 | 0.0              | 2.63             | 163                             |
| ●    | .51 | 0.0              | 1.75             | 163                             |

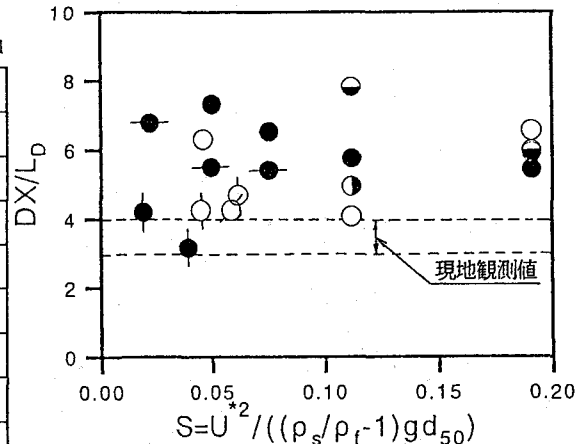


図-5往復流場中の洗掘促進工による最終断面形状の影響範囲

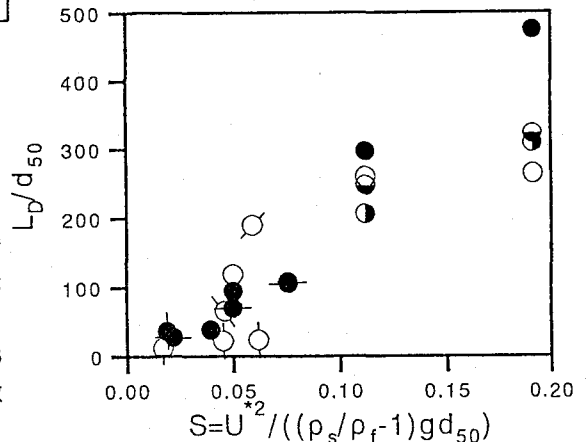


図-6往復流場中の洗掘促進工による最終断面形状の最大洗掘深

が、格子フェンスの場合の最大洗掘深は、シールズ数が0.15以上の範囲で上限となる傾向を示す。これは、堆砂高さに関係しており、堆砂高さの低い不透過フェンスの場合、洗掘孔内でpick-upされた底質砂は最大洗掘深の距離だけ巻き上げられ下流へ流されるが、格子フェンスの場合は堆砂高さが高いため、洗掘孔の底質砂は堆砂高さ以上まで巻き上げられなければ下流に運ばれず、洗掘はそれ以上発達しないためと考えられる。更に、格子フェンスと比較すると不透過フェンスの背後ではより明確な渦が形成され、これによりより高くまで底質砂が巻き上げられる。

## 5. 波動場及び波・流れ共存場に設置した場合の洗掘促進工による地形変化特性

### 5.1 洗掘形状の時間変化特性

図-7は、格子フェンスと不透過フェンスに波を作用させた場合に生じる最大洗掘深の時間変化を示す。図中で、格子フェンスによる実験結果は白抜きの記号で、不透過フェンスによる実験結果は黒塗の記号でそれぞれ示されている。不透過フェンスの場合の最大洗掘深の時間変化は、急速に洗掘が発達する $u_b \cdot t/D = 3 \sim 5 \cdot 10^3$  ( $u_b$ : 底部の水粒子速度振幅,  $D$ : 支持杭の直径) 以前の初期洗掘の時間領域と、それ以降の洗掘深が時間的にあまり変化しない定常洗掘の時間領域とに区別される。初期洗掘の時間領域では、不透過フェンス下端より発生する剥離渦により底質砂が巻き上げられ、洗掘は剥離渦の影響の及ぶ範囲まで急速に発達し、その後、洗掘はほとんど進行しない。従って、洗掘孔はほぼ2次元形状を示し、場合によっては支持杭周辺よりも不透過フェンス下側の方が洗掘深の深い場合も観測された。また、K.C. 数が多い程、定常洗掘に移行する時間が早く、定常洗掘における最大洗掘深も大きい。これは、この3つのケースでK.C. 数が多い程、フェンス下端の剥離渦が大きく形成されたためであると考えられる。往復流場との比較を行うと洗掘過程において往復流場の場合に見られた杭周りの局所洗掘が卓越する3次元的な洗掘孔の時間領域が、波動場の場合では見られない。また、ほぼ平衡形状に達する時間は、 $u_b \cdot t/D = 3 \sim 5 \cdot 10^3$  程度と往復流場の場合より短い時間で平衡形状に達する。これは、波動場での洗掘が、唯一不透過フェンス下端部より生じる剥離渦のみで発達するためである。同じフェンスによる洗掘でも往復流場の場合は、フェンスによる縮流であり、波動場ではフェンス下端部で生じる剥離渦であるから各々洗掘機構は異なっている。

一方、格子フェンスの場合は、ほとんど砂澱形状と同程度の地形変化しか生じない。これは、フェンス周辺で不透過フェンスの時に生じた剥離渦が空隙率が大きいためには発生せず、底質砂の巻き上げは格子フェンスの外枠或いは、支持杭周りの規模の小さい剥離渦によってのみ生じるためである。外枠或いは支持杭単位でのK.C. 数は、フェンス高さを代表長さとしたK.C. 数の14倍或いは、6倍程度で明確な渦は形成されない。

