

蓄養施設一体型ケーソンの開発ーウニの高密度飼育を事例としてー

Study of a caisson included a storage tank —a case of high density breeding of sea urchins—

北原繁志*, 竹田義則*, 伊東公人*, 清野克徳**, 桑原伸司**, 谷野賢二***

Shigeshi Kitahara, Yoshinori Takeda, Kimihito Ito, Katsunori Seino, Shinji Kuwabara, Kenji Yano

The authors have designed the new type marine structure which is the caisson included the storage tank at the breakwater. The structure has characteristics that it is possible to lead fresh sea water from the outside port without decreasing available moorage area. Problems have been observed, however, particularly regarding physical environment in the tank and organism behavior, organism waste disposal and realization of a sufficiently high organism density to enable efficient breeding. This study was conducted to solve these problems, focusing on high-density breeding of sea urchin in full-sized experimental equipment.

Keywords : a caisson included a storage tank, high-density breeding of sea urchin, behavior of sea urchin, seawater exchange

1. はじめに

北海道の養殖や中間育成に適する海域は、海岸線の複雑さからみると日本の平均値の 35%程度なため、漁港・港湾内水域が中間育成、蓄養に使用されている。しかし、港内と港外の海水交換の不足による水質の悪化や、港内水域の減少による船舶の航行への影響が問題となっている。

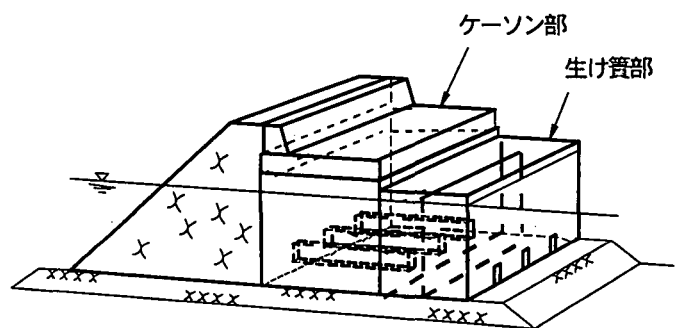
そこで、防波堤のケーソンに生け簀を併設し、波浪エネルギーを利用して生け簀内部の海水交換を計り、水産生物を飼育できる新形式の海洋構造物を考案した。平成 7 年度に模型実験によって海水導入量を把握し、また平成 8 年度には飼育対象生物のうち北海道の広い範囲に分布し重要な有用水産生物である、キタムラサキウニ(以下ウニ)を用いた現地実験を行った。

現地実験では実際の構造物スケールの実験堤体を用いて、生け簀内の海水循環状況、ウニの行動特性、残餌と排泄物の移動状況、限られた空間で高密度に飼育するための着定基質の開発を行った。さらに、室内実験で着定基質へのウニの付着を阻害する要因について、照度と着定基質の動揺に着目して実験を行った。

本研究はこれらのウニの行動特性に配慮した蓄養施設の開発を行ったものである。

2. 蓄養施設一体型ケーソンの概念

蓄養施設一体型ケーソンは前面の波浪エネルギーを水位上昇に変換し、海水を港内外の水位差により、通水管を通して生け簀内に導入するものである。生け簀には遊水部を設け、通水管からの噴流による生物の減耗防止と、生物の逃亡を防止する目的で隔壁を設置し、導入された海水は隔壁を越流させる構造となっている。生け簀底部には残餌や排泄物を生け簀外に排出するための残餌処理溝を設け、また、残餌等が処理溝に流れ込むよう底部に傾斜を付けてある。



