

# 港湾技術資料

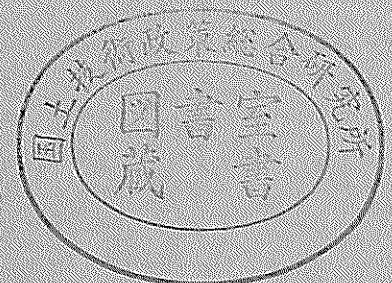
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 692      Dec. 1990

人工海草による底質移動の制御効果に関する模型実験

菅 原 一 晃  
入 江 功

運輸省港湾技術研究所



# Experiments on the Effects of Artificial Seaweed on the Sand Movement

Kazuteru SUGAHARA\*

Isao IRIE\*\*

## Synopsis

Breakwaters, seawalls and groins have been constructed to protect port facilities and coastal areas from severe wave attacks. So far, most of these structures have been made of massive concrete and reinforced concrete, and they have carried out their function well.

Recently, there have been a high demand for new ways of coastal protection works which enable the coastal to hold safety for the people and natural beauty and to be utilized for various purposes including recreational activities. This diversified demand cannot be fulfilled with only the construction of 'hard' structures for beach erosion control, but the auxiliary use of some 'soft' controlling devices such as artificial seaweed might bring about much improvement if they are effective.

The authors examined the effects of artificial seaweed of various kind experimentally, to see its usefulness for protecting beach erosion and sea bed scour resulting from the installation of 'hard' coastal structures.

Five materials are chosen as the seaweed materials of favourable effectiveness, and those are tested in a wave channel having a quasi-movable bed. During the experiments, the behavior of the sandy sea bed with and without artificial seaweed, the effect of the seaweed on the velocity field around the seaweed were carefully observed.

Based on the results of the experiment, the authors concluded that the installation of artificial seaweed of some kind bears a remarkable effect to help the bedload to move onshoreward and also to accumulate on the planted areas.

The major conclusions are summarized as follows:

- (1) The artificial seaweed, generally, has a function to reduce the sand movement across the planted areas.
- (2) The function of the artificial seaweed is to help the onshoreward sand movement and accelerate the accumulation of sands at both of the fore and the lee side of the planted area.
- (3) The higher the density of the seaweed, the stronger the function described above(2), and the wider the planting area, the more reduction of wave height is expected.

**Key Words :** artificial seaweed, hydraulic model test, scouring, beach erosion, seashore landscaping

---

\* Senior Research Engineer, Marine Hydrodynamics Division.

\*\* Ex-director of Marine Hydrodynamics Division (presently, Professor of Kyushu University)

# 人工海草による底質移動の制御効果に関する模型実験

菅原 一晃 \*

入江 功 \*\*

## 要 旨

港湾の外郭施設や海岸構造物は、強大な波浪等の外力から港湾、海岸・海浜を防護するために、コンクリートを主体とする構造物によって建設され、その使命を果たしている。近年ではこれらの構造物も単体で立ち足るのではなく、面的な施設の一部としての位置付けで見直されつつある。防波堤や離岸堤を低天端化し、護岸構造物は人々が水辺に親しめるように緩傾斜のものが取り入れられるようになり、さらにこれらの構造物自体にも多様な付加価値が要求される時代となった。これらのことは、自然性を基調とした景観と海辺の親近感を追及することにはほかならない。

そこで、筆者らはこれらの要請を解決する一方法として、剛構造物の基礎洗掘の防止と海浜の侵食対策を図るために、柔軟な材料を用いることに取り組むことにし、人工海草がこれらの目的に対してどのような効果があるかを検討した。

二次元造波水路を使用して、実験に用いる葉状体素材の選定のための波による葉状体の挙動観察、人工海草の底質抑止効果の検討、人工海草がある場の波の岸沖流速による漂砂効果の検討、および人工海草がある場の浮遊砂の岸沖移動特性の4つの実験を行った。

これらの実験によって、人工海草が上記目的に対して有効な工法となる可能性があることを確認した。

主要な結論は以下の通りである。

- (1) 人工海草は、基本的には移動限界波高を大きくし、底質の移動を弱める働きがある。
- (2) 人工海草の波による底質移動に対する機能として、岸向き（波の進行方向）漂砂効果と堆積効果が顕著であり、侵食効果と沖向き漂砂効果はほとんど持たない。
- (3) 人工海草はある程度の植生密度があれば底質を岸側に移送させる機能を持ち、あるいは人工海草植生区域の周辺に堆積させる効果が強くなる。また、岸沖の植生区域長を長くすれば、入射波高の低減効果が期待できる。

キーワード：人工海草、固定床水理模型実験、局所洗掘対策、海岸侵食対策、海浜・海岸景観

## 1. まえがき

港湾の外郭施設、海岸の保全さらに人工海浜の造成には主として波浪外力を遮蔽・減殺する目的で防波堤、離岸堤、突堤などの剛構造物が用いられ、その役割を果たしてきている。

近年、わが国でも港湾、海岸・海浜が憩いの場であるとともにレジャーやスポーツの場としての有為性が再認

識され、全国各地でそのための環境の整備が進められている。

ここで、人々が自然に親しむ目的から、景観が重要な条件になっている。このため、波浪や高潮・津波などから港湾、海岸・海浜を防護する場合に、基本的には視野をさえぎる施設を少なくしてかつ自然との調和に配慮した安全で快適な施設整備を行うことが求められ、最近では潜堤<sup>1)</sup>や人工リーフの工法が多く採用されている。

\* 海洋水理部 主任研究官

\*\* 前 海洋水理部長（現 九州大学工学部水工土木学科教授）

しかしながら、これらの構造物のみによって波浪の減殺あるいは底質移動の低減効果のすべてを期待するには困難である場合が多く、これらの構造物を設置すると堤内の水位上昇が発生し、これに伴う流れの影響も無視できない。

また一方では、剛構造物を設置すると波浪や流れによって基礎周辺の底質が移動しやすくなって洗掘が発生し、これがどこかに堆積するか水深の大きい沖側に持ち去られる。洗掘によって構造物自体の安定がおびやかされ、堆積することによってたとえば港口や航路の埋没が問題となってくる。

そこで筆者らは、剛構造物基礎の洗掘の防止・復旧、海底の侵食防止さらには堆積促進と反面では埋没箇所の堆積低減を図り、ひいては海浜の安定制御を図ることを目的として「人工海草」について検討することとした。

ここで、人工海草 (Artificial Seaweed) とは、海草 (藻) をイメージした柔軟性のある人工の葉状体 (Fronde) の集合されたものであり、葉状体そのものを指す場合もある。

侵食防止を目的とした人工海草に関する研究は、1962年頃、デンマークまたはイギリスにおいて開始されたといわれており<sup>3)</sup>、1980年代に入ってから各国において再度活発に行われているようである。現地施設として成功しているという情報としては、河川流や潮流による侵食や洗掘に対する工法であり、河口侵食や石油パイプラインおよび石油掘削用プラットフォーム等の基礎洗掘の防止に用いられている。

われわれが目的とする波浪による底質移動の制御に関する試験的な現地実施例も相当数あるようであるが、1) 人工海草の効果そのものが実証できない 2) 高波によって人工海草施設が破壊され、あるいは葉状体が切断された 3) 浮力の不足により葉状体が沈んだ などの理由により、成功した例はほとんどみられないという報告<sup>3)</sup>がある。ただし、Prices ら<sup>4)</sup>によれば、人工海草が砂の岸方向への輸送を促進させることによって海浜を造成する効果があると指摘している。なお、これまでのわが国における人工海草の利用は、漁礁とすることを目的とした試験的なものである<sup>5)</sup>。