### 5.2 最終断面形状の相似性 表-2 波動場及び波・流れ共存場での実験結果 Symbol

波動場及び波・流れ共存場

の場合の影響範囲をK.C. 数について整理したものが図-8である。影響範囲については、往復流場の場合と同様に最大洗掘深で無次元化している。図中の各 Symbol の実験ケースは、表-2に示している。波動場における影響範囲は、最大洗掘深の5～7倍程度であり、往復流の場合とそれほど変わらないことがわかる。

波・流れ共存場の場合、実験装置の能力上あまり大きな流速を作用させることができず、実験条件において流れのみでは洗掘しない状態で波を作用させたため、フェンス周辺の流況及び洗掘機構は波のみの場合とほぼ同様で、構造物下端部で発生する剥離渦による洗掘が支配的であった。しかしながら、波・流れ共存場におけるフェンスの影響範囲を波動場の場合と比較すると、影響範囲は最大洗掘深の10～14倍にも及び、波動場の場合の2倍程度を示し、洗掘斜面勾配がかかなり緩やかになることがわかる。図-9は入射波周期が $T=1\text{sec}$ の場合の波のみ及び波・流れ共存場における最終洗掘形状の比較を示す。図

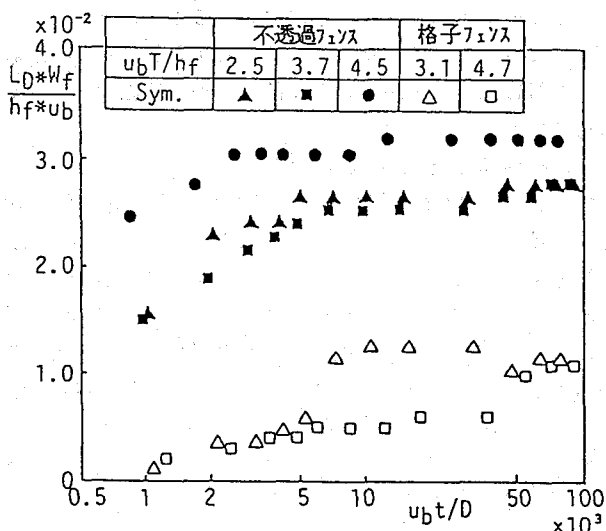


図-7 波動場中の洗掘促進工による洗掘・堆砂形状の時間変化 ( $c/h_r=0$ ,  $h/h_r=3.68$ )

|        | Sym. | $U/ub$ |         | Sym. | $U/ub$ |
|--------|------|--------|---------|------|--------|
| 格子フェンス | ○    | 0.0    | 不透過フェンス | ●    | 0.0    |
|        | ○    | 0.49   |         | ●    | 0.49   |
|        | ○    | 0.65   |         | ●    | 0.66   |
|        | ○    | 0.39   |         | ●    | 0.42   |
|        | ○    | 0.59   |         | ●    | 0.58   |

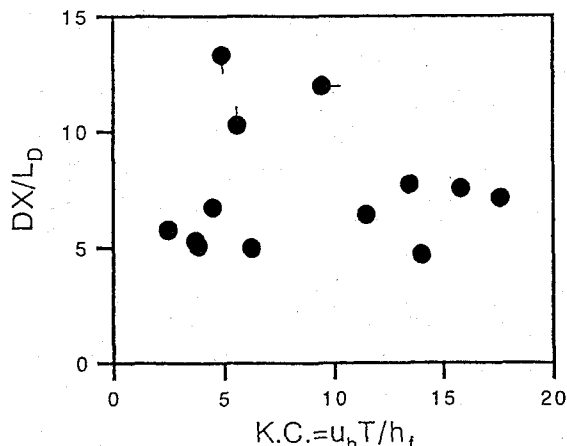


図-8 波動場及び波・流れ共存場中の洗掘促進工による最終断面形状の影響範囲 ( $c/h_r=0$ ,  $h/h_r=3.68$ )

より流れが重畳することによって最大洗掘深が増加すると共に透過波側・反射波側に広い範囲で洗掘が生じており、流れの影響により影響範囲が極端に広がっていることがわかる。この流れの影響により最大洗掘深が大きくなるのは、流れの重畳することによりシールズ数が増大すること、またK.C.数が大きくなるためであると考えられるが、洗掘の影響範囲が広がることに関しては、原因は不明である。

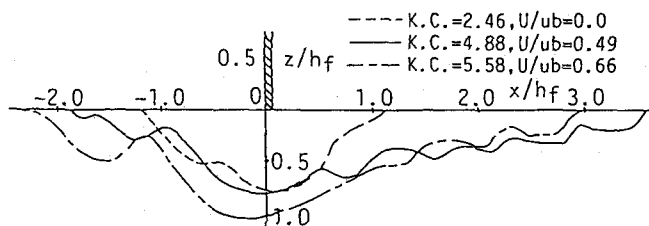


図-9 波動場及び波・流れ共存場中の洗掘促進工による最終断面形状の比較 ( $c/h_f=0.$ ,  $h/h_f=3.68$ )

