

## 傾斜堤による袋間内の波浪制御について

Wave Control with a Sloping Breakwater in Open Spaces along Shore Platform

佐藤 仁\* 明田 定満\*\* 谷野 賢二\*\*\*

Jin SATOH, Sadamitsu AKEDA and Kenji YANO

北海道日本海沿岸域において、ウニ・アワビなどの増養殖場として、岩礁地帯に点在する「袋間」地形を利用することが考えられている。その際、増養殖場内の静穏度を確保するために必要な消波施設の規模配置について、水理模型実験および非定常緩勾配方程式を用いた数値計算によって検討した。

〈増養殖場；環境制御；非定常緩勾配方程式；ウニ〉

Utilization of open spaces along the shore platform of the Sea of Japan in Hokkaido has been considered as culture grounds to increase the numbers of such marine organisms as sea urchin and abalone by means of controlling the environmental conditions.

In this study, hydraulic model tests and numerical simulation using the time-dependent mild slope equation method have been carried out to examine the optimum layout of breakwaters to ensure calm, favorable conditions for the marine organisms within the culture grounds.

Keywords : culture ground, control of environmental conditions, time-dependent mild slope equation method, sea urchin.

## 1. はじめに

北海道日本海沿岸域において、磯焼けの原因とされるウニ類（主に、キタムラサキウニとエゾバフンウニの2種類）の摂餌圧を低減させることが、磯焼け対策として有効であることが実証されている<sup>1)</sup>。そのため、磯焼け対策の一環として、北海道日本海沿岸域の磯根に高密度に分布しているウニ類を適正密度以下に除去するとともに、除去したウニ類を平磯地帯に点在する「袋間」（図-1）に放流し、集中的に給餌養殖することにより、北海道日本海沿岸域の生産性

の低い平磯地帯をウニ養殖場として、高度に利用しようとする方策が提案されている<sup>2)</sup>。しかしながら、北海道日本海沿岸域の平磯には、ウニ養殖場に適する静穏水面が少なく、現状のままでは養殖場としての利用が困難なため、ウニ養殖場の整備を図るためには、ウニ類の生息環境に適応した波浪制御施設の整備が必要となっている。

本論では、波浪制御施設の規模配置を検討するために、袋間前面に設置するブロック積傾斜堤の規模配置と袋間内静穏度との関連を水理模型実験および非定常緩勾配方程式を用いた数値

\*水産土木研究室員 \*\*同室副室長 \*\*\*同室長

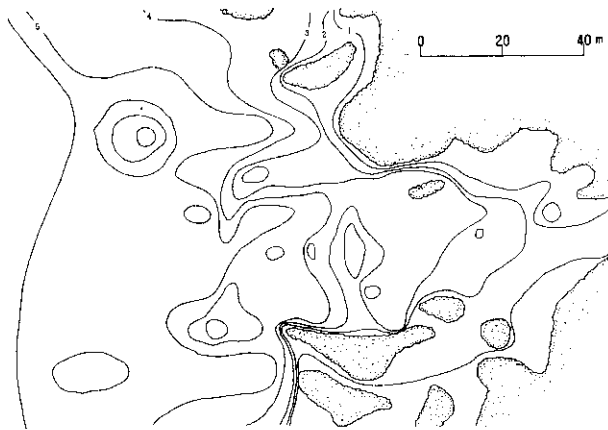


図-1 「袋間」の例（北海道松前町札前地先）

計算を実施したので、その概要を報告する。

## 2. 平磯を利用した増養殖水面

北海道日本海沿岸域に点在する平磯地帯の袋間を、ウニ・アワビなど磯根生物の増養殖場として利用する利点として、以下の点があげられる。

- a. 自然の袋間地形を養殖水面として利用するため、生息環境の整った所要の静穏域を経済的に確保しやすい。
- b. 陸上から、給餌や漁場監視などの維持管理作業を容易に行うことができる。

c. 自然の岩礁地形を利用した海水導入工を整備することにより、夏期の高水温や水質悪化を防ぎやすい。

上記のような特徴を生かして、北海道日本海沿岸域に点在する平磯地帯の袋間を増養殖場として整備する方法として、図-2に示す①～③のような造成方法が提案されている<sup>2)</sup>。

①の方法は、自然の磯場地形が形成した袋間（自然の増養殖水面）を利用し、消波施設と給餌などの維持管理作業が行いやすいように栈橋などを整備するものである。水面内はウニやアワビが生息しやすいように、岩盤掘削や転石、ブロックなどの設置により凹凸を設けることが望ましい。

②の方法は、平磯が幅広く分布している地域において、沖側の平磯を自然の消波施設として残し、岸側の平磯を掘削して増養殖水面を造成するものである。①の場合と同様に、水面内はウニやアワビが生息しやすいように、なるべく凹凸を残して掘削することが望ましい。この場合においても、給餌などの維持管理作業が容易にできるように栈橋などを整備するものである。

