

# 消波堤における機能の複合化に関する研究

北海道開発土木研究所 丸山修治

調査実施年度：平成11年度～平成13年度

## 1. 諸言（まえがき）

北海道開発局では、藻場創出機能を付加した自然調和型構造物をいくつか施工している。施工当初は、藻場が形成され良好であったが、時間の経過とともにウニによる食害のため、創出された藻場は遷移し、北海道の日本海側では消失するケースも見受けられる。

一般的に、ウニは流速の小さい環境（深み、港内など）を好み、コンブはウニの活動が制限される流速の大きい場所に生息している。そのため、コンブ藻場を形成・維持するには、ウニに食べられないような流速環境を小段上などに再現するのも一手法であると考えられることから、防波堤の構造形式に着目して整理する必要がある。

そこで北海道の港湾・漁港において、藻場創出機能を付加させた自然調和型構造物を対象として、創出させた藻場を育成・維持させることを目的に、藻場現存量調査と水理模型実験により、ウニによる食害に対し有利な条件を持つ構造形式について検討した。また、除去したヤセウニの身入りをよくするための支援型構造物（蓄養施設一体型ケーソン）を提案し、低波浪時における蓄養施設内の海水交換特性を水理模型実験により把握した。

## 2. 調査方法

### (1) 調査海域

調査海域は表-1、2に示す8海域である。表-1は、北海道における消波堤に藻場創出機能を付加させた自然調和型構造物を施工している海域であり、消波堤の構造形式別にまとめたものである。また、ウニによる食害が多い藻場と少ない藻場との流速環境を把握し比較するために、表-2に示す2海域も選定した。

### (2) 調査内容及び方法

#### (2-1) 現地調査

##### ①藻場現存量調査

8海域すべてにおいて、水中ビデオ撮影と目視観察により藻場着生状況を把握し、その経年変化から消波堤の構造形式の違いによる藻場現存量について考察した。

##### ②藻場上の流速環境調査

様似漁港、江良漁港、忍路海岸、井寒台において、沖地点（水深8～15m）に波高計、藻場上（底面より50cm上方）に流速計を設置し、藻場上の流速環境をウニによる食害の多少との観点から比較を行った。

##### ③ウニの除去、ウニ進入防止ネット調査

江良漁港において、藻場に生息しているウニを除去し、除去してない藻場との海藻の現存量を比較した。さらに、その結果より、藻場からウニを除去したあとにウニの進入を防止するためのネットを設置し、その効果を考察した。

#### (2-2) 水理模型実験

##### ①消波堤の構造形式別に流速を把握する実験

実験の目的は、創出藻場上の流速環境を現地調査により考察した結果をもとに、どの消波堤の構造形式がウニによる食害に対して有利かを比較することである。

実験の条件は、不規則波発生装置を備えた長さ24m、幅1mの2次元造波水路を用い、様似漁港（図-17）、江良漁港（図-4）、浦河港（図-21）の各断面と井寒台の海底地形の断面について行った。縮尺は1/25、実験波（不規則波）は現地換算で $H1/3=0.5\text{m}$ ～4.0mまでの4波高、周期は5, 8, 11sとし、小段（藻場）上の流速は電磁流速計を用いて小段上50cm（現地換算）で断面方向に3箇所測定した。

実験の方法は、小段（藻場）水深の設置がその流速環境に大きく影響すると考えられることから、それぞれの断面について小段の高さを3通り変えて測定を行った。

## ②蓄養施設一体型ケーソンの海水交換特性を把握する実験

蓄養施設一体型ケーソンとは、防波堤などのケーソンにウニの蓄養施設としての生け簀を併設し、波浪エネルギーを利用して海水交換を行い、捕獲したウニの付加価値を高めるものである（図-1）。

実験の目的は、蓄養時には生簀内の海水交換が重要であることから、蓄養施設一体型ケーソンの低波浪時における生簀内の海水交換特性を把握することである。

実験の条件は、不規則波発生装置を備えた長さ28m、幅0.8mの2次元造波水路を用い、図-2に示す断面について行った。縮尺は1/10、実験波（不規則波）は現地換算で $H1/3=20, 35, 50$ （低波浪時）、100cm（高波浪時）の4波高、周期は5sとし、波高計は造波装置付近、模型の前面、遊水部、生簀部、模型の背後に設置し、それぞれの部位の波高を測定した。また、流速計は導水孔、生簀部、排水孔直背後に設置し、それぞれの部位の流速を測定した。

実験の方法は、はじめに表-3に示す測定比較項目について検討する実験を行い、海水交換能力に主眼をおいて蓄養施設一体型ケーソンの模型の各諸元を決定する。その後模型の諸元を決定した値で、低波浪時における生簀内の海水交換特性を明らかにする実験を行った。

## 3. 調査結果

### (1) 現地調査結果

#### (1-1) 通常天端傾斜堤背後小段（江良漁港、寿都漁港、元地漁港）

##### ①江良漁港

江良漁港は、道南に位置する3種漁港で、西外防波堤整備において背後小段を平成8年度及び平成10年度に建設している（図-3、4）。調査箇所は、小段と同一水深（-4.0m）の傾斜堤前面及び背後小段、周辺岩礁である。

平成8年11月に施工した小段上の海藻及びコンブ現存量は施工後8ヶ月目（平成9年6月）には、周辺の天然岩礁を上回るほど良好であった（図-5）が、平成9年6月段周辺からウニの進入が確認された（写真-1）。ウニの進入による食害は、日本海で進行しているコンブ藻場が形成されない磯焼けの原因の1つであることが知られている。このため小段上においても、ウニの食害による藻場消失が懸念されたことから、コンブ藻場形成とウニの食害の影響を検討するため、平成10年3月にウニの除去実験を行った（図-6、7）。

施工後20ヶ月目（平成10年6月）には、小段上のウニがウニ放置区に蝟集し、藻場への食圧が高まったため藻場は消滅していた。

一方、ウニ除去区では、ホソメコンブ主体の藻場が形成され被度も最大80%を示した。また、ウニはコンブの多い場所に分布していた（写真-2）。このウニは、餌であるコンブを求めて除去後に再度蟻集したものと考えられる。しかし、繁茂期の6月時点でコンブが確認されていることから、3月の除去後の成長期にはウニの摂餌をあまり受けなかったと考えられる。目視観測後は、ウニ除去区において再度ウニの除去を行っている。

施工後32ヶ月目（平成11年6月）には、ウニ放置区でホソメコンブの群落が形成されていたが、ウニ除去区では高密度でウニが生息し海藻は着生していなかった（写真-3）。これは、ウニ放置区及び周辺のウニが、前年6月以降にまだ餌となるコンブがウニ除去区に存在していたため除去区に移動し、再びコンブを摂餌したことが原因であると推察される。このように、除去したウニは、3ヶ月から1年間の短期間に再び蟻集することが確認された。

このためコンブの繁茂期までの間ウニの進入を防ぎ藻場を維持する目的で、目視観測後にウニ進入防止ネットを小段法肩部に敷設し、ウニ進入防止効果の検証を行った。ウニ進入防止ネット設置後の、平成11年6月から8月までのホソメコンブの残存率及び平成12年6月から8月までの海藻残存率を図-8に示す。