図一 蓄養施設一体型ケーソン概念図

3. 実験の内容

3.1 現地実験

現地実験は平成 8 年 8 月 19 日～9 月 15 日の期間で、小樽港内に図一に示す実構造物スケール(1:1)の実験堤体を設置して行った。構造は実際の構造物の施工を考慮して鉄骨の骨組みにコンクリートパネルを張り、ウニに対する表面形状の影響を排除した。また、製作時の型枠はく離材や初期アルカリの溶出がウニの行動へ与える影響を排除するため現地設置後 14 日間海水にさらした。残餌処理溝は堤体に 2 箇所設け、V 型(底面 500 mm×高さ 500 mm 三角形断面)と溝型(500 mm×500 mm の矩形断面)の 2 種類でアナアオサを用いた残餌排出効果の比較を行い、排出効果の高い溝型とした。

*正会員 北海道開発局開発土木研究所環境水工部水産土木研究室(062 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

**正会員 北日本港湾コンサルタント(株)

***正会員 北海道東海大学海洋開発工学科

実験に用いたウニは小樽市平磯地先で採取したものを700個使用した。本実験前に年齢、殻径、湿重量、生殖巣重量を、また各実験ごとに年齢を除く各項目を測定した。

ウニを高密度で飼育するための着定基質は、色は乳白色で波の大きさの異なる2種類の塩ビ製の波板を用いた。着定基質は生け簀上部から吊り下げ方式とし、下部には重りを付けて底面に接する構造とした。(図一3 参照)

3.1.1 実験内容

(1) 海水導入量

実験における海水導入は、表一1に示す3ケースの設定海水流量を水中ポンプによって遊水部に強制流入させ、隔壁から越流によって生け簀に導入する方法で行った。なお、平成7年度の模型実験結果から求めた海水導入量に対する推定波高も併せて示す。

表一1 設定流量と波高

ケース	設定流量 (m ³ /min)	波高(H _{1/3}) m	
		周期 8.0 秒	周期 9.0 秒
1	1.6	1.51	1.28
2	3.2	1.95	1.75
3	5.3	2.35	2.20

(2) 流速分布

流量に対する堤体内の海水循環状況を把握するため、3次元ドップラー流速計を用いて測定を行った。1ヶ所について3成分(X、Y、Z)で、サンプリングタイム0.5秒で測定した1成分あたり40個のデータを平均して求めた。測定は生け簀内を3層に分け着定基質を設置しない場合が各層33測点、設置する場合が各層31測点、それぞれ残餌処理溝内1ヶ所当り7測点で、合計測点は着定基質設置しない場合が113測点、設置する場合が107点とした。

(3) ウニの行動観察

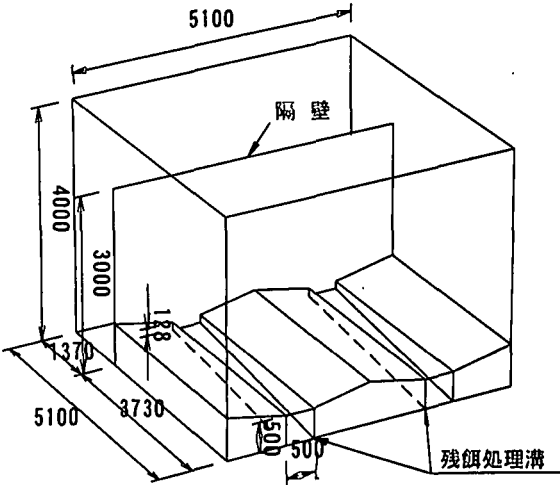
実験は3ケースの流量にそれぞれ着定基質を設置した場合とない場合の合計6ケースについてウニ700個を放流して行った。実験の手順は以下の通りである。

①着定基質を設置しない場合はウニを中央部に集め実験を始める。設置する場合は着定基質への付着を観察するために底面に均等に散布する。なお、着定基質の設置方法を図一4に示す。