③の方法は、護岸整備の一環として、副次的に増養殖場を造成しようとするものである。護岸を低反射型のスリット形式の直立消波構造（あ

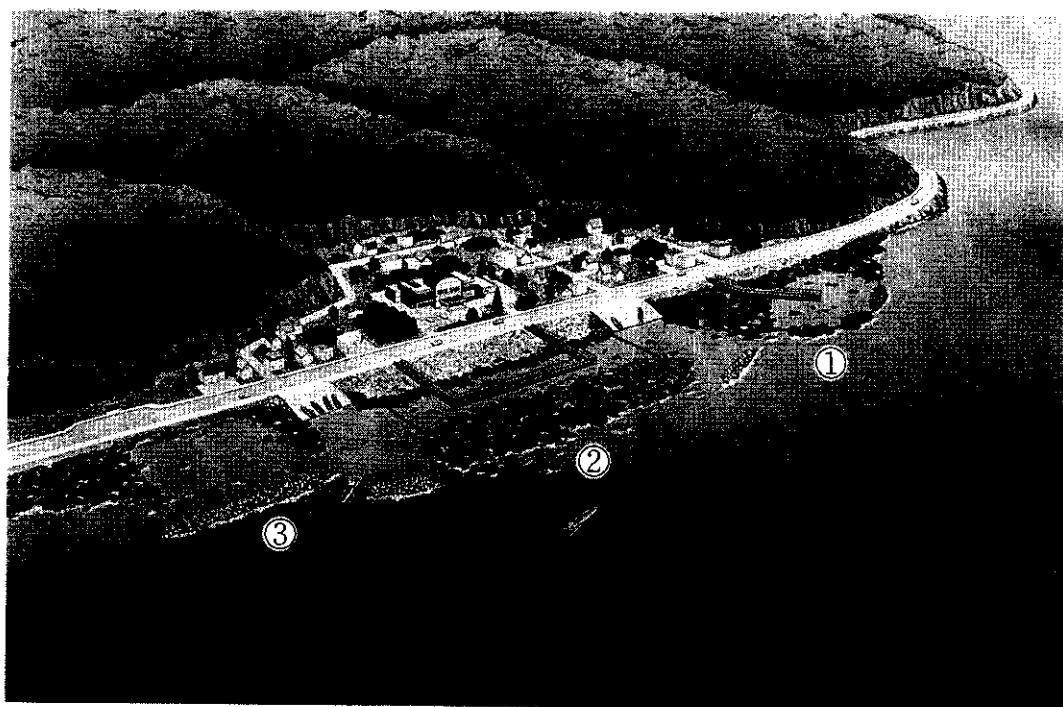


図-2 磯場を利用した増養殖水面

るいは、低反射型の緩傾斜護岸)とし、護岸の越波防止対策として沖合に離岸堤を設置することにより、離岸堤と護岸の間に造成される水面を増養殖場として利用する方法である。

平磯が比較的広く分布している場所においては、①や②の方法が整備手法として有効であり、平磯があまりない場所においては、③の方法で増養殖水面を造成することが考えられる。また、小規模な増養殖場の造成には①の方法が、大規模な増養殖場の造成には②③の方法が適していると考えられる。なお、平磯地帯に増養殖水面を造成する場合には、夏季の高水温や水質悪化を防ぐために、海水交換機能をあわせ持つ施設整備が重要である。

### 3. 水理模型実験による袋間内の静穏度

#### 3-1 実験方法

水理模型実験は、水面水槽にフルード相似則に従う縮尺1/50の模型を製作して行った。水路勾配は1/25として、水深10cmの一様水深部に

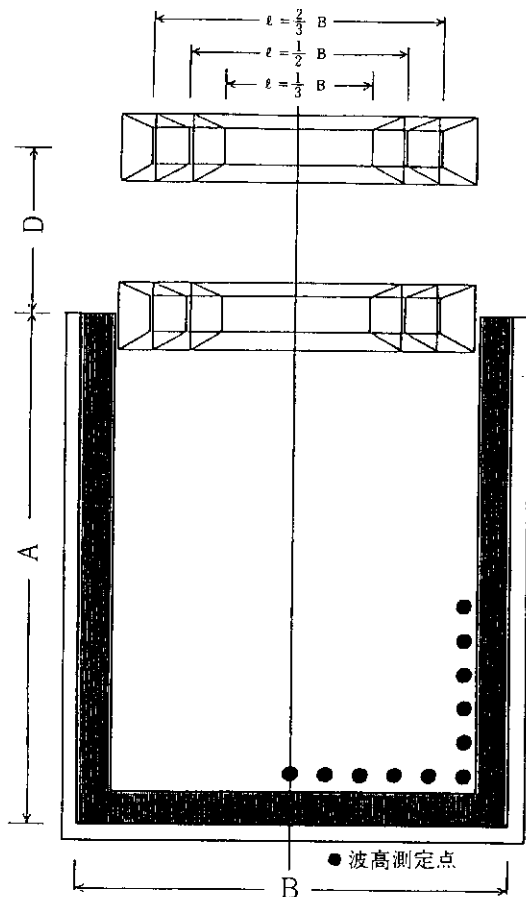


図-3 実験模型

袋間部分を設けた。造波機は、反射吸収式不規則波造波装置を使用した。

袋間および傾斜堤は、図-3に示すような構造と配置を設定した。袋間はモルタル製のブロックで基本的な矩形を作り、袋間周辺部分は碎石を盛ることによって磯場の平磯を再現した。模型の袋間内は側壁が直立壁になるため、反射率が実際の袋間内と異なると考えられるので、実際の袋間の反射率を $K_R \approx 0.7$ と仮定し、模型ではヘチマロン(新光ナイロン社製)および碎石(35~40g/個)で反射率を調整した。