平成11年の調査では、ネット設置区の残存率が0.65以上あるのに対し、ウニ放置区では、0.4程度でネットの効果があったと考えられる。平成12年は、江良漁港全体のホソメコンブの生長が著しく悪かったため、海藻の残存率を示しているが、ネット設置区とウニ放置区を比較しても大差ない結果になった。これは、調査時にウニ進入ネットが波浪及びネットの劣化等の影響により破損しておりウニ進入防止効果がなくなっていた影響であると推察される。

平成12年6月（施工後44ヶ月）は、ホソメコンブの着生はほとんどなく、かわってワカメ、モク類（アカモク等）が出現した（写真-4）。

ホソメコンブの着生が悪い原因が、年変動かウニの食害の影響なのかは、現時点では解らないが、今後も藻場生育状況調査等を継続し、藻場の変遷を観察する予定である。

## ②寿都漁港

寿都漁港は、日本海側に面した第3種漁港で、第2北外防波堤の建設に背後小段構造を採用している（図-9、10）。調査は、平成7年度～平成9年度に施工した構造物を対象に行っている。寿都漁港では、背後小段部の海藻着生に有効な材料の基質と形状を把握するため、表-4に示す試験ブロックを小段上に設置し、藻類着生について調査を行った。

ブロック設置後1年目は、海藻及びコンブの現存量が多くなっている。しかし、2年目以降は現存量が減少し、3年目の平成12年には、全ての試験ブロックでほとんど海藻が着生していない状況になった（図-11）。これは、平成11年7月の調査前にキタムラサキの稚ウニ2万個が背後小段上に放流されたことによるものと考えられる。なお、平成11年7月調査時には多数の稚ウニが確認されており、海藻にかかる食圧は相当なものであったと推察される（写真-5、6）。

## ③元地漁港

元地漁港は、日本最北限の島、礼文島西部に位置する第4種漁港で、北島防波堤整備に伴い、平成8年度に防波堤背後に水深2.5mと3.5mの背後小段を設置した（図-12、13）。

図-14に、背後小段上における海藻現存量の推移を示す。設置1年後の平成9年8月には、小段上全面にリシリコンブ群落が形成されていた。しかし、平成10年8月にはコンブ群落が消失し、単年生緑藻類であるアオサを主体とした海藻が一部着生したものの、全体的に現存量は大きく減少した。これは、小段上に高密度でウニが生息していたことか

らウニの食圧による影響と考えられる。なお、小段上へは、ウニの放流は行われていないことから、小段上のウニは、周辺から蝟集したものと考えられる。その後、平成11年8月には、藻場がやや回復しコンブ、スジメなどの群落が生息していた。

平成12年8月には、海藻現存量が前年よりさらに増加し、水深別では水深2.5mがコンブの割合が高く、水深3.5mは、2.5mと比較して海藻着生量が少なく、アオサ(36.5%)の占める割合が多くなっていた(写真-7)。さらに、元地漁港でも、小段上における藻場を維持する目的から、ウニ進入防止ネットを設置し、その効果の検証実験を行っている(写真-8)。実験に使用したネットは、チェーンに刺し網を巻き付けた構造で、ネットに囲まれた場所は、ウニが侵入出来ない構造になっている。ネットの設置は、小段上にある2種類の基質(被覆ブロック、鉄筋かご)で行った。また、ネット設置後にウニの除去を行っている。実験の結果、被覆ブロック上ではネット内の海藻現存量(平均2,048kg/0.25m<sup>2</sup>)が、ネット外(794.8kg/0.25m<sup>2</sup>)より多く、ウニの進入を防止する効果があると考えられる(図-15)。

一方、鉄筋かごは、石の空間からウニが侵入できるため、ネット内外で差がなく、ネットによるウニの進入防止効果は低いと考えられる。

なお、1年後のネットの状態は、破損・損傷が激しく、周辺と同等数のウニが確認された。そのため、今回実験に使用した刺し網製のネットは劣化が激しく、効果を維持するには耐久性に問題があると考えられる。

#### (1-2) 低天端傾斜堤背後小段(様似漁港)

様似漁港の西護岸前面は、良質なミツイシコンブの群落が形成され、漁業者にとって格好の漁場となっている。そのため、護岸建設にあたっては、既存コンブ群落の保全と新たなコンブ群落の創出を図る必要があり、護岸消波部を護岸本体から分離した、傾斜堤背後小段構造が採用された(図-16、17)。

調査箇所は、背後小段と同一水深(3.9m)の傾斜堤前面及び背後小段、周辺岩礁である。

傾斜堤及び小段上の海藻現存量は、施工後1年を経過した段階で、天然岩礁と同程度まで増加し、施工後3年以降は、小段上が天然岩礁・傾斜堤を上回っていたが、5年目の平成11年7月には、天然岩礁と同程度に減少した。一方、小段上に出現した海藻の種類数は、小段設置当初は少ないものの、時間経過とともに天然岩礁と同程度になってきている(図-18、19)。

なお、平成10年秋季に中間育成されたウニが放流されたため、傾斜堤基部から中央部にかけての比較的流速が遅い箇所へウニが進入し、コンブを摂餌していることが確認された。しかし、中央部から先端部にかけての比較的流速が速い箇所は、ウニの進入が少なく食圧が低減されたためミツイシコンブが繁茂していた(写真-9)。

低天端傾斜堤背後小段上の流速は、天端が低く波が透過しやすいことから、通常天端傾斜堤背後小段上の流速に比べ、速くなっている。そのため、基部から中央部でウニの摂餌が確認されているものの、全体的には、良好な藻場が形成されている。

#### (1-3) 消波工前面小段(浦河港)

浦河港は、日高沿岸の太平洋に面した港湾で、防波護岸の改良にあたり、前面消波工部に小段を設けて、消波性能の向上と藻場創出機能を付加した構造に改良している(図-20)。前面小段は、平成5年に大割石とコンクリートブロックで施工している(図-21)。調査箇所は、前面小段部、小段近傍の消波工及び天然岩礁で、調査水深は小段と同一の3.0mである。

前面小段(大割石・コンクリート)の海藻現存量及び種類数は、季節・年変動を伴いな

がら天然岩礁・消波工部とほぼ同程度で推移し、海藻の着生状況は概ね良好であると考えられる（図-22、23）（写真-10、11）。

一方、ウニは、同一水深の天然岩礁では確認されているが、前面小段ではウニの種苗が放流されているにもかかわらず、ほとんど確認されていない。これは、前面小段上の流速が速く、ウニが小段上に進入できないためと考えられる。従って、前面小段は、小段上に形成された海藻群落に対するウニの食圧を低減するのに有利な構造形式であると考えられる。

#### （1-4）潜堤（杓形港）

杓形港は、北海道北部利尻島に位置する港湾である。西側の護岸を改良する工事は、波浪の減少と藻場の創出機能を付加する目的から、沖合潜堤構造で行っている（図-24、25）。調査箇所は、潜堤上、護岸、潜堤と護岸間の岩礁域で実施している。潜堤にはコンブを主体とした藻場が平成8年以降継続して形成され（写真-12）、現存量は水面付近で多くなっているが、内側水深8mの深部でもリシリコンブが多く着生していた（写真-13）。

また、リシリコンブに混じって多年生のホンダワラ類も出現し、海藻種類数も20種類以上ある。潜堤と護岸間の岩礁域では、浅海地点でリシリコンブ、水深10mではワカメ、ハケサキノコギリヒバ、水深14m以深ではアナメが優占しており、平成7年の施工前と比べ大きな変化はない（図-26）。