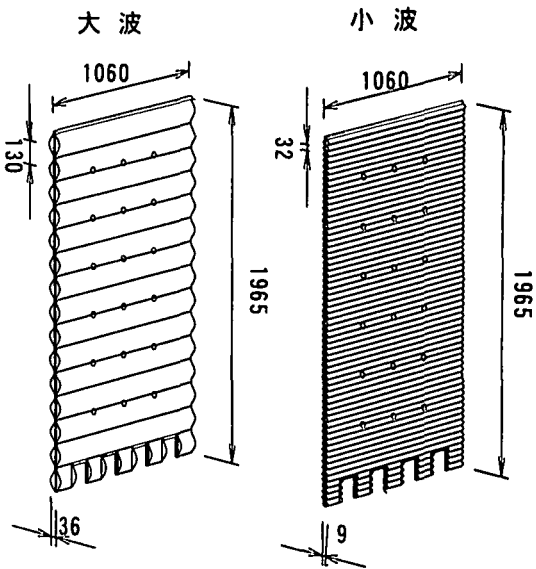
②実験開始は16時とし、まず無給餌で24時間観察する。観察時間は16時、18時、21時、24時、6時、12時の6回とする。観察は水中ビデオカメラを用いて生け簀内のウニの分布と残餌の状況を撮影し、また観察に合わせて水質の測定を行う。水質測定は導入した海水と生け簀中央部3測点(1測点×3層)とし、測定項目は水温と溶存酸素量とする。

③24時間経過後の16時にホソメコンブを給餌し16時、19時、24時、3時、9時、12時の6回、水中ビデオカメラによる観察を行う。コンブはあらかじめ湿重量を測定しておき、着定基質を設置した場合は基質の両側から吊り下げ、底面に50~60cm横たわるように16ヶ所、設置しない場合は生け簀の側壁と中央部に合計10ヶ所吊り下げる。ケース終了時にコンブを引き上げ、重量を測定し、摂餌量を把握する。

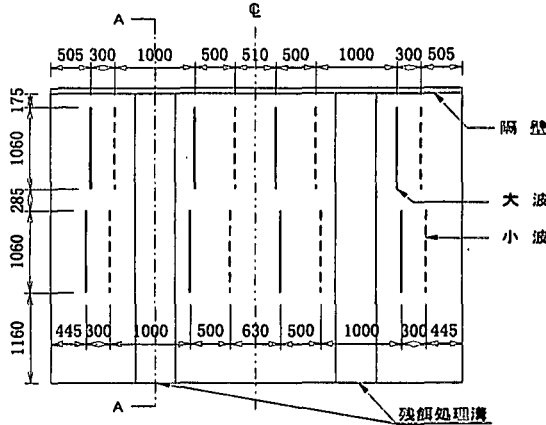
④流量、着定基質の有無を変えて①から③の作業を繰り返す。



図一2 現地実験堤体 (単位 mm)



図一3 着定基質の形状 (単位 mm)



図一4 着定基質の配置(平面図)
(単位 mm)

3.2 室内実験

室内実験は着定基質へのウニの付着を阻害する要因のうち、現地実験で最も関係が深いと考えられた照度と着定基質の動揺の影響を把握する目的で行った。平成 9 年 1 月 22 日～29 日の期間、開発土木研究所の実験室内において長さ 1.5m×幅 1.2m×高さ 0.7m の水槽に石狩湾新港で採取したウニ 100 個を用いて実験を行った。

3.2.1 実験内容

(1)照度とウニの行動

蛍光灯をつけた実験室内(窓なし)に図-5 に示す配置に平板状で塩ビ製の黒色板と白色板を設置し、ウニを均等に散布して 1、2、4、8、23 時間後の水槽内の壁及び黒色板、白色板の付着状況を観察した。同時に水槽内の照度を 9 ヶ所測定した。また、蛍光灯の位置に偏りがあったため、黒色板と白色板を入れ替えて同様の実験を行った。