表-1 素材の性状諸元の概要 (実験ケース)

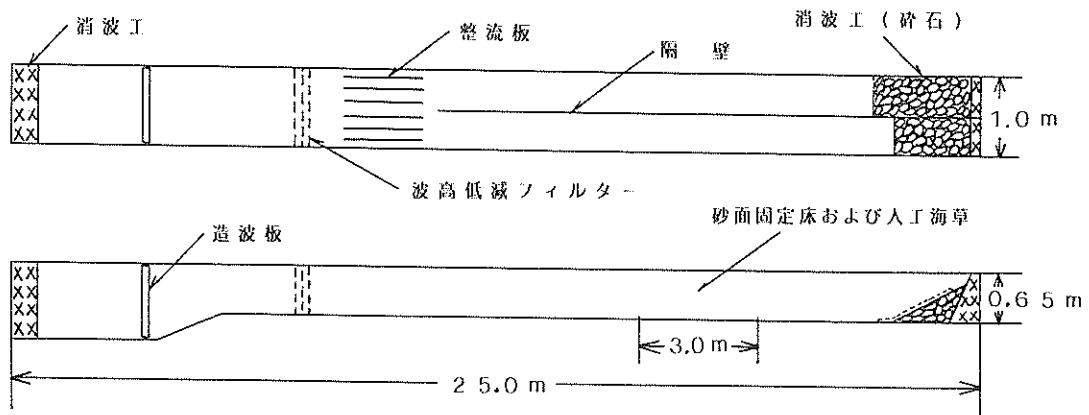
ケース	材 質	厚さ、直径 (mm)	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	引張り弾性率 (kgf/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/mm <sup>2</sup> )
A-1	ポリプロピレン (発泡)	0.035	0.65	103~200	6.0 10.0
A-2	ポリプロピレン (発泡)	0.150	0.65		7.0 14.0
A-3	ポリプロピレン (発泡)	0.050	0.65		7.0 10.0
A-4	ポリエチレン (発泡)	1.0	0.067		0.077 0.063
A-5	ポリエチレン (発泡)	2.0	0.067		0.077 0.063
A-6	ポリエステル	0.1	1.38	400	
A-7	ポリエステル	0.2	1.38	400	
A-8	塩化ビニリデン	0.02	1.70	150	10.0
A-9	塩化ビニリデン	0.04	1.70	150	10.0
A-10	ナイロン偏平糸 (発泡)	0.35( 7)	0.72	250	4.0
A-11	ナイロン中空糸	0.40	0.80	220, 95	
A-12	ポリエステル	0.30	1.38	900, 860	
A-13	ポリエステル	1.15	1.38	600~700	36
A-14	ポリエステル	2.26	1.38	600~700	110
A-15	ナイロン偏平糸	0.15( 0.9)	1.14		1.63
A-16	ナイロン	0.027	1.14	300, 120	
A-17	ナイロン	0.061	1.14	270, 110	
A-18	ポリエステル	50.0	0.053		
A-19	ポリエステル	3.0			
A-20	ポリエステル	0.7			
A-21	ポリプロピレン (発泡)	0.45(16)	0.45		

注) 1. フィルム状素材の幅は原則として10mmとした。厚さの ( ) 内が幅。

2. 素材番号15の引張強度は1本についての値である。

3. 引張り弾性率の左が乾燥、右が湿潤状態の値である。

4. 引張強度の左が縦、右が横方向の値である。



図一 実験水路の概要

近年、運輸省第三港湾建設局が、人工海藻を用いることによって波浪を減殺し、背後海浜の安定を図ることを目的とした研究を開始し、ここに設置された委員会の中で主として京都大学が理論解析<sup>6)</sup>を、神戸調査設計事務所が工学的な見地から模型実験による検討<sup>7)</sup>を進めている。これに対して当所では、波浪による局所洗掘の防止工法に主眼をおいて人工海藻を利用しようとする研究<sup>8)</sup>を行ってきている。

本研究では、人工海藻が底質の移動に対して基本的どのような効果を及ぼすかを調べるために、二次元水路において以下に示す水平固定床実験を行った。

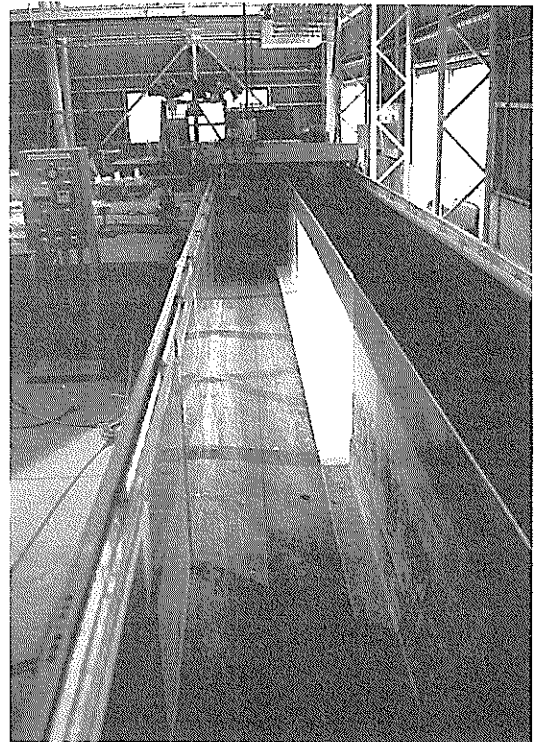
1. 実験に用いる葉状体素材の選定（波による挙動観察実験）
2. 人工海藻による底質移動の抑止効果（移動限界波高実験）
3. 人工海藻がある場の波による岸沖流速の鉛直分布実験
4. 人工海藻がある場の底質の岸沖移動の特性実験

これらの実験の手法、結果およびその考察を以下に述べる。

## 2. 実験に用いる葉状体素材の選定（波による葉状体の挙動観察実験）

### 2. 1 素材の種類と実験概要

人工海藻が底質の移動に対してどのような制御効果を有するかを知る前段として、実験に用いる人工海藻の葉状体となり得る材質の検討を行う必要がある。そこでわが国で生産されている合成高分子材料の素材20種類と西ドイツにおいて開発され、実海域で実績があるといわれ



写真一 実験水路の概観

る人工海藻の葉状体<sup>10),11)</sup>を加えた計21種類について波による葉状体の挙動観察実験を行った。

各素材の性状諸元の概略と実験ケースを表一に示す。ここでケースの数字部分を素材番号と呼ぶこととする。これらはポリプロピレン (PP), ポリエチレン (PE),

ポリエステル (PET), 塩化ビニリデン (PVDC), ナイロン (NY) の5材質であり、フィルム状および線状のものが多い。

実験に使用した水路は図-1, 写真-1に示すように長さ25 m, 幅1 m, 高さ65 cmの鋼製で、片面ガラス張り、床面木製である。また、水路幅方向を岸側端から約14 mの間にわたって鋼製隔壁で二等分してあり、その沖側端の前面には長さ2 mの鋼製整流板が配置されている。水路の岸側端および沖側端 (造波板背後) にはステンレス切削屑を金網に充填した台形の消波工を設置し、隔壁で仕切られた一方の消波工前面には、さらに碎石 (径3~5 cm) を1:4の勾配で設置した。