護岸の消波ブロックでは、水深2m以浅では、リシリコンブが優占し、深部ではスジメ等も確認されている。

以上の様に、杓形港の潜堤では、ウニによる食圧の影響もなく、継続してコンブを主体とした藻場が形成・維持されている。また、周辺の護岸や海底面の藻場は、潜堤設置前後で変化が少なく、周辺藻場への潜堤の影響は小さいものと考えられる。

#### （1-5）藻場上の流速環境調査（江良漁港、様似漁港、忍路海岸、井寒台）

川俣（1994）<sup>9)</sup>は、食害の原因となるウニの摂餌行動は、流速が25cm/s以上になると急激に減少し始めるとしている。そこで、ここでは摂餌限界流速（25cm/s）以下の流速が各季節毎に何%あるかを示す累加出現率を1つの指標として、構造形式が違う江良漁港（通常天端傾斜堤背後小段）と様似漁港（低天端傾斜堤背後小段）、ウニによる食害が多い忍路海岸と少ない井寒台について検討した。

上記4箇所の季節毎の摂餌限界流速累加出現率を図-27にまとめた。図中には各地の“食害を生じていない”ことが判明している時期を太線で示した。これは摂餌が無いの意味ではなく“食害が目立たない”あるいは“摂餌を受けても藻場が形成し存続可能な”状況を示すものである。太平洋側である様似漁港と井寒台では、年間を通じて摂餌限界流速以下の累加出現率は約30~50%とあまり変化がなく、摂餌限界流速以下の来襲波浪がほぼ一定であることを示している。それに対し日本海側である江良漁港と忍路海岸では、冬季に時化、夏季に静穏となる日本海海域特性のため、ウニの食圧が極めて大きくなることが現地調査で観察されている。夏季は、摂餌限界流速以下の累加出現率が約60~90%と高くなっている。これらの結果から藻場形成の最盛期である春季（3,4,5月）における各地の“食害を生じていない”摂餌限界流速の累加出現率は30~40%以下と推察される。ただしウニの摂餌行動は流速以外に水温、ウニの種類、大きさなどにも影響され、他の条件により変動幅もあると思われる。また、日本海側は夏の静穏期には特に食害を受けやすい環境になることも確認できた。

#### （2）水理模型実験結果

## (2-1) 消波堤の構造形式別に流速を把握する実験

### ①小段水深による流速の比較

小段水深の設定がその流速環境に大きく影響すると考えられている。そこで小段水深による流速の比較を行い、その特徴を調べた。図-28、29には水理模型実験の1例(数値は現地換算)として、入射波高 $H1/3=1\text{m}$ を作用させたときの通常天端傾斜堤背後小段(江良漁港)と消波堤前面小段(浦河港)の小段水深を変化させた場合の小段上の流速を示した。通常天端傾斜堤背後小段では小段水深 $-4\text{m}$ のとき小段流速は $V1/3=33\sim 18\text{cm/sec}$ ( $T=1\sim 5\text{s}$ )と小さいことから、ウニの摂餌行動を抑制するには不利である。また小段水深による流速変化もきわめて小さく、ウニの食害低減を目的として小段水深を小さくしても、流速の増加は期待できないことが分かる。一方、消波堤前面小段(浦河港)では、同じ小段水深で約4倍の流速( $120\sim 70\text{cm/sec}$ )となり、小段水深が小さくなるとその流速増加も著しい。そのため小段水深を変化させることによるウニの摂餌行動を抑制することも可能となり、ウニの食害低減を目的とした構造には適していると考えられる。

### ②断面構造による流速の比較

断面構造による流速の比較のため、条件を一定( $H1/3=1.0\text{m}$ ,  $T=8\text{s}$ )としたときの小段水深を変化させた時の構造形式別の小段流速を図-30に示す。低天端背後小段が通常天端背後小段よりも小段流速が大きくなっているのは、低天端のため越波しそれが小段流速に影響を与えたと考えられる。前面小段は低天端背後小段や通常天端背後小段よりも小段流速が大きくなっており、天然コンブ場とほぼ同じ値であった。しかも、小段水深を小さくした場合の小段流速の増加も他の構造形式より大きい。これらのことから、ウニによる食害低減を重視する場合には、前面小段が最も有利な構造であると考えられる。

## (2-2) 蓄養施設一体型ケーソンの海水交換特性を把握する実験

### ①スリット部開口率の比較

遊水部不透過壁天端高 $+4\text{cm}$ 、遊水部奥行 $30\text{cm}$ 、導水孔面積 $200\text{cm}^2/80\text{cm}$ 、生簀部奥行 $35\text{cm}$ 、排水孔面積 $25\text{cm}^2/80\text{cm}$ の条件で、波高と導水孔内平均流速の関係を、水位別にスリット部開口率 $30\%$ と $50\%$ について比較した結果を図-31に示す。遊水部不透過壁天端高と水位との相対水深別に比較すると、スリット部開口率 $50\%$ の方が $30\%$ よりも導水孔内平均流速が概ね2割大きいことから、海水交換量も概ね2割多い。これは、開口率が大きいほど港外側からの遊水部への海水流入量が多くなり、その結果遊水部の平均水位が高くなったためと考えられる。よって、今後の実験におけるスリット部開口率は、海水交換に有利と考えられる $50\%$ で行うこととした。

### ②遊水部不透過壁天端高の比較

スリット部開口率 $50\%$ 、遊水部奥行 $30\text{cm}$ 、導水孔面積 $200\text{cm}^2/80\text{cm}$ 、生簀部奥行 $35\text{cm}$ 、排水孔面積 $25\text{cm}^2/80\text{cm}$ の条件で、波高と導水孔内平均流速の関係を、水位別に遊水部不透過壁天端高 $+4\text{cm}$ 、 $+8\text{cm}$ 、 $+12\text{cm}$ について比較した結果を図-32に示す。遊水部不透過壁天端高さの違いによる導水孔内平均流速に明瞭な差は見られなかった。これは、遊水部不透過壁天端高を3種類変えて実験を行ったが、各々の実験ケースでは遊水部不透過壁天端高と水位との相対水深は同じであり、作用させている波高も同じであることから、水深の違いによる影響は導水孔内平均流速に明確な影響を与えるほどではなかったと考えられる。よって、今後の実験における遊水部不透過壁天端高は、水位が低い範囲から高い範囲を網羅するために $+4\text{cm}$ で行うこととした。

### ③遊水部奥行

スリット部開口率 $50\%$ 、遊水部不透過壁天端高 $+4\text{cm}$ 、導水孔面積 $200\text{cm}^2/80\text{cm}$ 、生簀部

奥行35cm、排水孔面積25cm<sup>2</sup>/80cmの条件で、波高と導水孔内平均流速の関係を、水位別に遊水部奥行20cm, 25cm, 30cmについて比較した結果を図-33に示す。遊水部奥行について、20cm, 25cmが30cmより導水孔内平均流速が若干大きい、遊水部奥行の違いによる明瞭な差は見られなかった。よって、今後の実験における遊水部奥行は、30cmで行うこととした。