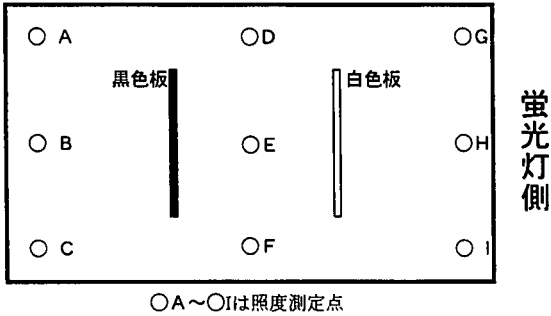
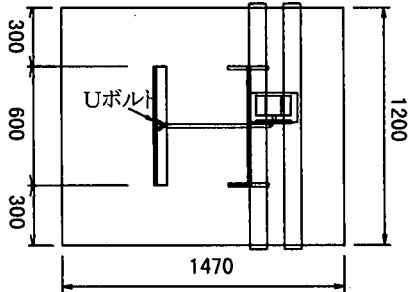


図-5 水槽内配置図

平面図



断面図

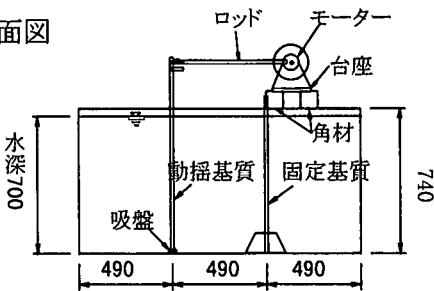


図-6 着定基質動揺装置

(2)着定基質の動揺とウニの行動

実験室内を暗室とし図-6 に示す実験装置を用いて、下端を固定した着定基質を上部の振幅 3 cm、周期 10sec、5sec、3sec、1sec の 4 種類で動揺させ、ウニの行動を観察した。実験ケースはウニをあらかじめ基質に付着させておいて基質を動揺させた場合と、付着がない状態で動揺させた場合の 2 ケースとした。なお、図-6 に示すとおり、比較のため固定した基質も同時に水槽の中に設置した。

4. 実験結果と考察

4.1 現地実験結果

(1)生け簀内の流速分布

各ケースごとの流速と生け簀内の壁面積比の関係を図-7 に示す。面積比には残餌処理溝、着定基質についても加算している。この図から生け簀内の流速は着定基質の有無に関わらず流量に比例してケース 1<ケース 2<ケース 3 の順に早くなっていることがわかる。また、着定基質を設置するとケース 2,3 において流速 2 cm/sec の面積比が大きくなっている。これは着定基質周辺は 2 cm/sec の流速が卓越していることを示している。

ケース 3 について図-4 に示す A-A 断面における流速ベクトル図を図-8 に示す。この図から生け簀の表層と底層で反対方向に流れが発生しており、対流が発生していることがわかる。底層部の流れは残餌等の排出を抑制する方向に流れており、生け簀内の環境保持の観点から、隔壁側から排出口方向への流れを発生させることが不可欠であり、今後の課題の一つである。

(2)ウニの個体特性

実験に用いたウニの平均年齢は 4.7 歳、殻径は平均 55 mm であり、52～57 mm が全体の 60% を占めていた。平均湿重量は 70.9g で、60～70g が 50% であり、湿重量に占める生殖巣指数は 19% 以上であることから、本実験に用いたウニは十分に成熟したウニであった。また、実験終了後における測定においても湿重量、生殖巣指数とも変

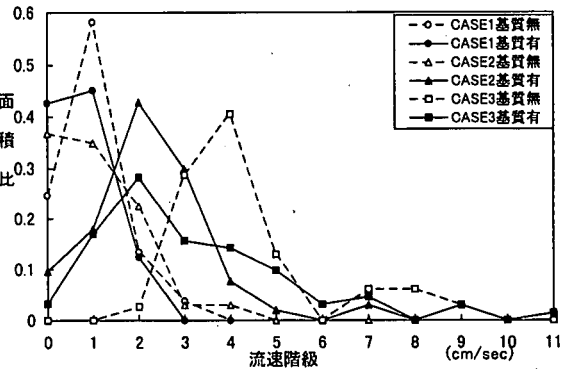


図-7 流速と生け簀内壁面積比

化がなく、実験中の放卵は行われなかった。

(3)ウニの行動特性

①付着場所と流れの関係

着定基質を設置しない場合の44時間後のウニの分布状況を生け簀を展開した状態で図-9に示す。

この図から、流量の増加に従ってウニが多く分布する場所が、排水口側垂直壁、処理溝内垂直壁、越流隔壁下部と分布域が移動していることがわかる。

また、流れ方向に対して、左右の側壁にはウニの付着が少ないが、これは実験開始において、ウニを中央部に集めたことから、左右に移動したウニは、処理溝の溝の垂直面に止まり、溝を越えて移動しなかったためと考えられる。