袋間および傾斜堤模型の諸元を表-1に示す。袋間の形状は、開口部幅Bを固定し、奥行きAは2種類とした。袋間前面に配置する傾斜堤は、重量約200g(現地換算約25トン)のテトラポッドを使用し、天端は3個並びとし、天端高 $h_c$ は一般的な離岸堤の築造基準<sup>3)</sup>に基づき、静水面+1.5m(模型で+2.0cm)に設定した。傾斜堤の法線長 $l$ は、袋間の開口部幅Bに対して $1/3B$ 、 $1/2B$ 、 $2/3B$ の3とおりとし、離岸距離Dは2種類とした。

磯焼け対策としてのウニ給餌養殖は、秋季にウニを放流し、秋季~春季にかけてコンブ、ワ

表-1 模型諸元

奥行き(A)		開口部幅(B)			
模型(m)	現地(m)	模型(m)	現地(m)		
1.5	75.0	2.5	125.0		
3.0	150.0				
離岸距離(D)		長さ(l)		天端高( $h_c$ )	
模型(m)	現地(m)	模型(m)	現地(m)	模型(m)	現地(m)
0.0	0.0	0.83	41.5	0.02	1.0
		1.25	62.5		
1.0	50.0	1.67	83.5		

表-2 波浪条件

有義波高		有義波周期	
現地(m)	模型(cm)	現地(sec)	模型(sec)
3.0	6.0	8.0	1.13
3.6	7.2	9.0	1.27
5.0	10.0	10.0	1.41

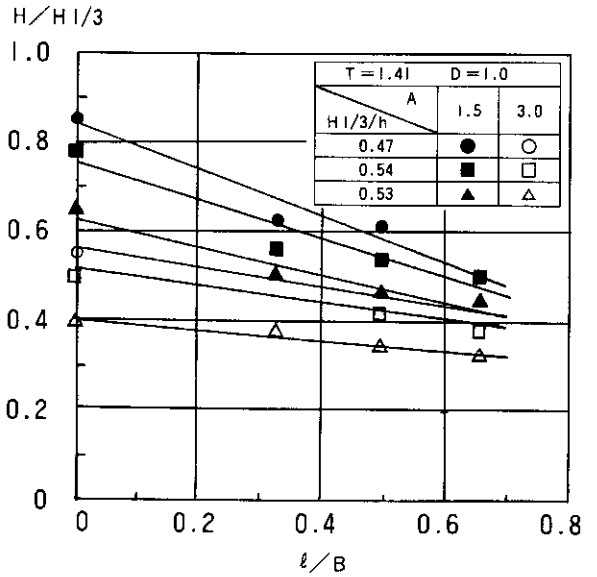
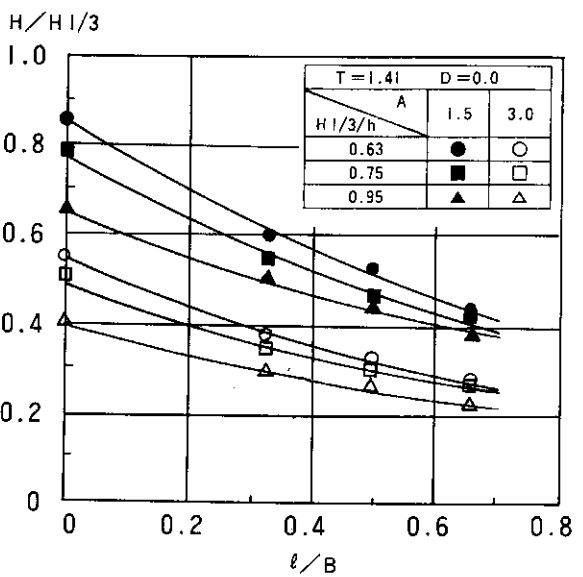
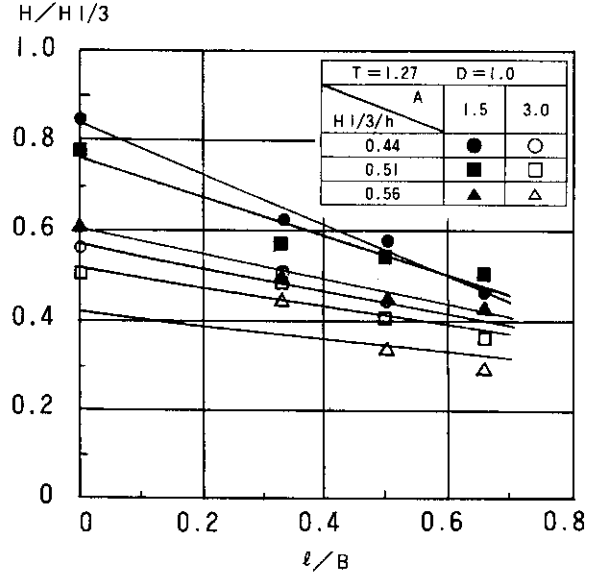
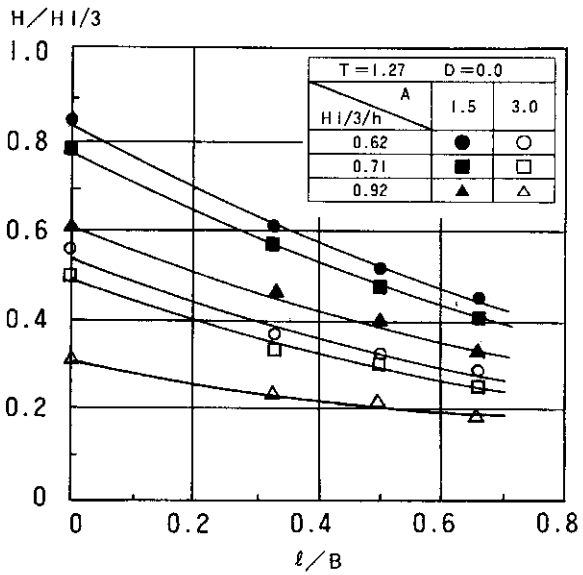
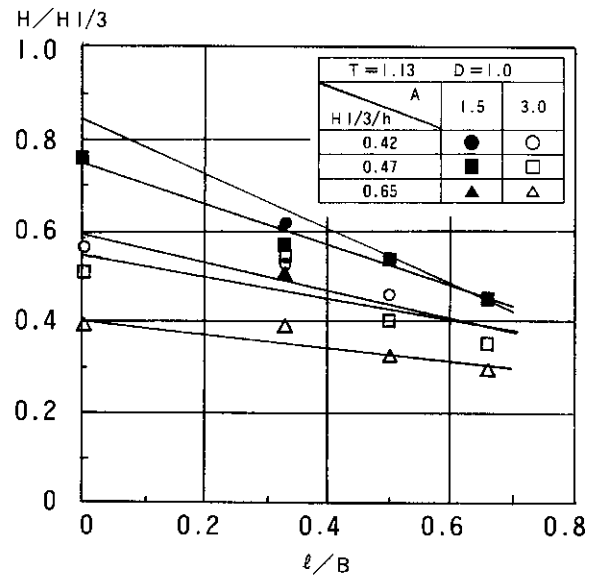
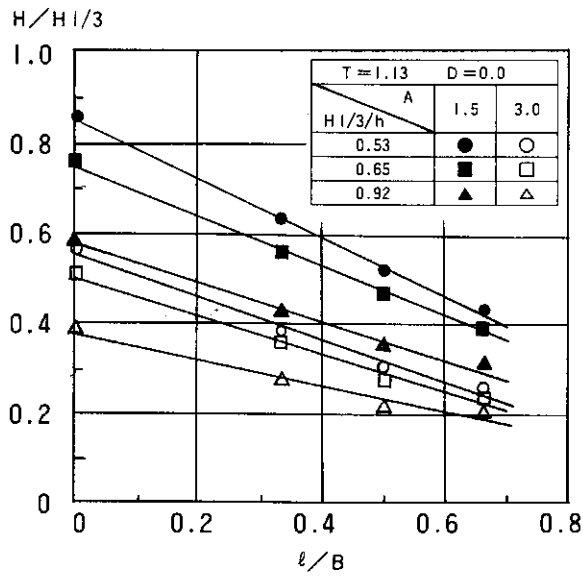