造波装置はフラップ型で、周期0.2~2.5 s, 最大波高20 cmの規則波を発生することができる。

実験では、水路床面に長さ2 m, 幅約50 cmの水平板を固定した。水平板は岸沖方向の中央で二分されており、

その接合部の一方の側面の中央付近 (ガラス面から25 cm) に1本の葉状体の下部を接着して固定した。葉状体の長さは15 cmであり、表-1に示したようにフィルム状の素材は幅10 mmを原則としている。作用させた波は波高11 cm, 周期1.3 sである。水深はすべて40 cmに統一した。

波による葉状体の挙動は、ガラス面を通して目視観察するとともに、ビデオカメラによって各ケース約2分間撮影した。

## 2.2 素材の選定方法

ビデオテープを再生して、筆者らと繊維関係技術者8名の計10名が、波による各素材の挙動を観察し、各人が底質の侵食防止および堆積促進に対して有効であると考えられる素材かどうかを判断した。

アンケートの方法は、A:有効, B:どちらとも言えない, C:有効ではないの3段階の判定法によって行っ

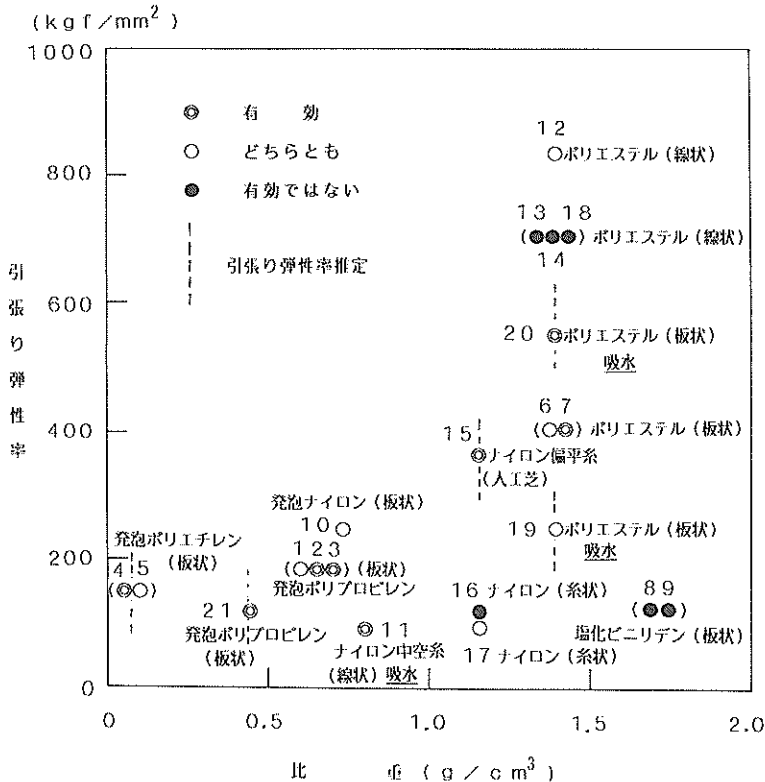


図-2 波による葉状体の挙動観察の判定結果

た。各人は素材ごとに必ず判定し、これを各1点とする。なおアンケートに際しては、現地適用を考慮した場合、以下に挙げる基本的な条件があるであろうことの一応の情報を与えて行っている。

- 1) 強度があること。
- 2) 加工が容易なこと。
- 3) 染色が可能なこと。
- 4) 安価であること。または高価でないこと。
- 5) 有害でないこと。
- 6) 長期間の設置によって諸特性が変化しないこと。
- 7) 人工海草を設置する底質は砂であり、葉状体の動揺による引張力がなるべく基部にかからないこと。
- 8) 有機物や浮泥が付着しても葉状体が立姿勢を維持すること。

### 2. 3 素材の選定結果

アンケートによる判定結果をとりまとめて図-2に示す。図は縦軸に素材の引張り弾性率(見かけのヤング率)を、横軸に比重の関係をとってある。アンケートによる結果を分類して記号(丸印)で示した。すなわち◎印はAが6点以上のもの、○印はAが6点未満で、これとBを加えて6点以上となるもの、●印はCが6点以上となるもの、である。記号に付した数字は実験の便宜のために決めた素材番号である。

各素材について判定した結果から、Aと評価された点数が6点以上(◎印)である素材を抽出すると素材番号2, 3, 4, 7, 11, 15, 20および21である。これらの素材は挙動観察の結果、波に追従して適度に動揺するものである。このうち、吸水性のある素材番号11および20を除外し、さらに2と3は材質が同じであるので3を割愛すると、素材番号2, 4, 7, 15および21となる。これら5素材を移動限界波高実験の対象素材とすることとした。なお、これらの素材の引張り弾性率は400 kgf/m<sup>2</sup>程度以下、比重は0.067~1.38の間に分布しているけれども、引張り弾性率が小さい素材は比重が小さく、それが大きくなるに従って、比重が大きくなる傾向を示している。

### 3. 人工海草による底質移動の抑止効果(移動限界波高実験)

#### 3. 1 葉状体の諸元と移動限界の概要

人工海草が底質移動の抑止に効果があるかどうかを把握するために、砂面床のみ(人工海草なし)のケース、2. で選定した材質の異なる5素材10ケースと波によって動揺しない剛直な柱状素材2ケースの計13ケースについて底質の移動限界波高実験を行った。表-2に実験ケースを示す。

表-2 移動限界波高実験ケース

ケース	素材番号	材 質	比重	長さ	幅, 径	厚さ	植生間隔
B-1	2	ポリプロピレン	0.65	20cm	10mm	0.15mm	2.5cm
B-2	〃	〃	〃	20	〃	〃	5
B-3	〃	〃	〃	20	〃	〃	10
B-4	〃	〃	〃	10	〃	〃	5
B-5	〃	〃	〃	5	〃	〃	5
B-6	4	ポリエチレン	0.067	20	〃	1.0	5
B-7	7	ポリエステル	1.38	20	〃	0.2	5
B-8	15	ナイロン偏平糸	1.14	20	0.9×11	0.15	5
B-9	21	ポリプロピレン	0.45	20	16	0.45	5
B-10	〃	〃	〃	10	〃	〃	5
B-11	22	アクリル板	1.28	20	10	2.2	5
B-12	23	アクリル丸棒	〃	20	10	—	5
B-13	人工海草なし						



波がある水深より浅いところに達すると、海底の砂が動き始める。この動き始める限界の水深を、その波に対する底質の移動限界水深と言う。現在までに以下の4種類の判定方法が提案され、多用されている。

1) 初期移動限界

海底表面の比較的突出した粒子の幾つかが動きだす状態をいう。

2) 全面移動限界

海底表面の第一層のすべての粒子が動きだす状態をいう。

3) 表層移動限界

表層の砂が波の進行方向に集団的に掃流される状態をいう。

4) 完全移動限界

水深変化が明瞭に現れるほどの顕著な移動が見られる状態をいう。

水路実験では、一般に水深をあらかじめ一定として周期と波高を変化させて、上述した各移動限界の定義に対応する底質の移動状態を求める方法が行われる。この場合をここでは移動限界波高実験と称している。

3. 2 実験方法

実験水路は2. で用いたものと同じである。ただし、移動限界波高を求める本実験においては、特に小波高を作用させる必要があり、その場合には図-1に示すように整流板の造波板側にフィルターを適宜設置して、造波波高を低減させた。