### 5.3 最終断面形状の最大洗掘深

図-10は、波動場及び波・流れ共存場で生じる最大洗掘深を、横軸にシールズ数を取り示したものである。実験装置の能力上、シールズ数の広い範囲にわたって実験結果が得られなかったが、K.C.数については、2～18の範囲に変化させている。図中で白抜きの記号が格子フェンスによる実験結果を、黒塗りの記号が不透過フェンスによる実験結果をそれぞれ示す。波動場の実験結果に着目すると、K.C.数が2～18の間で変化させたにも関わらず最大洗掘深に顕著な差異は認められなかった。不透過フェンスと格子フェンスの実験結果について比較してみると同程度のシールズ数のケースに対して不透過フェンスによる最大洗掘深は、格子フェンスによる最大洗掘深の2倍程度の最大洗掘深を生じている。また、波・流れ共存場の実験結果に着目すると、不透過フェンスの場合、格子フェンスの場合共に流れが重畳することで、シールズ数が増大し、波のみの場合よりも最大洗掘深が増加する傾向にあることがわかる。

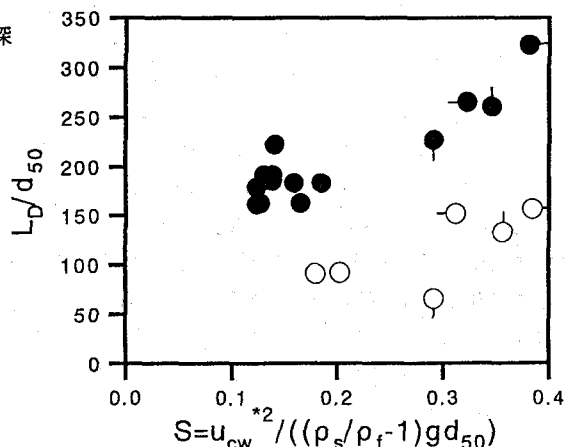


図-10 波動場及び波・流れ共存場中の洗掘促進工による最終断面形状の最大洗掘深 ( $c/h_f=0.$ ,  $h/h_f=3.68$ )

## 6. 結語

a) 往復流場に設置された洗掘促進工による洗掘形状の時間変化は、初期に支持杭周りの洗掘が卓越し3次元的な洗掘が生じ、その後に各支持杭周りの洗掘孔がつながってフェンスの縮流による2次元的な洗掘を生じ、平衡形状に達する。しかしながら、シールズ数の小さなケースに関してはフェンスの縮流による洗掘が生じないまま各支持杭周りの局所洗掘が卓越した3次元的な洗掘形状で平衡形状に達するケースもある。

b) 波動場に設置された洗掘促進工による洗掘形状の時間変化は、急速に洗掘が発達する初期洗掘と緩やかに平衡状態に近づく定常洗掘の2つの時間領域に分けられる。その洗掘機構で重要な役割を果たすのは、フェンス下端部で生じる剥離渦である。格子フェンスの場合は、フェンスの透過性により剥離渦が余り明確に生じないため、不透過フェンスと比較すると洗掘深はかなり小さい。

c) 波動場・往復流場で生じる洗掘促進工による最終形状は、洗掘形状に関してはほぼ相似性を示し、その影響範囲は、最大洗掘深の4～7倍である。しかしながら、洗掘促進工周辺の乱れに大きく影響を受ける堆砂形状については、相似性を示さなかった。更に、波・流れ共存場においては、流れの影響によってより広い範囲で洗掘を生じ、洗掘斜面勾配がかなり緩やかで影響範囲は最大洗掘深の10～14倍程度である。

d) 波動場、往復流場、波・流れ共存場で設置された洗掘促進工による最大洗掘深は、シールズ数によって一意的に決定できる。特に波・流れ共存場では、波動場に流れが重畳することによりシールズ数が増大するため、その最大洗掘深は、波動場の場合と比較すると増大する。

## <参考文献>

- 1) 山口・大海湾におけるアサリの生態と環境について:井上 泰,水産土木,Vol.16,No.2,1980,pp29～34.
- 2) 貝類増殖に関する工学的研究:中村 充,水産土木,Vol.14,No.1,1977,pp7～17.
- 3) アサリ漁業をとりまく近年の動向:柿野 純,平成3年度日本水産工学会シンポジウム講演要旨集
- 4) 作れいと削土によるアサリ増殖場:俵佑方人,平成3年度日本水産工学会シンポジウム講演要旨集
- 5) ヒラメ・カレイの生活史と環境:遊佐多津雄,水産土木,Vol.16,No.1,1979,pp33～45.
- 6) 浅海漁場重要資源生態調査報告:山形水試資料, No.112,昭和52年3月
- 7) 起伏造成によるヒラメの増殖:諺口紀彦,水産土木Vol.14,No.2,1978,pp71～74.
- 8) 広域型増殖場造成事業調査報告書(ヒラメ):山形県,平成3年3月