図-9のウニの分布状況を時系列で表すと図-10のようになります。

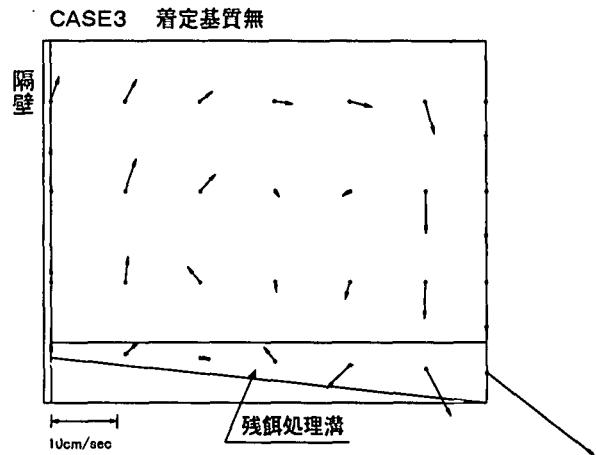


図-8 生け簀内流速ベクトル図

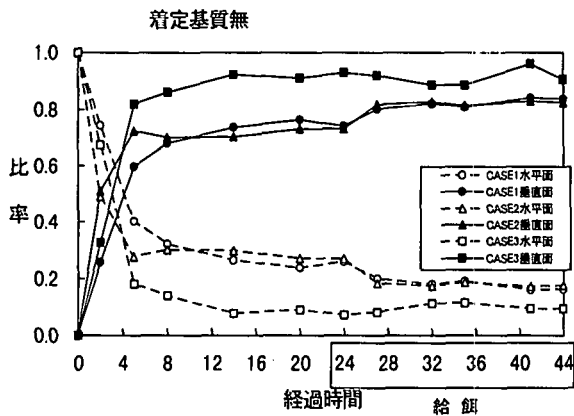


図-10 付着面別個数比率と経過時間

図-9及び10からウニの基本行動パターンとして特徴的なのは、ウニの付着する面はその多くが堤体側壁や処理溝内の側壁などの垂直面であり、水平面に付着するものは少ない。これは着定基質を設置した場合も同様の結果であった。植物は水平面で生息し、動物は垂直面で生息するという実海域における研究結果が実験によっても再現された。

また、実験開始後4時間以内に44時間で移動する量の約8割が移動している。この傾向は流速が早くなるに従って強くなっており、これはウニの行動が流速と密接に結びついていることを示唆している。

なお、着定基質を設置した場合は基質への付着行動を観察するため、ウニを底面に均等散布したことから移動に関する評価から除いた。

次に、ウニの行動と流速の関係を把握するため、ウニの分布場所の流速と単位面積あたりに換算した個数の関係を図-11に示す。この図から、ウニは2~3 cm/sec付近の流速の場所に多く分布している。図-7によると着定基質を設置していない場合、ケース1から3を合計した流速面積比は1 cm/secが最も多くなるが、ウニの付着個数は少ない。これらのことから、ウニの蟄集しやすい流速階級が存在することが判明した。

これは、適度な流れによって酸素や餌の情報などの生存に欠かせない要素がもたらされるためと考えられる。なお、着定基質を設置した場合は基質によって行動が制限されたため、明確な傾向はみられなかった。