フィルターはポリプロピレンを素材とし、径約1.2 mmの線材を射出して網目状に成型した厚さ5 cmのネット(商品名ヘチマロン)を15枚用意して、必要に応じて枚数を増減することにより、所要の波高を発生させる方法をとった。

また、反射波の発生を少なくするために2. の実験施設状態に加えて、隔壁で仕切られたガラス側面を有する水路がわの消波工前面にも径2~3 cmの碎石を1:4.5

の勾配で敷き並べ、さらにその上面に、先にフィルターとして用いたネットを一枚(一層)のみ上載した。反射率は、人工海草植生区域の岸側において波高を測定し、Healyの方法で決定した。

表-3は、人工海草なしの場合の条件において、各周期に対する各移動限界波高時の反射率である。表によれば、反射率は周期が長くなるほど大きくなる傾向があるが、いずれも0.1以下である。反射率について全実験ケースの結果を示すと図-3. 1, 2のようになる。図の横軸は作用波の周期、縦軸は反射率である。なお、反射率はそれぞれの移動限界波高(後出の図-8. 1, 2参照)発生時のものであることに注意を要する。図によれば人工海草等がある場合も人工海草なし(B-13)と同程度の反射率を示しているが、周期による変動が小さくなる傾向がある。ケース間の特徴的な差異はみられない。

実験の対象とした作用波の設定周期は、1.1~2.0 sの範囲について0.1 s 間隔に10段階である。ここでの水深は30 cmである。

本実験では、各周期に対する実験水路の造波能力を勘案して、さきに示した判定法のうち、1)の初期移動限界の考えかたによって判定する方法を採用した。底質移動の判定は、ガラス側面より目視によって視認した。

判定の対象となる移動用試料砂(以下、単に試料砂と呼ぶ)の設置位置は、葉状体の植生区域すなわち岸沖方向100 cm、横断方向約50 cmの中央部である。

発生波高の増大方法は、偏心板の目盛り(6.5~21.0 cm 可変)に対して5 mm 間隔で変化させた。このことから周期2 sではおおよそ波高1.5 mm ごと、1.1 sでは2.5 mm ごとに増加させたことになる。ただし、移動限界波高付近の波の作用時において試料砂の状態を観察の結果、この間隔が粗いと判断される場合は、その状態を考慮して偏心板の目盛りを2 mm または3 mm 増加させる方法をとった。

表-3 人工海草なしの移動限界波高とその時の反射率

周期 (s)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
移動限界波高 (cm)	4.74	4.67	4.61	4.46	4.52	4.59	4.38	4.35	4.29	4.21
反射率	0.032	0.024	0.030	0.062	0.044	0.071	0.093	0.056	0.043	0.098



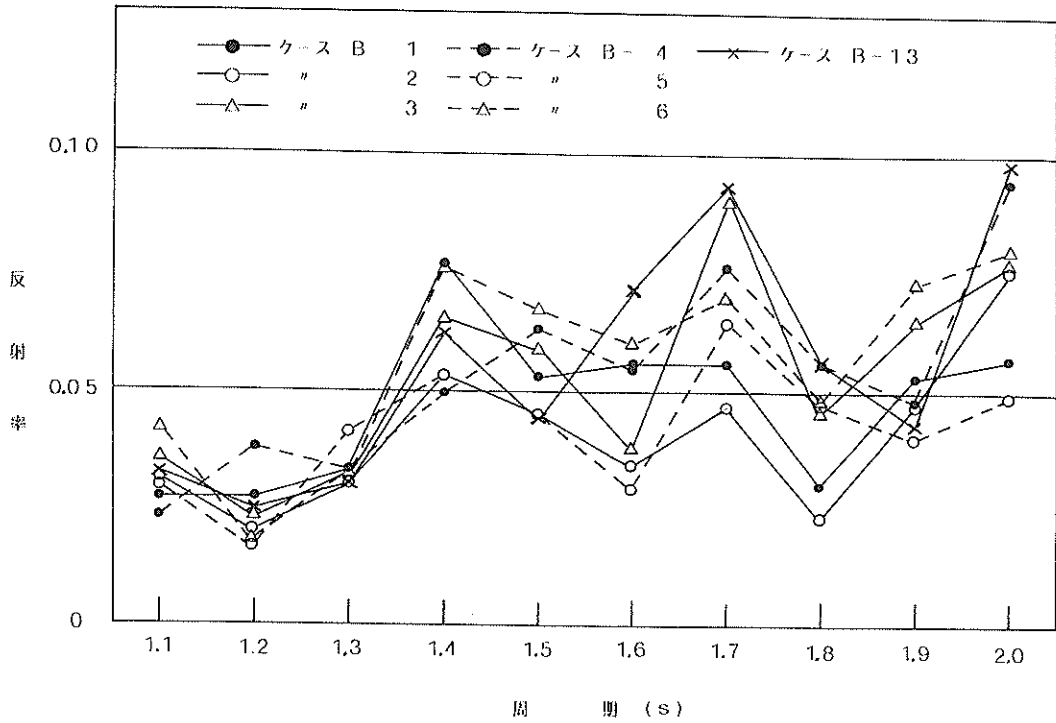


図-3.1 移動限界波高時における反射率 (B-1~6, B-13)

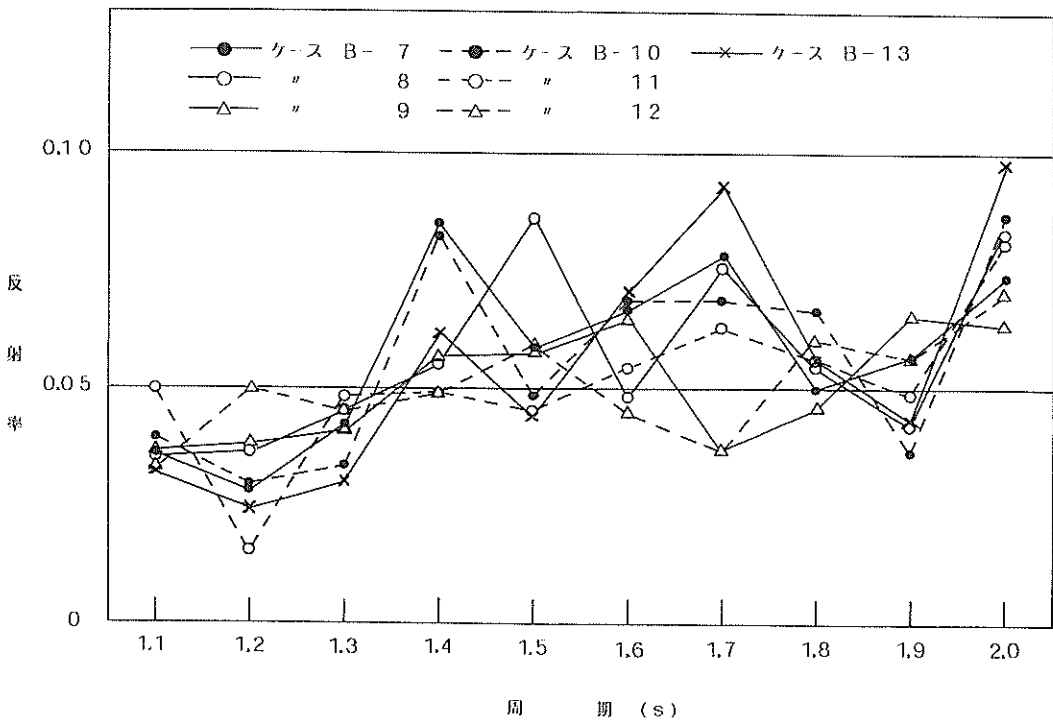


図-3.2 移動限界波高時における反射率 (B-7~13)