図-4 傾斜堤の規模配置による袋間内の波高

カメなどの餌料海藻を給餌し、夏季前に漁獲することを前提としている。また、優良なコンブ藻場を維持するためには、数年に1回程度は雑海藻を駆除するために新しい基質面を創出する必要があるため、1～3年確率波程度の波浪に対してウニの摂餌活動を阻害せず、生育障害が生じない程度に波浪を制御する必要がある。そこで、日本海沿岸域の数地点において算出した1～3年確率波から波浪条件を決定することとした。この波浪条件は増養殖場内の所要静穏度を検討する場合のものであり、消波施設の安定性などを検討する場合は、ブロック所要重量をハドソン式で検討する必要がある。本実験に用いた波浪条件を表-2に示す。なお、実験波はブレッドシュナイダー光易型の不規則波とした。

波高測定は、測定点に反射波が到達して水路内が定常になる約60秒後から開始して240波以上測定した。袋間内の代表波高 $H$ は、図-3に示す袋間内の波高観測11地点における波高データの1/3最大波の平均値を用いた。

### 3-2 傾斜堤による波浪減衰効果

袋間前面に設置した傾斜堤の法線長 $l$ と離岸距離 $D$ の違いによる袋間内の静穏度の特性を求めた。図-4は、各周期において袋間や傾斜堤の形状を変化させたときの袋間内波高の変化を表わしたものである。図の横軸は傾斜堤の法線長 $l$ を袋間の開口部幅 $B$ で除して無次元化したものであり、縦軸は袋間内の代表波高 $H$ を傾斜堤設置位置(水深 $h$ )での1/3最大波( $H_{1/3}$ )で除した無次元波高である。なお、図中の波高水深比 $H_{1/3}/h$ は傾斜堤設置位置での値である。図-5は、横軸に沖波波形勾配をとり、縦軸に袋間内の無次元波高をとったものである。