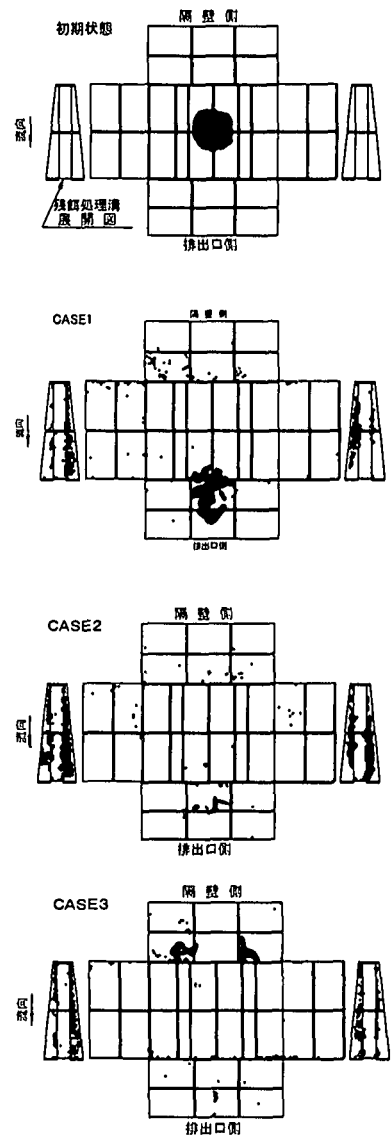


図-9 44時間後のウニの分布 (着定基質なし)

(4)着定基質の形状

図-12 に着定基質を設置したケース 3 のウニの場所別分布比率を示した。垂直面でかつ着定基質周辺の流速はウニが蛸集しやすい 2 cm/sec が卓越しているにもかかわらず(図-7 参照)ウニの付着は少なく、大多数が堤体のコンクリートに付着していた。この原因として着定基質を吊り下げ方式としていたため動揺したことと、色が乳白色なため光を反射し夜行性動物であるウニが嫌ったことが考えられる。これはケース 1,2 においても同様な結果であった。

着定していたウニについて基質の形状別に比較したのが図-13 である。大波の方に多く付着しており、この原因は基質の形状とウニの大きさに関係があると考えられる。大波の形状は幅 130 mm 、高さ 36 mm で、これに対しウニは殻径が平均 55 mm 、殻高は殻径の 0.53 倍という報告²⁾から求めると 29 mm となり、ウニが付着するには個体の大きさ以上の凹凸が必要と考えられる。

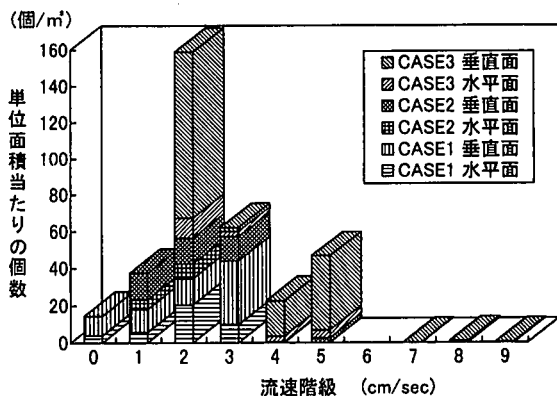


図-11 流速とウニの単位面積当り個数(着定基質なし)

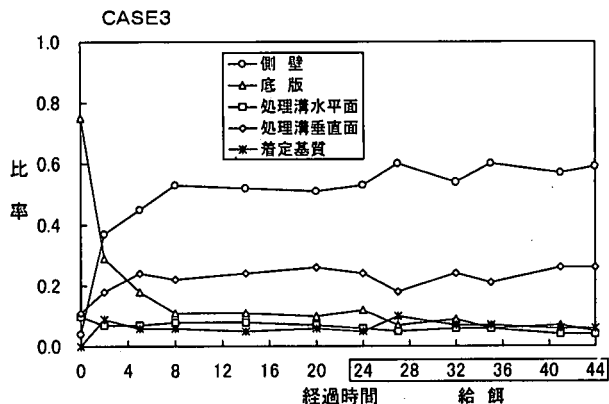


図-12 ウニの場所別分布比率(ケース 3)