葉状体の植生間隔と配置を図-4に示す。植生間隔は10 cm, 5 cm および2.5 cm の3種類とし、波の方向に面(幅方向)を向けて千鳥状に配列した。1株は1本で幅10 mm を基本としている。ただし2.5 cm 間隔のものは、岸沖列間隔は5 cm のままで1列の株数のみを2倍にしてあるので、植生株数は5 cm 間隔のもの2倍であり、千鳥状の配列とはなっていない。表-2に示すように葉状体の長さは20 cm, 10 cm および5 cm の3種類である。なお、素材番号15については1本の幅が0.9

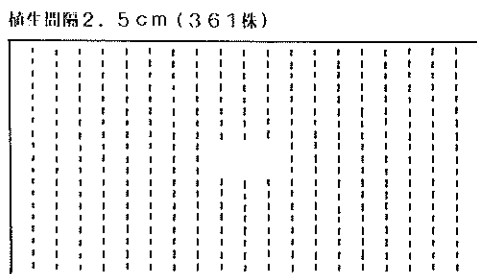
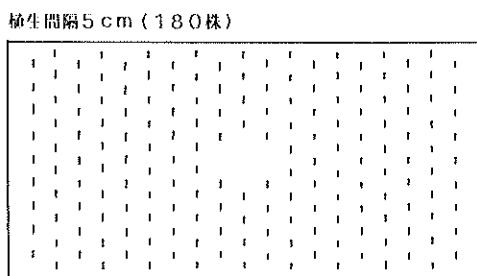
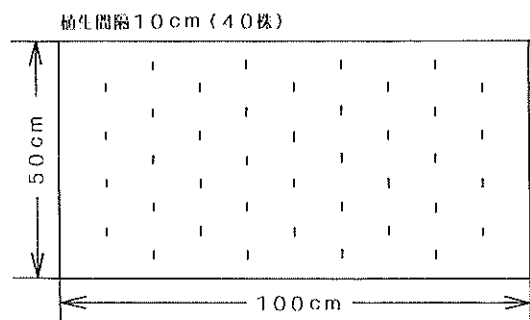


図-4 葉状体の植生間隔と配置

mm で他のものに比べて極端に細いので、11本を束ねて1株としてある。素材番号21は16 mm 幅, 素材番号23は直径が10 mm である。

ここで、予備実験を実施した結果、試料砂は近傍の葉状体による局所的な渦の発生の影響を強く受けて極端に小さな波高で移動し、あるいは舞いあがる場合が多いこ

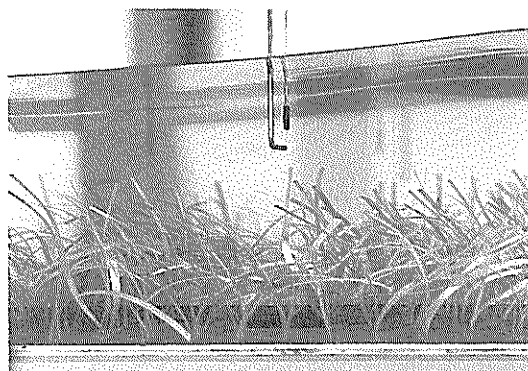


写真-2.1 波作用時の状態 (B-1)



写真-2.2 波作用時の状態 (B-2)

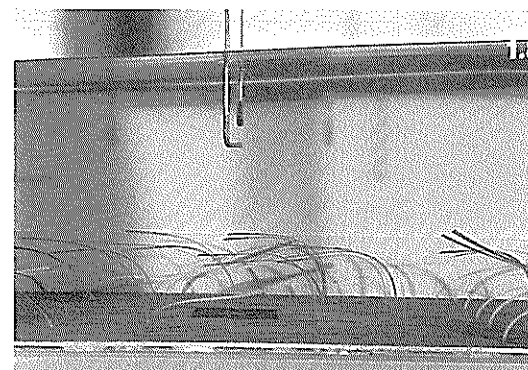


写真-2.3 波作用時の状態 (B-3)

とがわかった。そこで、植生間隔に関係なく、試料砂の設置位置を中心にして岸沖方向20 cm、横断方向10 cmの面には葉状体を植生しない空間（以下、測定用空間という）を設けた条件にして測定を行った。すなわち植生間隔10 cmの模型はそのままであり、5 cm 間隔のものは4本、2.5 cm 間隔のものは9本の葉状体を植生してい