#### ④導水孔面積の比較

スリット部開口率50%、遊水部不透過壁天端高+4cm、遊水部奥行30cm、生簀部奥行35cm、排水孔面積25cm<sup>2</sup>/80cmの条件で、波高と導水孔内平均流量の関係を、水位別に導水孔面積200cm<sup>2</sup>/80cmと400cm<sup>2</sup>/80cmについて比較した結果を図-34に示す。導水孔面積については、導水孔内平均流量は波高が小さい範囲では200cm<sup>2</sup>/80cmの方が大きい、波高が大きくなると400cm<sup>2</sup>/80cmの方が大きくなる傾向が見られた。今後の実験における導水孔面積は、低波浪時の海水交換に有利と考えられる200cm<sup>2</sup>/80cmで行うこととした。

上記(1)～(4)の検討結果より、海水交換能力に主眼を置いて決定したウニ蓄養施設一体型ケーソンの各諸元を表-5に示す。この各諸元値を用いた模型を使用し、水位を40cmから2cm間隔で54cmまで変化させて実験を行った。

#### ⑤相対水深(遊水部不透過壁天端高-水位)と導水孔内平均流速との関係

結果を図-35に示す。すべての相対水深において波高の増大に伴い導水孔内平均流速が増加している。これは、波高の増大に伴い遊水部の水位が高くなったためと考えられる。また、相対水深が小さいほど導水孔内平均流速は大きい。これは、遊水部不透過壁天端高が水位より高くなると、遊水部不透過壁を越える波が相対水深=0cmの場合に比べると減少することから導水孔内平均流速が小さくなると考えられ、逆に遊水部不透過壁天端高が水位より小さくなると、常に波高により海水が生簀部内へ流入するが、遊水部不透過壁が水位よりも低いことから流入してきた海水が相対水深=0cmの場合よりも港外側に戻る量も増加するので、平均流入量としては小さくなると考えられ、これらの現象は相対水深の大小に従って顕著になると考えられる。

#### ⑥導水孔と排水孔の平均流量の関係

結果を図-36に示す。すべての相対水深において波高の増大に伴い導水孔と排水孔の平均流量が増加し、その流量は相対水深が小さいほど概ね大きい。これは、上記(1)の相対水深と導水孔内平均流速との関係に基づくものと考えられる。また、若干のばらつきはあるが、導水孔と排水孔の平均流量は概ね等しい。

#### ⑦導水孔内平均流速と波高及び相対水深との関係

上記(1)での「導水孔内平均流速は①波高の増大に伴い増加する②相対水深が小さいほど大きい」という実験結果より、導水孔内平均流速と波高及び相対水深との関係を現地換算値で整理したのが図-37である。波高=20～50cm(現地換算値)において平均流速波高比と相対水深波高比の関係を次式(1)で近似できる。

$$hc/H_{1/3} < 0 \text{ の時 } V/(H_{1/3})^2 = 0.0071(hc/H_{1/3})^2 + 0.0144(hc/H_{1/3}) + 0.0069$$

$$0 \leq hc/H_{1/3} \text{ の時 } V/(H_{1/3})^2 = 0.0004(hc/H_{1/3})^2 - 0.0025(hc/H_{1/3}) + 0.007$$

この近似式に対象とする港湾・漁港の波高と潮位(相対水深)のデータを代入することにより、今回の模型を用いた場合の導水孔内平均流速を算出することができる。なお、一般的に遊水部付有孔堤の導水孔内平均流速は、水位が遊水部不透過壁天端高より大きく、かつ小さい波高の条件では往復流が卓越するので、一方向の平均流はあまり生じずらい。しかし本実験においては、 $hc/H_{1/3} \approx 3$ を越えても平均流が生じているのは、導水孔背後に生簀部を有する複雑な形状であることが原因であると思われるが、十分な解明ができなかった。

## 4. 考察

藻場現存量調査と水理模型実験の結果から、創出藻場を育成・維持させるためには、摂餌限界流速(25cm/s)の累加出現率が30~40%以下と推察され、消波堤の構造形式は、藻場の創出箇所である小段を前面側に施工したほうが有利であることがわかった。よって、今後、藻場創出機能を付加させた消波堤を施工する場合は、施工海域の波浪状況と上記の結果を考慮することにより、藻場の育成・維持に関して良好な結果が得られると考えられる。現在ウニによる食害がある場合の対策方法として、ウニの除去、ウニ進入防止ネットの設置を行うことは、藻場の育成・維持に関して有効であると考えられる。

また、除去したヤセウニの身入りをよくするための支援型構造物(蓄養施設一体型ケーソン)の低波浪時における生簀内の海水交換特性を把握したことにより、今後、このような構造物を施工しウニの蓄養を行う場合には、生簀内の水質の管理や、適切なウニの蓄養数の把握に利用できると考えられる。なお、経済性の観点では、生簀部の価格はその形状にもよるが消波堤の本体価格と比較して高額ではなく、施工性の観点では、通常の消波堤と同様の施工方法で施工できることから、十分実用が可能と考えられる。

## 5. 摘要

### (1) まとめ

- ①通常天端型傾斜堤背後小段は、流速が小さいためウニが生息しやすい環境が形成される。そのため、時間の経過とともにウニ類が蟄集し、ウニの食害の影響により藻場が大幅に減少、あるいは消失するような場合がある。
- ②低天端型傾斜堤背後小段は、小段上の流速がウニの摂餌限界近くにあるため、小段上で比較的流速の遅い場所や時期によって、ウニの食害を受ける場合があるものと考えられる。
- ③前面小段及び潜堤は、小段または潜堤上の流速が速いためウニの進入もほとんどなく、食害による影響は少ないものと考えられる。
- ④創出藻場を育成・維持するための対策としての、ウニの除去、ウニ進入防止ネットの設置の効果は良好である。
- ⑤蓄養施設一体型ケーソンの水理模型実験における海水交換については、スリット部開口率は50%の方が30%よりも、導水孔面積は低波浪時の条件であれば200cm<sup>2</sup>/80cmの方が400cm<sup>2</sup>/80cmよりも促進される。また、相対水深(水位-遊水部不透過壁天端高)が0に近いほど海水交換が促進される。

### (2) 今後に向けて

- ①今後は、コンブの着生状況の把握、生育段階又は最盛期における藻場現存量、流速環境とウニの集まり方などについて、既往の文献データも用いて、現地モニタリング調査を継続して行い、その結果による検証を行う必要がある。

## 6. 引用文献

1) 川俣 茂・足立久美子・山本正昭(1994)；キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響,平成6年度水産工学会学術講演会論文集, pp.85-88