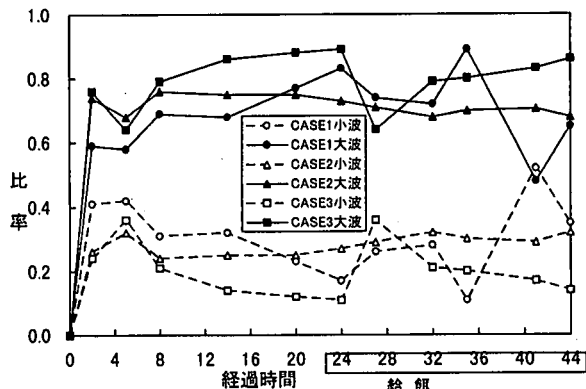


図-13 基質形状別分布比率

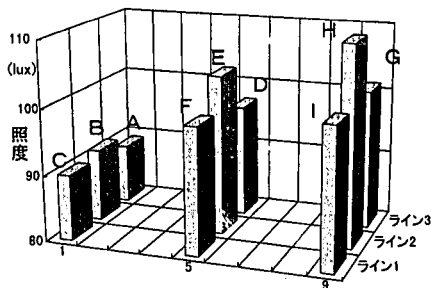
(5)摂餌行動

各ケースの摂餌量は、 $900\text{ g} \sim 1800\text{ g}$ であり、全体平均の一個当り摂餌量は 1.6 g であった。この時期の 5 歳ウニの摂餌量は 5.6 g/日 と言われており³⁾、摂餌量は少なかった。これは、摂餌時間が 20 時間と短かったことと、残餌処理溝に移動していたウニが多数おり摂餌できなかったためと考えられる。残餌処理溝はウニが入り込まないよう網状の蓋を設ける必要がある。

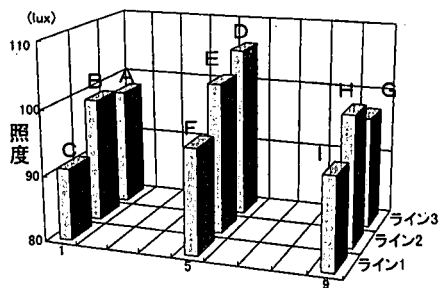
4.2 室内実験結果

(1)照度とウニの行動

図-14 に生け簀内の照度を示す。白色板が蛍光灯側にある場合は照度が蛍光灯側から徐々に低くなっているのに対し、黒色板が蛍光灯側にある場合は白色板による光の反射と黒色板による吸収によって照度が平均化していることがわかる。この状態におけるウニの個数と照度の関係を図-15 に示す。