ない。したがって実際の葉状体の本数は、5 cm 間隔では176本、2.5 cm 間隔では352本となっている。

写真-2. 1~13に波を作用させた状態の水における各ケースの模型を示す。

波高の測定は、試料砂の設置位置（中央測点）およびこの沖側1.5 m（沖側測点）、岸側1.5 m（岸側測点）に

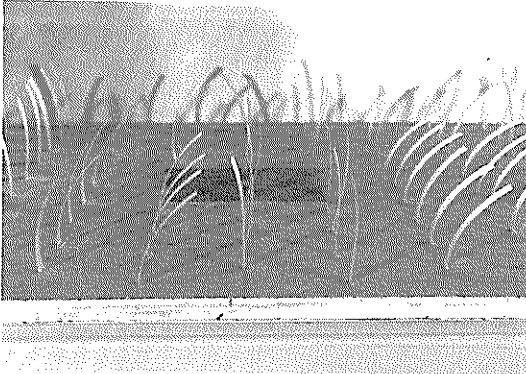


写真-2.4 波作用時の状態（B-4）

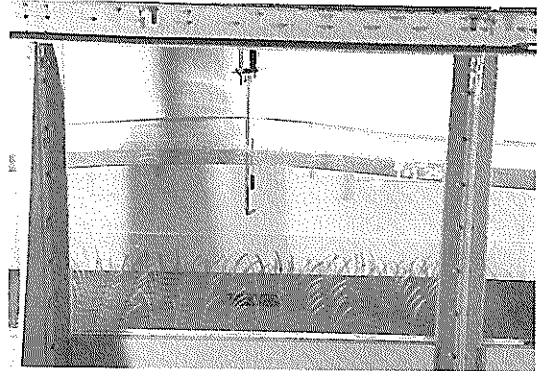


写真-2.5 波作用時の状態（B-5）



写真-2.6 波作用時の状態（B-6）

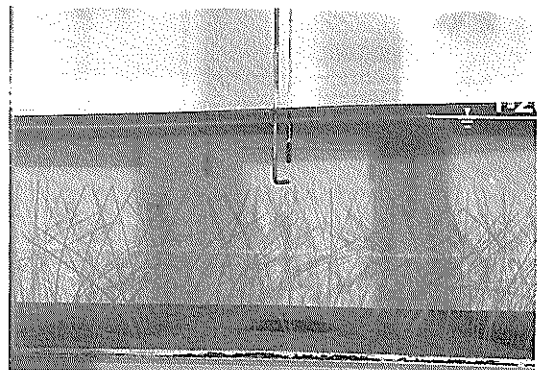


写真-2.7 波作用時の状態（B-7）

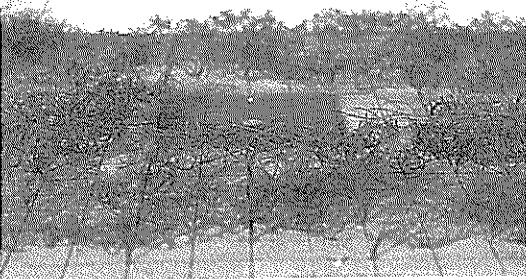


写真-2.8 波作用時の状態（B-8）

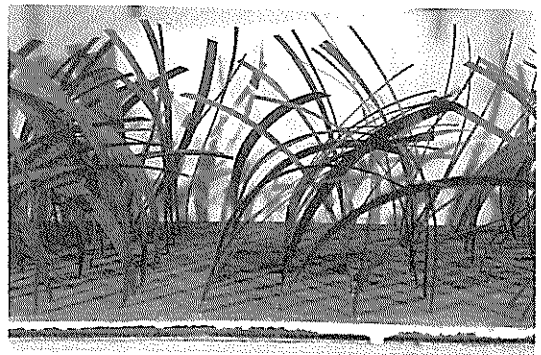


写真-2.9 波作用時の状態（B-9）

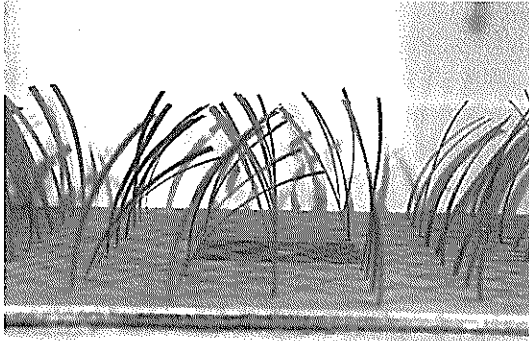


写真-2.10 波作用時の状態 (B-10)

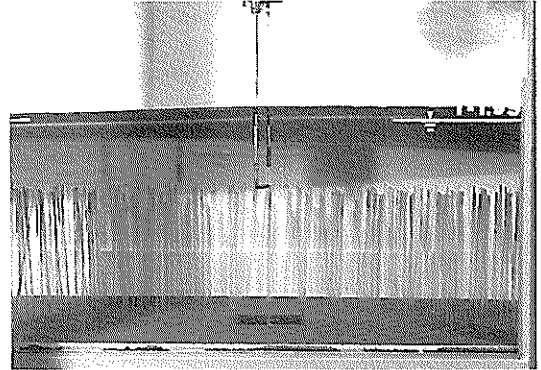


写真-2.11 波作用時の状態 (B-11)

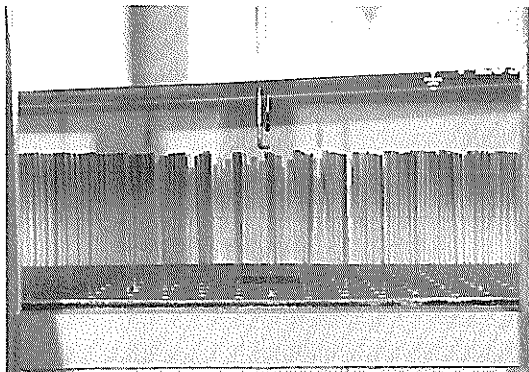


写真-2.12 波作用時の状態 (B-12)

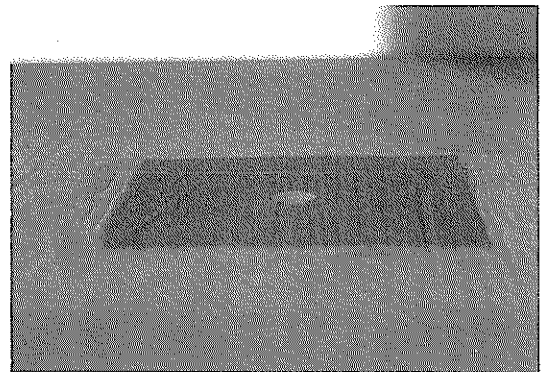


写真-2.13 波作用時の状態 (B-13)

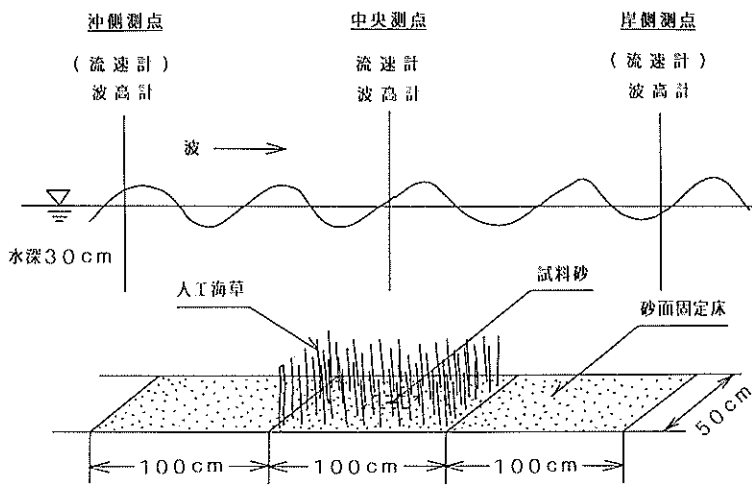


図-5 移動限界波高実験の概要

において容量式波高計により行い、確認のために物差による目視測定も行った。流速は試料砂の設置位置すなわち中央測点の床(底)面上2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0, 22.5, 25.0 cmの岸・沖および横断方向の水粒子速度の水平流速成分を電磁流速計を用いて測定した。

波高計および流速計の出力はペン書きオシログラフに記録すると同時に、パーソナル・コンピュータを接続してフロッピーディスクに収録した。なお、用いた波高値は各周期ともサンプリング間隔0.1 s, 収録時間30 sとしているので、周期1.1 sでは約27波, 2.0 sでは約15波の平均値である。

図一5に葉状体の設置位置と測定位置の関係を示す。

模型は、葉状体の植生区域を岸沖1 m(幅は約50 cm)とし、その岸側および沖側それぞれ1 mの間を砂面床としたもので構成されている。葉状体の植生区域の床面も同種の砂面床である。

砂面床は、ふるい目0.210 mmを通過し、0.105 mmに止まる砂を手ふるいによって選別したものを、ベニア板に一樣厚さに接着固定して生成した。図一6に粒径加積曲線を示す。その比重は2.75である。

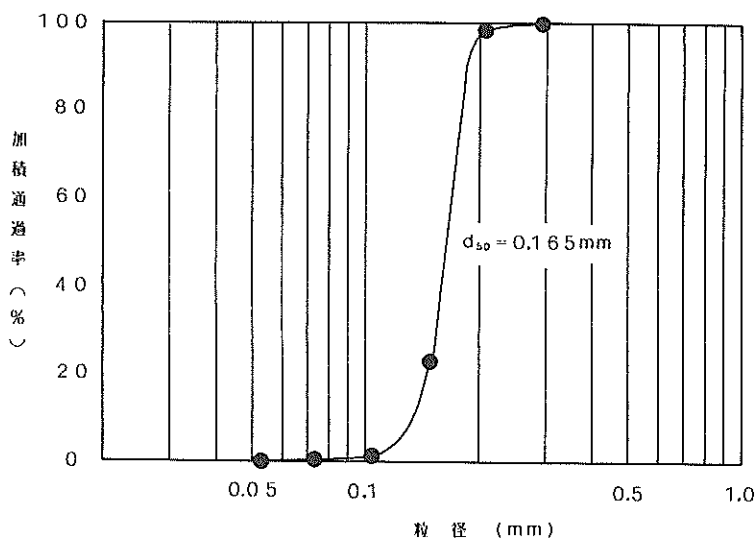
試料砂と床面の底質は同種のものであるので、試料砂の移動状況を識別しやすいように、測定用空間部分の床面には青色の塗料を吹き付け、この上に約0.15 ccの試