図-1 蓄養施設一体型ケージ

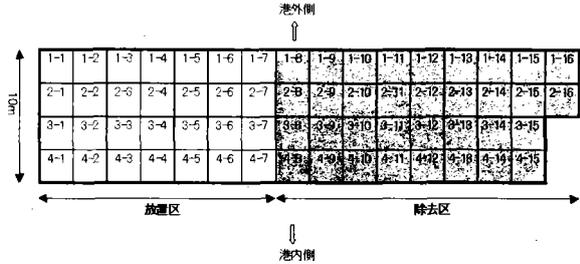


図-6 ウニの除去範囲図

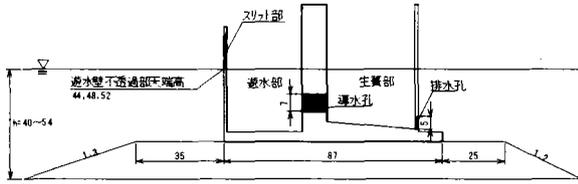


図-2 模型実験断面図

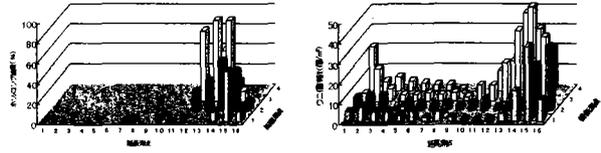


図-7 ウニ除去3ヶ月後のホソメコンブとウニの分布

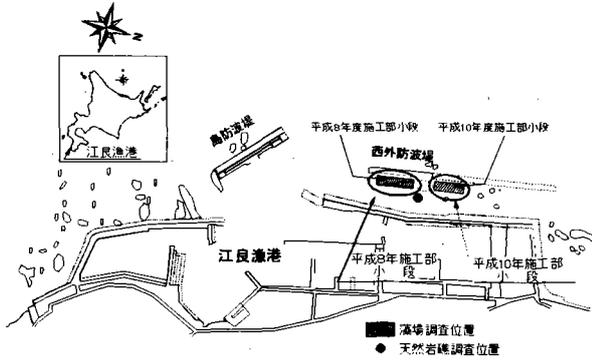


図-3 江良漁港平面図

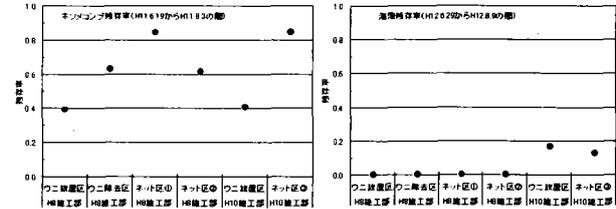


図-8 ホソメコンブの残存率 (H11.8) (左)  
海藻の残存率 (H12) (右)