結果の要点をまとめると、

- ①傾斜堤が未設置の場合でも碎波や摩擦により、袋間内の波高は入射波に対して4～8割程度に低減する。
- ②傾斜堤を設置することにより、袋間内の静穏度が向上する。
- ③周期が一定の場合、傾斜堤が長いほど波高低減効果が大きい。
- ④傾斜堤の設置位置は、袋間に近い方が波高低減効果が大きい。

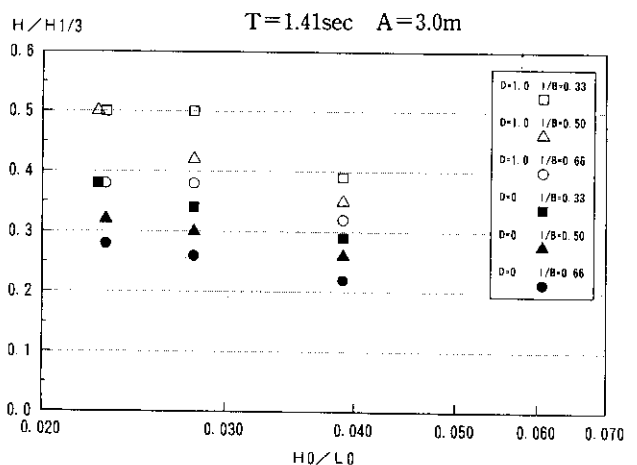
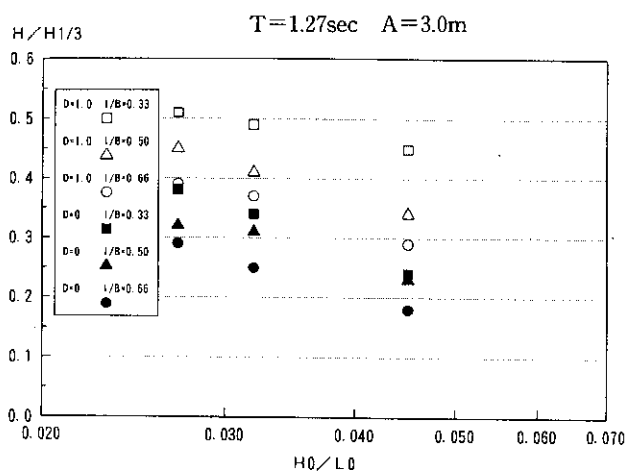
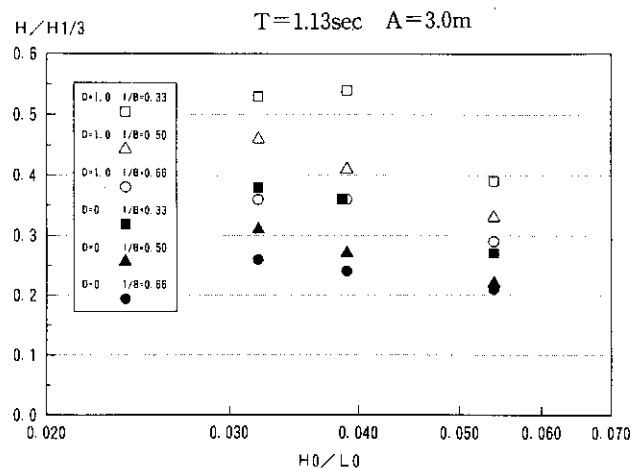


図-5 沖波波形勾配と袋間内の波高との関係

- ⑤沖波波形勾配が大きいほど、波高低減効果が大きい。

## 4. 非定常緩勾配方程式を用いた数値計算

### 4-1 非定常緩勾配方程式

平磯地帯にある実際の袋間地形は千差万別で

あり、また、消波施設の構造配置についても、施工性、経済性などによりさまざまな形式の消波施設が想定されるが、それらすべての組み合わせに対して、水理模型実験を行うことは不可能である。そこで、平磯地帯の袋間を利用した増養殖水面の波高分布を数値計算により検討することとした。袋間が碎波帯内にあることから、屈折、回折、浅水変形などに加えて、碎波変形や底面摩擦も考慮できる非定常緩勾配方程式<sup>4)5)</sup>による数値計算を行った。

碎波変形を含む非定常緩勾配方程式における基礎式は、次式で表わされる。

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + C^2 \frac{\partial \xi}{\partial x} + f_D Q_x = 0$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} + C^2 \frac{\partial \xi}{\partial y} + f_D Q_y = 0$$

ここで、 $x, y$ ：水平面座標軸、 $Q_x, Q_y$ ： $x$  軸、 $y$  軸方向の線流量、 $\xi$ ：水面変位、 $C$ ：波速、 $t$ ：時間、 $f_D$ ：碎波減衰係数。

まず、上式を用いて碎波変形前の  $\xi, Q_x, Q_y$  を求める。さらに渡辺ら<sup>6)</sup>が行った方法により、波峰下水平流速と波速比を各点ごとに計算し、これを碎波指標と比較して一波ごとの碎波点位置を決めながら計算を行った。