料砂を置いた。試料砂の設置は、水中でできるように漏斗の先に内径12.0 mmの透明なパイプを連結(長さ約90 cm)し、これを設置場所に垂直にたてて砂を注ぐ方法によった。したがって、試料砂の設置形状は円形であり、その中央部の砂厚は約1 mm程度である。

なお、数回の予備実験を行った結果、砂移動の判定に際し、粒径および比重に起因すると考えられる移動限界波高に大幅な差異があり、特定した実験値が得られないため、試料砂は粒径をできるだけそろえる目的で、先に粗面を生成するために用いた砂を0.149 mm目のふるいでふるってこれに止まる砂とした。また比重の小さいものを取り除くために平板の上方約30 cm位置から砂粒を少量ずつ落下させ、横方向から小型の送風機によって風を与えて、多量に堆積する位置より飛散した砂粒は棄却した。

試料砂の設置に際しては、砂粒の大部分が着底したと判断した時点でパイプを外し、より細かいものおよび比重の小さい砂粒はここに堆積させないように工夫した。

さらに、試料砂の設置直後と波をある程度作用させた後の違いによって移動限界波高が異なることがわかったので、試料砂を設置したのち砂が移動しない小波高の波を作用させ、段階的に波高を大きくしていく方法によって実験を実施した。



図一6 底質の粒径加積曲線

### 3. 3 実験結果および考察

筆者らの実験結果がどの程度信頼できるかを確認するために、葉状体がない砂面固定床の条件で中央測点において測定した移動限界波高について、既往の研究成果<sup>12)</sup>とともに示すと図-7の⑤のようになる。

図は佐藤・岸、石原・榎木、佐藤・田中の結果に本実験の結果を示したものである。ここで、 $H_0, L_0$  : 沖波の波高および波長、 $h$  : 移動限界水深、 $H, L$  : 水深  $h$  での波高および波長、 $d$  : 底質の中央粒径である。図からわかるように、本実験値は初期移動を示す石原・榎木の線をやや下回っているけれどもほぼ同程度とみることができる。したがって、本実験が当初の計画どおり、初期移動限界の定義に準じた判定であることが確認された。

人工海草が底質の移動にどのような影響を与えるのかを初期移動限界波高の観点から検討するために図-8. 1, 2を示す。縦軸に移動限界波高を、横軸には周期をとってある。

図-8. 1は形状諸元の違いによる差異をみるために、ケースB-1~5, 13すなわちポリプロピレンの各ケースと人工海草なし(菱形の太線)について示したものである。図によれば周期が短くなるほど移動限界波高が大

きくなる傾向が現れている。ケースB-1~5はB-13より上に描かれるものが多く、底質が移動しにくくなることを示している。植生間隔が最も狭い(植生密度が高い)B-1の移動限界波高が最も大きい。

次に図-8. 2にはポリプロピレン以外の素材と人工海草なしについてケースB-6~13を示してある。菱形の太線をほぼ上回っているのはB-8, 9で、他はこれを上下しているケースが多い。B-10, 11は下回る場合が多くなっている。

これらの図からいえることは、

- (1) 波によく追従して動揺するポリプロピレンの場合は、底質移動の抑止効果が高く、植生間隔は狭いほど、葉状体は長いほど効果がある。
- (2) ナイロン偏平糸、ポリプロピレン21の長さ20 cmのものも抑止効果が高い場合が多く、比重が極端に小さいポリエチレンと1より大きいポリエステルはどちらかといえば効果がある。その他の人工海草は周期によって効果がある場合とない場合がある。
- (3) 波によって動揺しないアクリル板とアクリル丸棒は、周期によって効果の有無があり、アクリル板の方が効果がない場合が多い。

以上のように一応の結論を得たが、先に示したように、

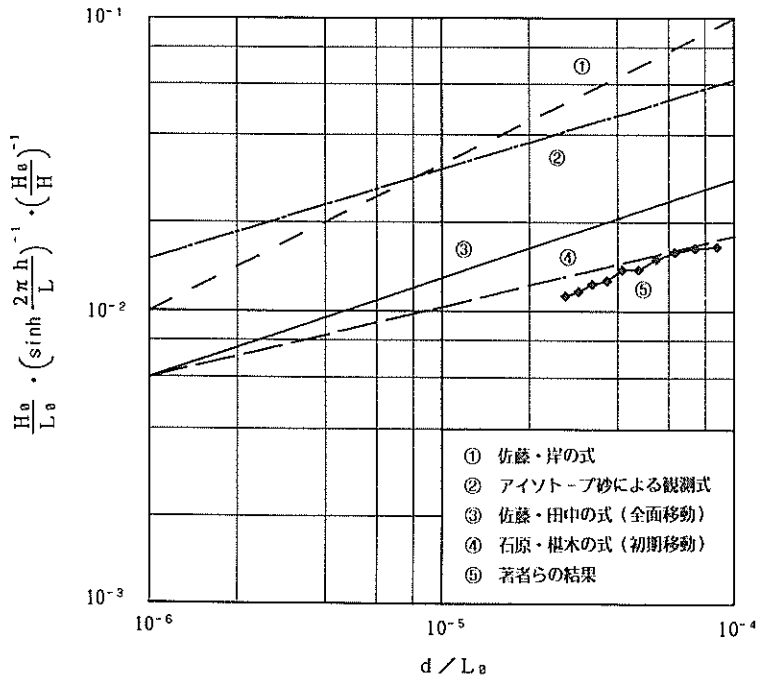


図-7 今回の実験における底質の移動限界

これは中央測点すなわち人工海草等の植生区域内において移動限界波高を求めた結果に基づくものであり、後出の4. で述べるように人工海草等の違いによる波高減衰に差異があることが考慮されていない一面がある。

また、この実験では底質の移動方向は把握できないので、本実験のみで人工海草の効果を確定することはできない。なお、流速の測定結果については、4. の実験によって別途検討することとして、ここでは割愛した。