白色板が蛍光灯側

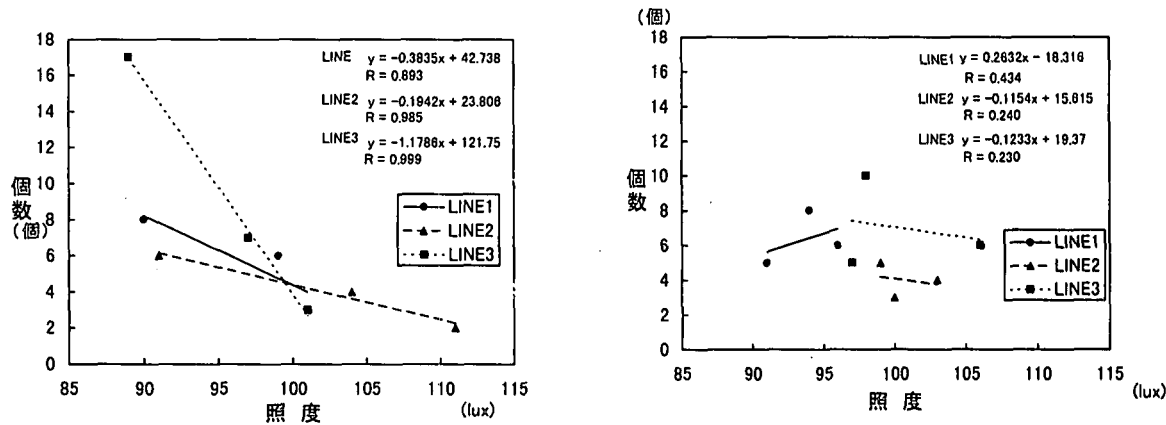


黒色板が蛍光灯側

図-14 水槽内の照度

白色板が蛍光灯側にある場合はウニの個数と照度に逆相関がはっきり現れている。これに対し、黒色板が蛍光灯側にある場合は相関ははっきりしない。これは、照度が平均化され、また、図-14 に示すように水槽の中央部の照度が高いため、ウニの行動にばらつきが生じたためと考えられる。このことから、着定基質にウニを着定さ

せるには照度を落として基質の色を黒色とする必要があることが判明した。



白色板が蛍光灯側
黒色板が蛍光灯側
図一15 水槽内の照度とウニの個数

(2)着定基質の動揺とウニの行動

図一16 に着定基質を動揺させながらウニの着定個数を観察した結果を示した。今回の実験では振幅が 3 cm と小さかったため、周期 3sec 以上では動揺させた基質と固定した基質に着定個数の差はなかった。このことから、ウニを着定させるためには基質の動揺を振幅 3 cm 程度以下に抑えることが必要であることがわかった。

5.まとめ

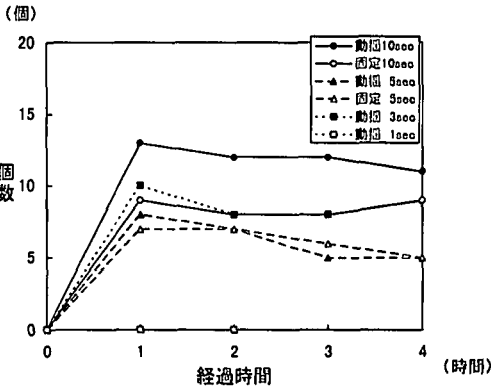
ウニを用いた蓄養施設一体型ケーソンの開発実験から以下の主要な結論が得られた。

(1)ウニは全体の 8 割が垂直面に蟄集し、水平面よりより垂直面を好む。

(2)ウニが蟄集しやすい流速は 2~3 cm/sec である。

(3)着定基質へのウニの着定率を上げるためには、黒色の波板を用いて凹凸をウニの個体以上とし、動揺が振幅 3 cm 程度以下となるよう固定する必要がある。また、生け簀内はできるだけ暗くするほうがウニの着定率が上がる。

今後の課題として、残餌や排泄物を効果的に排出させるための流れの発生方法について工夫する必要がある、今年度、断面実験によって検討を行う予定である。



図一16 基質の動揺とウニの付着個数

謝辞

本研究に当り、実験施設の設置と管理に多大な御協力をいただいた小樽港湾建設事務所の皆様と、ご助言をいただいた北海道水産部漁政課松山恵二氏、全先清通氏に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 今野敏徳: 海藻群落の構造と遷移、水産土木 第 15 巻第 1 号(通巻 29 号)、1978
- 2) 北水試月報・第 23 巻・第 1 号・別冊: 1966
- 3) 水産庁振興部開発課: 増殖場造成計画事例集(ウニ編)、平成 2 年 3 月水産庁振興部開発課技術資料、NO3、1991
- 4) 北原繁志、谷野賢二、伊東公人: ウニ高密度養殖施設の開発、第 40 回北海道開発局技術研究発表会発表概要集(平成 8 年度)
- 5) 清野克徳、北原繁志、谷野賢二、伊東公人、桑原伸司、中内 勲: 海面設置型ウニ高密度飼育施設の環境とウニの動態、平成 8 年度論文報告集、土木学会北海道支部