また、碎波減衰係数  $f_D$  は次式で表わされる。

$$f_D = \alpha_D \tan \beta \sqrt{\frac{g}{h}} (\hat{Q} / Q_r - 1)$$

$$\hat{Q} = \sqrt{\hat{Q}_x^2 + \hat{Q}_y^2} \quad Q_r = r' \sqrt{gh^3}$$

ここで、 $\hat{Q}_x, \hat{Q}_y$  は線流量の振幅、 $\alpha_D, \gamma'$  はそれぞれ 2.5, 0.25 を与えた。また、 $\tan \beta$  は碎波点付近の海底勾配を示し、模型実験と同じく 1/25 を与えた。 $\alpha_D$  の値は、碎波点からの数値計算上の反射波を抑えるために、碎波点を中心とした半波長の区間で 0 から 2.5 へ連続的に増加させている。なお、 $Q_r$  は碎波後、再び波が発生する領域での限界線流量振幅を与えるもので、線流量振幅  $Q$  が減少して  $Q_r$  以下になると、波の再生域に入ったものとして  $f_D$  の値を 0 とした。

計算領域は、実験での造波領域と同じ領域を設定しており、計算点の配置は格子網上で水面変動  $\xi$  および線流量  $Q_x, Q_y$  の計算点をお互いに半格子感覚だけずらしたいわゆるスタッガード・

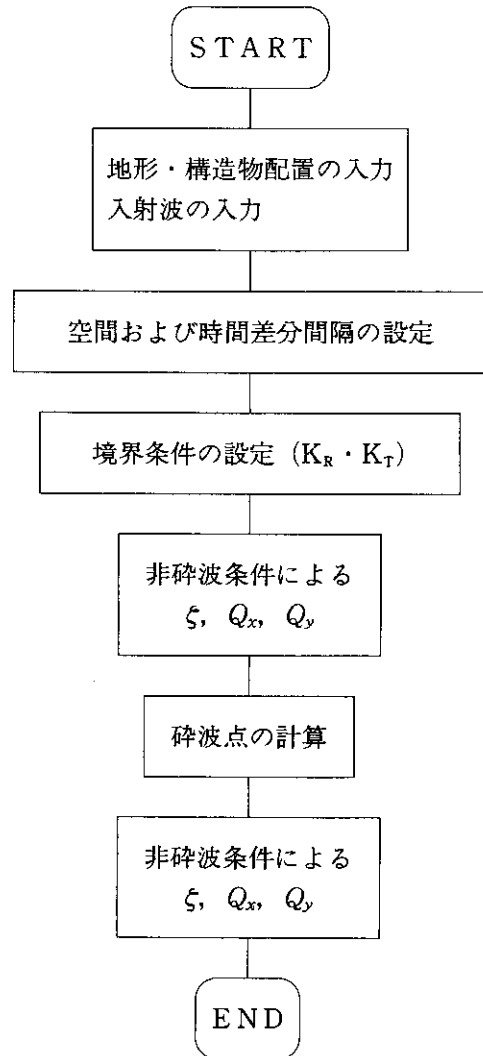


図-6 計算のフローチャート

表-3 計算ケース

波高 (cm)	周期 (sec)	袋間奥行き A (m)	離岸距離 D (m)	消波堤長さ l (m)
6.0	1.41	3.0	0.0	0.0
				0.5
				0.83
				1.0
				1.25
				1.67

メッシュ・スキームを用いた。また、計算時間ステップは時間間隔を  $\Delta t/2$  だけずらした leap-frog 法を用いた。計算のフローチャートを、図-6 に示す。

不規則波の取扱いについては、まず不規則波

を3種類の周波数成分波に分け、各成分波ごとに水面変動 $\zeta$ と線流量 $Q$ の時系列を計算し、次いでこの3つの成分波の $\zeta$ と $Q$ を合成して不規則波の時系列を計算した。計算の境界条件については、酒井ら<sup>6)</sup>による任意反射率・任意透過率の防波堤に対する境界条件を用いた。

#### 4-2 計算条件

数値計算は表-3に示す条件で行い、水理模型実験と比較した。波浪条件は $H=6.0$  cm,  $T=1.41$  secの不規則波の1種類のみ行った。境界条件として、袋間の側壁を反射率 $K_R=0.7$ 、袋間周

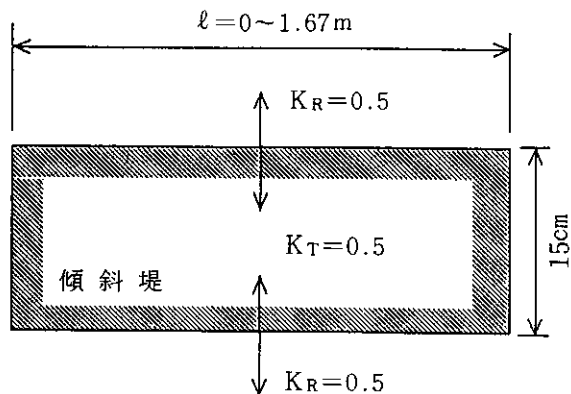


図-7 傾斜堤の境界条件

辺の平磯帯は $K_R=0.1$ に設定した。前面に配置する消波施設は、図-7に示すように幅15 cmの直立の透過性構造物としているが、反射率及び透過率は傾斜堤の代表的な値と一致するように $K_R=0.5$ ,  $K_T=0.5$ とした。