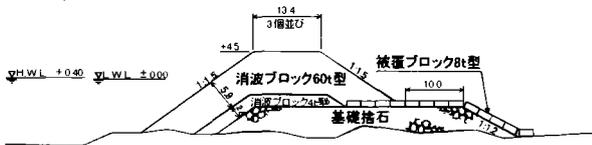


図-4 西外防波堤標準断面図

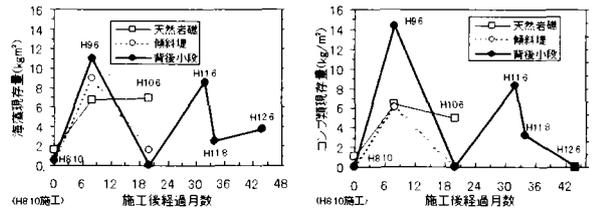


図-5 ウニ放置区の海藻現存量とコンブ類現存量の推移

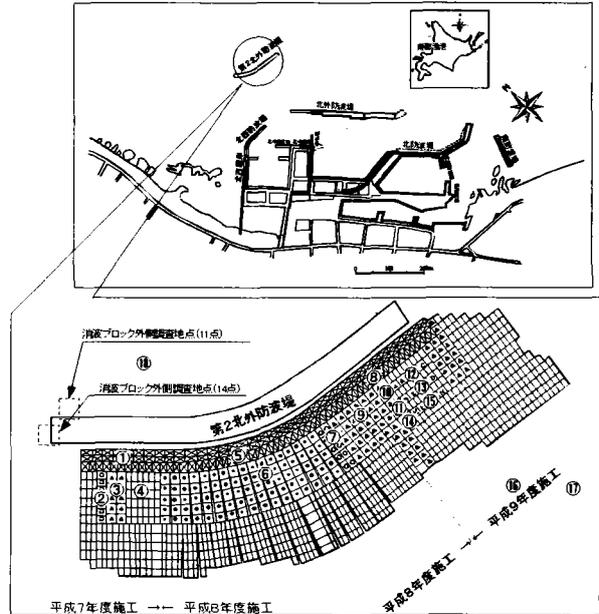


図-9 寿都漁港平面図と小段上ブロック配置図

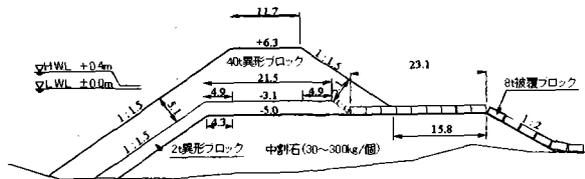


図-10 第2北外防波堤標準断面図

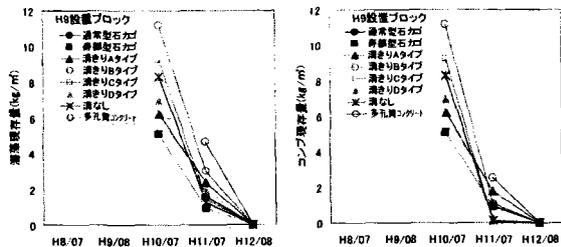


図-11 平成9年度設置ブロックの海藻及びホソメコンブの推移

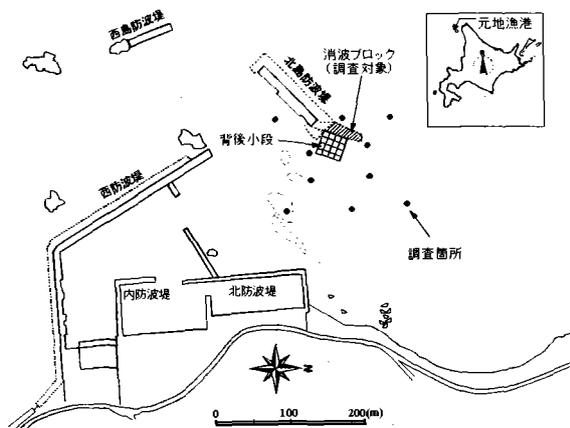


図-12 元地漁港平面図

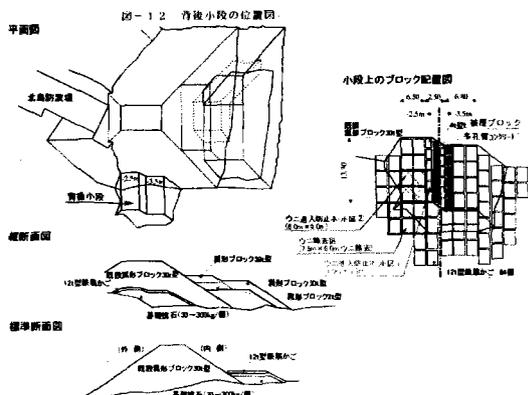


図-13 島防波堤の標準図

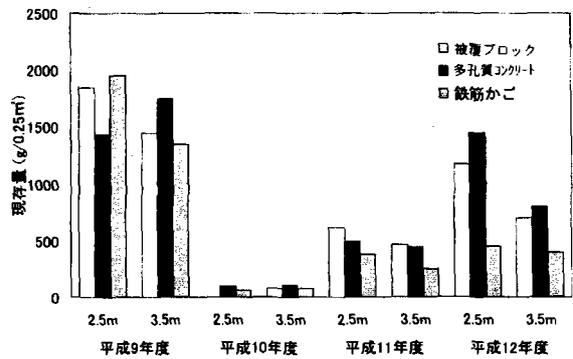


図-14 背後小段上での海藻現存量

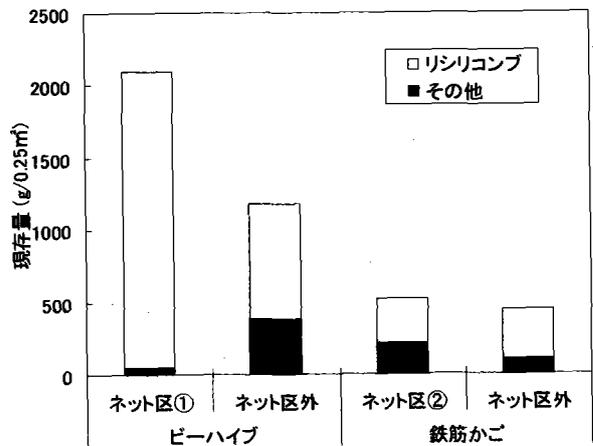


図-15 ウニ進入防止ネットの効果

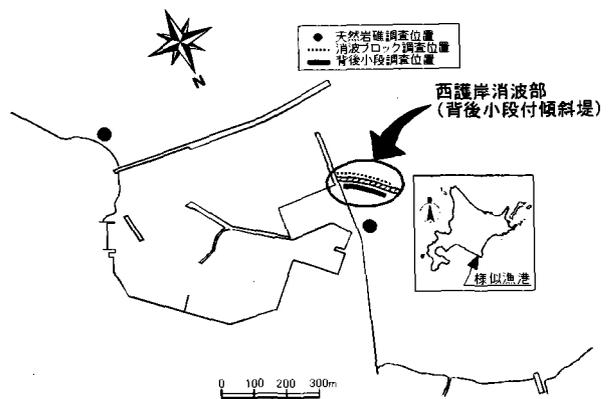


図-16 類似漁港平面図

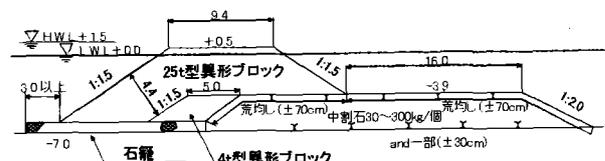


図-17 低天端傾斜堤背後小段標準断面図

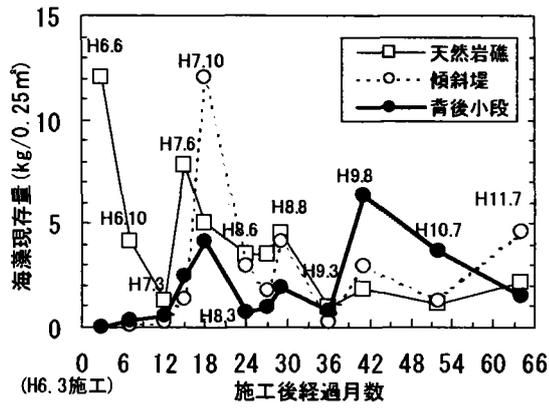


図-18 海藻現存量の推移

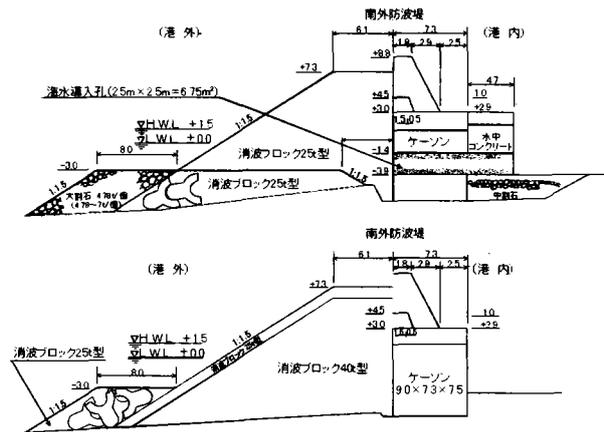


図-21 前面小段標準断面図

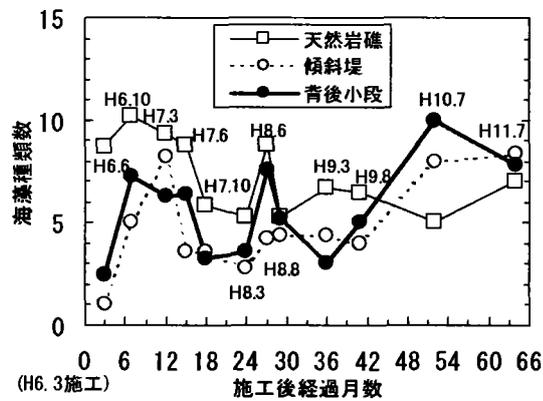


図-19 海藻種類数の推移

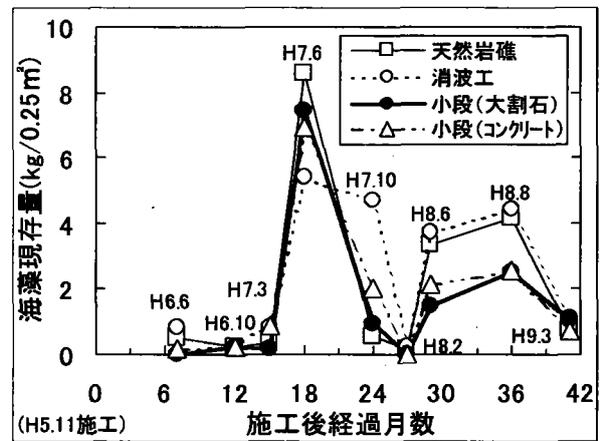


図-22 海藻現存量の推移



図-20 浦河港平面図

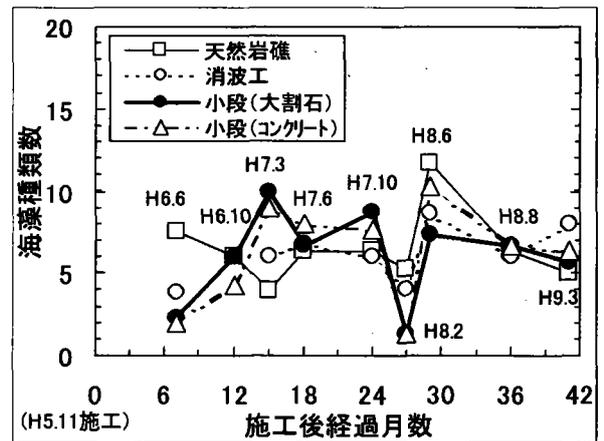


図-23 海藻種類数の推移

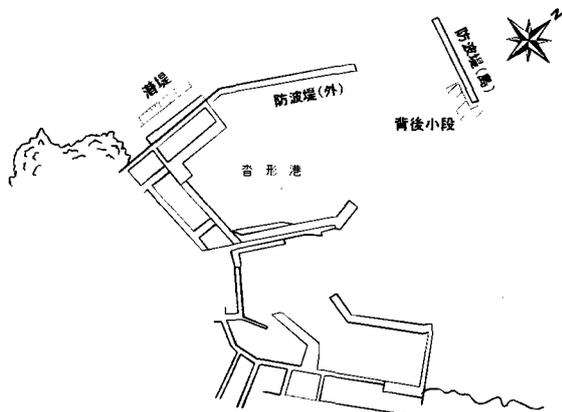


図-24 杓形港平面図

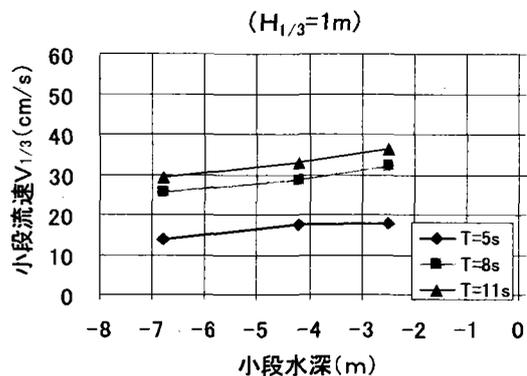


図-28 通常天端傾斜堤背後小段上の流速

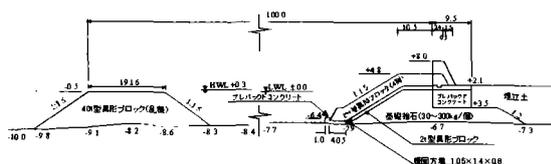


図-25 潜堤及び護岸標準断面図

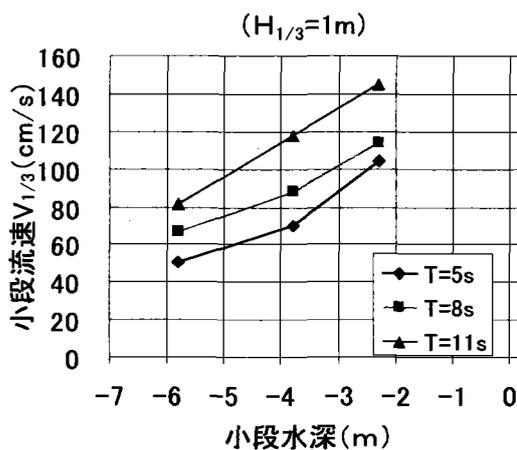