#### 4-3 袋間内の波高分布

図-8は、計算による中央縦断位置での波形を表わしたものである。入射してきた波は岸側に向かうにつれて、浅水変形により波高が高くなっていくが、傾斜堤付近で、碎波により急激に減衰し、袋間内ではかなり波高が減衰している状態が把握できる。また、図-9は袋間内の波高分布を表わしたものである。図は $D=1.0$  m,  $l=1.67$  mのときの波高分布を表わしており、図中の数値は波高(m)を表わしている。平面的に見ると、傾斜堤の両端では波が回折しており、その影響で袋間口の両端では波高が高くなっている。しかし、傾斜堤周辺での碎波、側壁や底面での摩擦などによるエネルギー減衰により、袋間内の波高は入射波に対して4~6割程度に減衰している。

袋間内の波高変化について、数値計算結果と水理模型実験結果とを比較したものを図-10に示す。図は横軸に $l/B$ 、縦軸は水理模型実験で

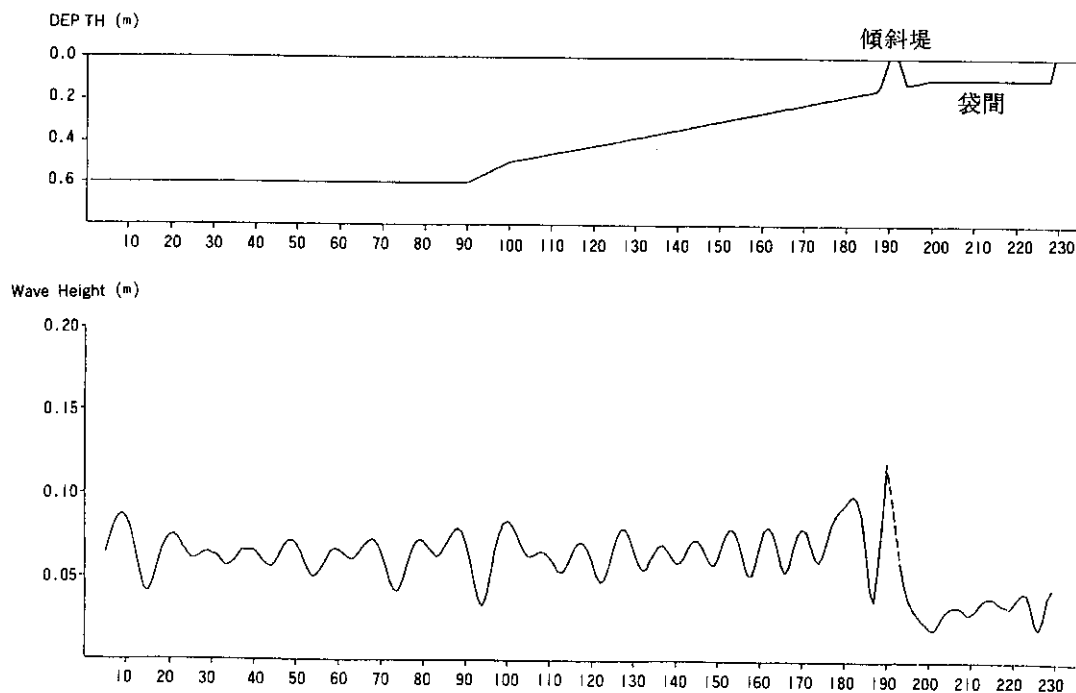


図-8 中央断面位置での波形

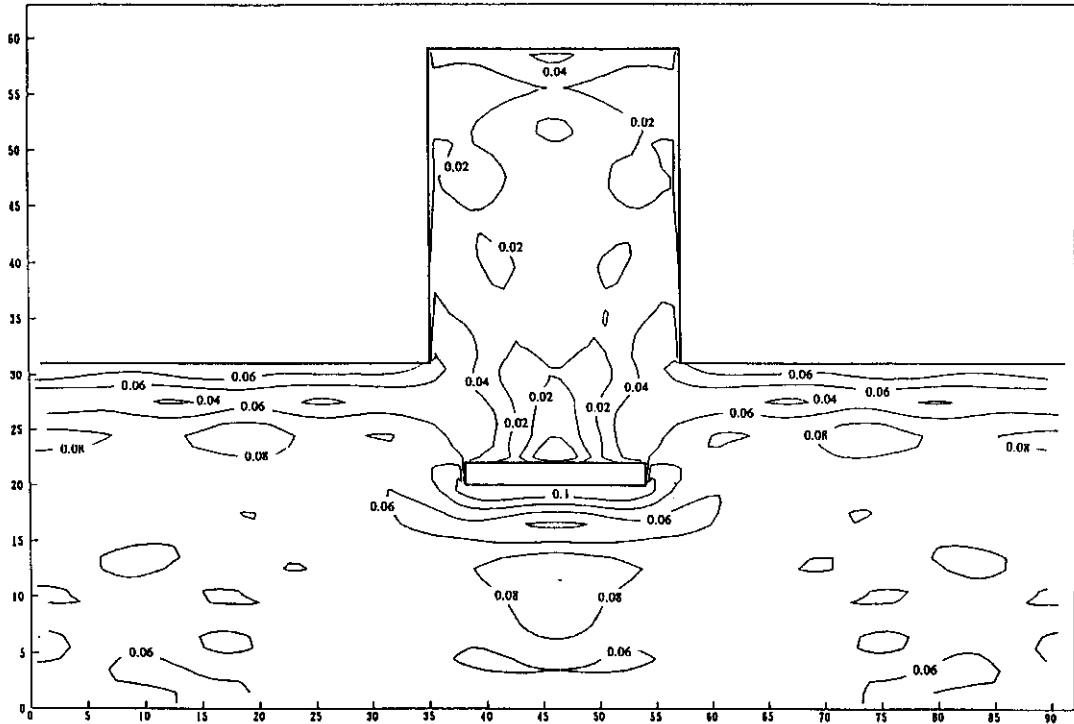


図-9 袋間の波高分布 ( $D=1.0$ ,  $l=1.67$ )

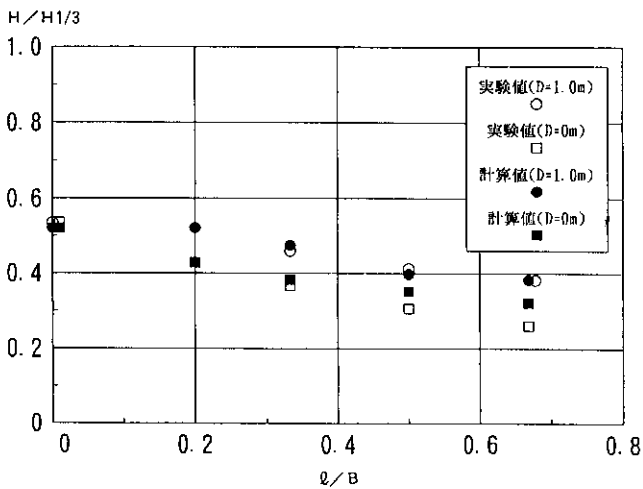


図-10 実験値と計算値との比較

の波高測定と同じ位置での1/3最大波高 (11個)の平均値として整理した代表波高 $H$ を傾斜堤設置位置での波高 $H_{1/3}$ で無次元化した値をとった。 $D=0, 1.0$  mの両タイプとも模型実験とほぼ一致した波高減衰傾向を表わしており、袋間内の静穏度は非定常緩勾配方程式に基づいた数値計算によって、算定可能であることがわかった。

### 5. おわりに

北海道日本海沿岸域に点在する平磯の袋間を利用したウニ養殖場を整備するためには、ウニ類の生息環境に適応した波浪制御施設の整備が必要となるが、本研究において、波浪制御施設の規模配置と袋間内の波高分布の関係は、非定常緩勾配方程式を用いた数値計算により算定できることを確認した。

従来、増養殖場施設の設計では、施設の安定性や安全性のみ重視され、増養殖対象生物の生理生態特性 (特に、耐流、耐波浪限界) に配慮しているとはいいがたく、そのため施設が有効に機能していない事例が見受けられる。例えば、ウニ類の生息制限環境要因として、波浪のほか流れ、水温、塩分、水質などがあげられるが、現在までにウニ類に対する水温、塩分の適正範囲や許容限界値<sup>7)8)9)</sup>については概略把握されているにすぎない。

ウニ類の生理生態に配慮した好適な環境を備えた増養殖場の整備基準を確立するために、水産土木研究室では北海道立中央水産試験場と共同で、ウニ類の摂餌行動に及ぼす波浪や流れの



影響を実海域で検討しており<sup>10)</sup>、調査結果がまとまり次第改めて報告したい。

#### 参考文献

- 1) 松山恵二：北海道の磯焼け対策，育てる漁業，pp 2～12，1991.
- 2) 佐藤 仁，明田定満，谷野賢二：磯場の袋間を利用した増養殖水面の水理特性について，海洋開発論文集 vol. 9，pp385～389，1993.
- 3) 海岸保全施設築造基準連絡協議会編：改訂海岸保全施設築造基準解説，全国海岸協会，pp218～219，1987.
- 4) 堀川清司：海岸環境工学，東京大学出版会，pp223～248，1985.
- 5) 渡辺 晃，磯部雅彦，泉宮尊司，中野英樹：非定常緩勾配方程式による不規則波の浅水碎波変形の解析，第35回海岸工学講演会論文集，pp173～177，1988.
- 6) 酒井哲郎，佐藤孝夫，岩垣雄一：任意反射率・任意透過率の防波堤による平面的な波浪変形の数値計算，第25回海岸工学講演会論文集，pp98～102，1978.
- 7) 増殖場造成指針作成委員会編：増殖場造成指針，地球社，1982.
- 8) 日本水産資源保護協会編：環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理，(社)日本水産資源保護協会，1983.
- 9) 日本水産資源保護協会編：水生生物生態資料，(社)日本水産資源保護協会，1983.
- 10) 佐藤 仁，明田定満，谷野賢二：ウニの摂餌活動における波・流れの影響について，第48回土木学会年次学術講演会講演概要集第2部，pp974～975，1993.

\*

\*

\*