図-29 消波堤前面小段上の流速

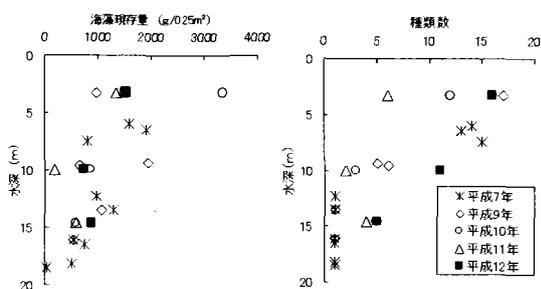


図-26 潜堤と護岸間の海底面における海藻現存量と種類数の推移

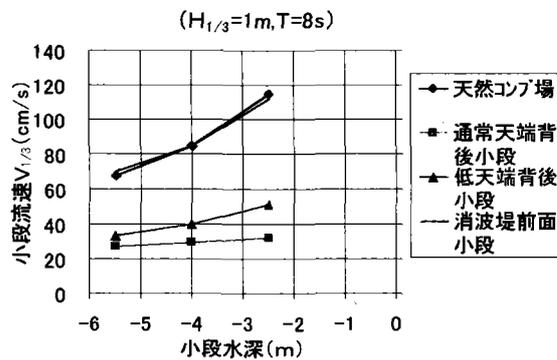


図-30 構造形式別の小段流速

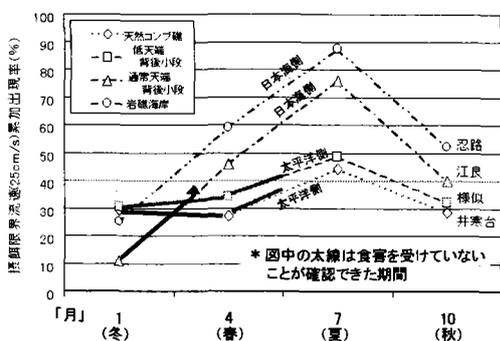


図-27 季節毎の摂餌限界流速累加出現率

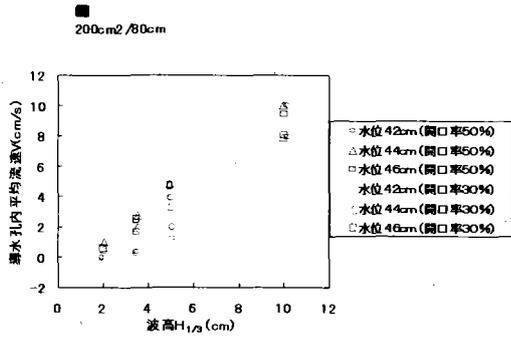


図-31 スリット部開口率の比較

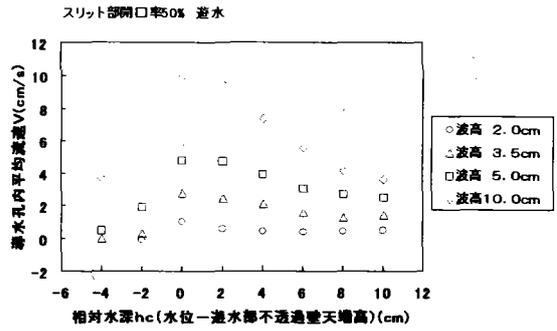


図-35 相対水深と導水孔内平均流速との関係

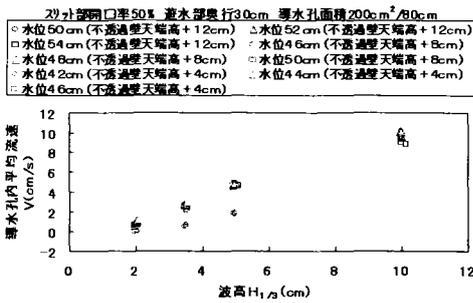


図-32 遊水部不透過壁天端高の比較

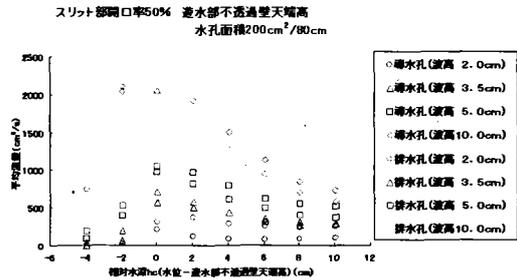


図-36 導水孔と排水孔の平均流量との関係

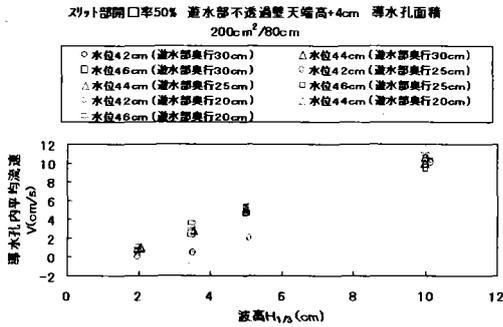


図-33 遊水部奥行の比較

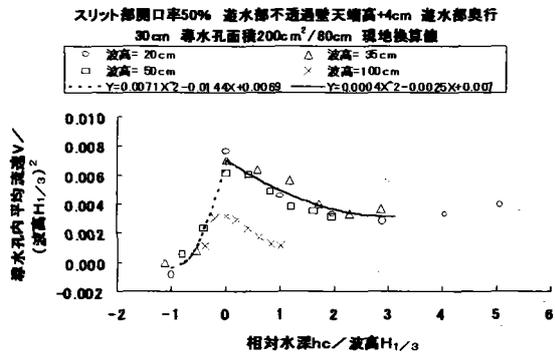


図-37 導水孔内平均流速波高比と相対水深波高比との関係

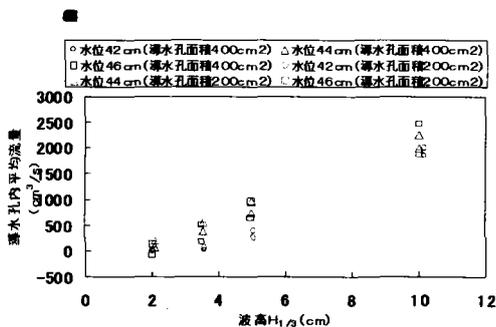


図-34 導水孔面積の比較

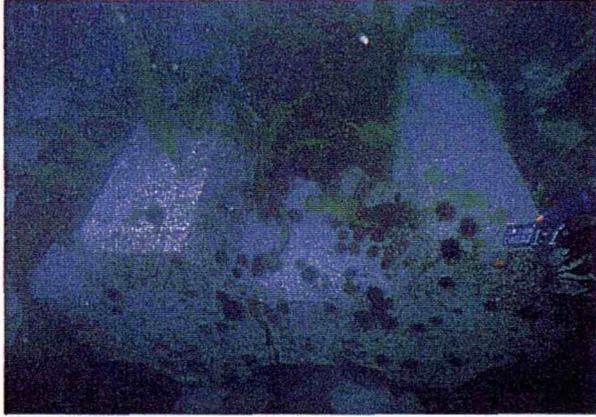


写真-1 小段上の状況 (平成9年6月撮影)



写真-6 平成12年8月撮影

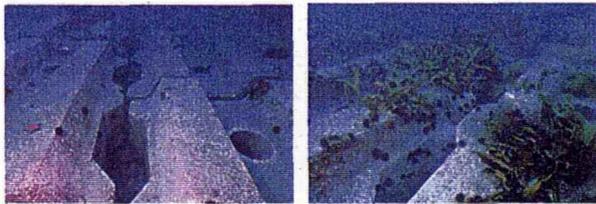
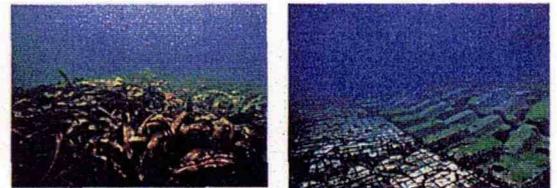


写真-2 ウニ放置区 (左) と除去区 (右) (平成10年6月撮影)



平成9年8月撮影

平成10年8月撮影

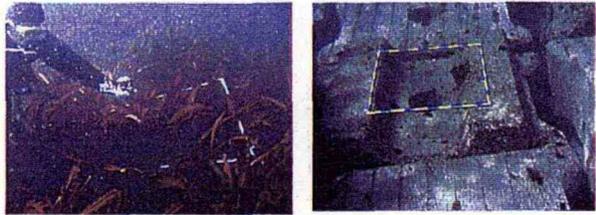
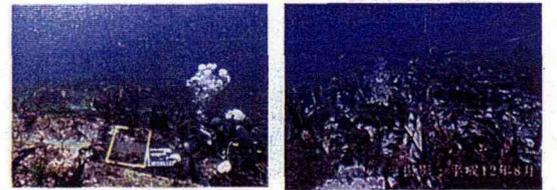


写真-3 ウニ放置区 (左) と除去区 (右) (平成11年6月撮影)



平成11年8月撮影

平成12年8月撮影

写真-7 藻場の形成状況の推移

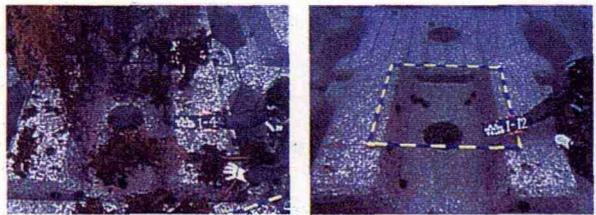


写真-4 ウニ放置区 (左) と除去区 (右) (平成12年6月撮影)



撮影：平成11年9月

写真-8 ウニ進入防止ネット設置状況



写真-5 稚ウニ放流前 (左) (H11.6)  
稚ウニ放流後 (右) (H11.7)



写真-9 小段上窪基部及び先端部  
海藻着生状況 (平成12年6月撮影)

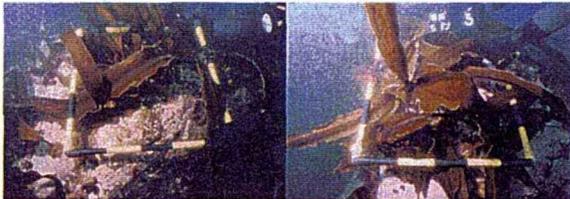


写真-10 平成9年度撮影  
小段上中割石 (左) 小段上コンクリート (右)



写真-11 平成12年度撮影  
小段上中割石 (左) 小段上コンクリート (右)



写真-12 潜堤 平成11年度撮影 (左)  
平成12年度撮影 (右)



写真-13 水深8m深部の状況

表-1 消波堤の構造形式別による調査

構造形式	港名
傾斜堤背後小段	様似漁港、杓形港、寿都漁港 元地漁港、江良漁港
消波工前面小段	浦河港
潜堤	杓形港

表-2 食害の有無による調査海域

食害の多い海域	忍路海岸
食害の少ない海域	井寒台

表-3 測定比較項目

項目	実験値	現地換算値
スリット部開口率	30%、50%	30%、50%
遊水部不透過壁天端高	+4cm、+8cm、+12cm	+40cm、+80cm、+120cm
遊水部奥行	20cm、25cm、30cm	2.0m、2.5m、3.0m
導水孔面積	200cm <sup>2</sup> /80cm、400cm <sup>2</sup> /80cm	2m <sup>2</sup> /8m、4m <sup>2</sup> /8m
生養部奥行	35cm	3.5m
排水孔面積	25cm <sup>2</sup> /80cm	0.25m <sup>2</sup> /8m
水位	遊水部不透過壁天端高に対し -2cm、±0cm、+2cm	遊水部不透過壁天端高に対し -20cm、±0cm、+20cm

表-4 試験ブロックの種類と設置年度

①通常型石かご(H7設置)	②割石埋込型方塊(H7設置)
③通常型石かご(H7設置)	④被覆ブロック(H7設置)
⑤通常型石かご(H8設置)	⑥大島型石かご(H8設置)
⑦割石埋込型方塊(H8設置)	⑧通常型石かご(H9設置)
⑨寿都型石かご(H9設置)	⑩溝きりAタイプ(H9設置)
⑪溝きりBタイプ(H9設置)	⑫溝きりCタイプ(H9設置)
⑬溝きりDタイプ(H9設置)	⑭多孔質コンクリート(H9設置)
⑮溝なしタイプ(H9設置)	⑯天然岩礁(消波ブロック内側)
⑰天然岩礁(消波水深4m)	⑱天然岩礁(消波ブロック内側)

表-5 海水交換能力に主眼を置いて決定  
したウニ蓄養施設一体型ケーソンの各諸元

項目	実験値	現地換算値
スリット部開口率	50%	50%
遊水部不透過壁天端高	+4cm	+40cm
遊水部奥行	30cm	3.0m
導水孔面積	200cm <sup>2</sup> /80cm	2m <sup>2</sup> /8m
生養部奥行	35cm	3.5m
排水孔面積	25cm <sup>2</sup> /80cm	0.25m <sup>2</sup> /8m