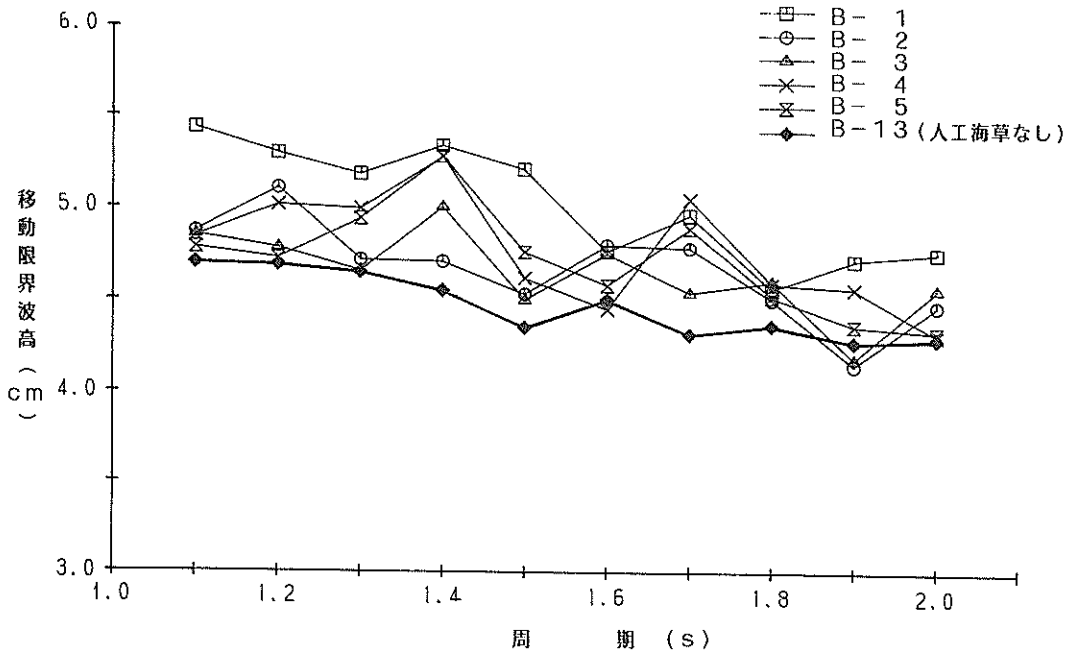


図-8.1 移動限界波高の比較 (B-1~5, B-13)

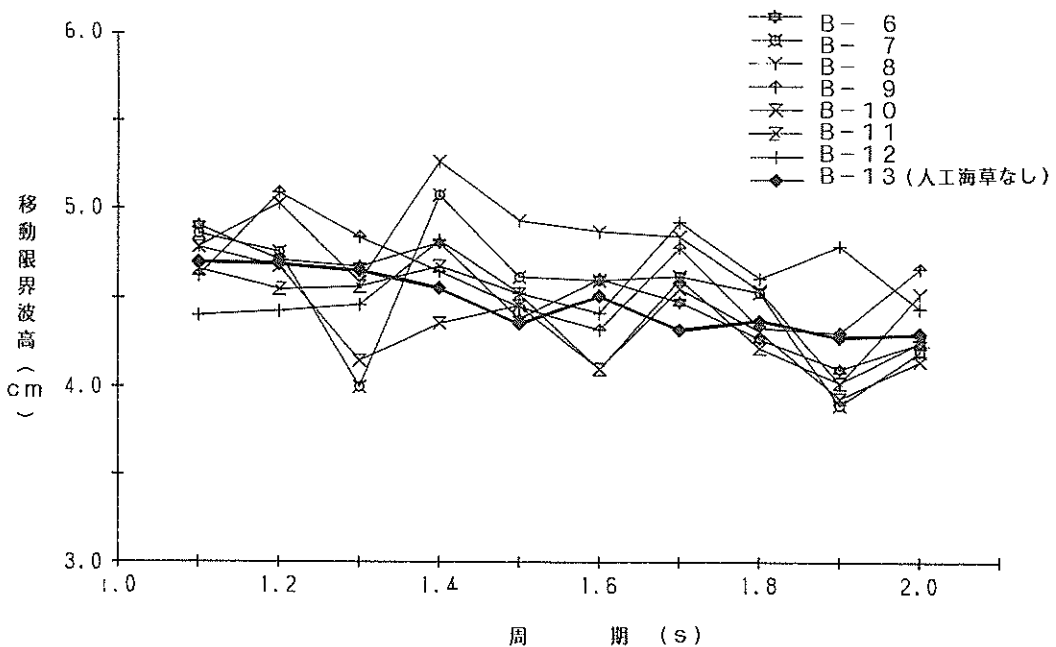


図-8.2 移動限界波高の比較 (B-6~13)



#### 4. 人工海草がある場の波による岸沖流速の鉛直分布実験

##### 4. 1 実験の目的と概要

3. において移動限界波高の視点から、人工海草が底質移動の抑止機能を有するかどうかを検討した。ここでは、掃流および浮遊した底質はどう移動し、どこが侵食されどこへ堆積するかを検討する。

その一つの考えかたとして、本実験は波の水粒子運動の岸・沖水平流速成分に注目し、人工海草がない場合とこれがある場合の流速の関係から、底質移動に対する人

工海草の機能を評価できるかどうかを検討することを目的とした。あわせて人工海草等による波高の低減効果について検討した。

実験施設の概要は、まず施設は3.と同じ水路であり、模型も3.で用いたものと同じものを使用した。実験の水深は30 cmである。

##### 4. 2 測定項目と実験方法

実験ケースを表-4に示す。実験は人工海草として採用する5素材17ケースと人工海草がない場合1ケースに加えて剛直な板状棒および丸棒群を固定した2ケースの合計20ケースを行った。

表-4 波による岸・沖流速の鉛直分布実験ケース

ケース	素材番号	材 質	長さ	植生間隔	幅	厚さ, 径	植生区域長
C-1	2	ポリプロピレン	20cm	2.5cm	10mm	0.15mm	100cm
C-2	〃	〃	20	5.0	10	0.15	100
C-3	〃	〃	20	5.0	10	0.15	200
C-4	〃	〃	20	5.0	10	0.15	300
C-5	〃	〃	20	10.0	10	0.15	100
C-6	〃	〃	10	5.0	10	0.15	100
C-7	〃	〃	10	5.0	10	0.15	200
C-8	〃	〃	10	5.0	10	0.15	300
C-9	〃	〃	5	5.0	10	0.15	100
C-10	4	ポリエチレン	20	5.0	10	1.00	100
C-11	〃	〃	20	10.0	10	1.00	100
C-12	7	ポリエステル	20	5.0	10	0.20	100
C-13	〃	〃	20	10.0	10	0.20	100
C-14	15	ナイロン偏平糸	20	5.0	0.9×11	0.15	100
C-15	21	ポリプロピレン21	20	5.0	16	0.45	100
C-16	〃	〃	20	10.0	16	0.45	100
C-17	〃	〃	10	5.0	16	0.45	100
C-18	22	アクリル板	20	5.0	10	2.20	100
C-19	23	アクリル丸棒	20	5.0	—	10.0	100
C-20	人工海草なし						

表-5 1ケースの設定実験波の諸元と水深

周期	波 高	水 深
1. 2 S	4 cm	30cm
〃	6	〃
〃	8	〃
1. 6	4	〃
〃	6	〃
〃	8	〃
2. 0	4	〃
〃	6	〃
〃	8	〃

表-4からわかるように、基本的な岸沖植生区域長は1 mとしたが、植生区域長の違いによる差異をみるために植生区域長を2倍および3倍にしたケースC-3, 4およびC-7, 8を加えてある。葉状体の長さの違いによる特性をみるために素材番号2 (ポリプロピレン) について長さ5 cm, 10 cm, 20 cmで植生間隔5 cmを、素材の違いをみるために長さ20 cmで植生間隔5 cmを全素材について、植生間隔による違いをみるために代表的な素材については10 cm, 2.5 cm間隔のものも行った。

作用波の諸元は、1ケースに対して波高3種類、周期3種類の計9種類の組み合わせである。表-5にこれら

の諸元を示す。

作用波の設定は、人工海草なし（砂面固定床のみ）のケースにおいて、表-5の左欄に示す各周期に対して沖側測点の波高が4, 6, 8 cmとなるように偏心値と波高低減フィルターの枚数をそれぞれ定め、全ケースに対してこれを用いた。

波高の測定位置と方法および波高計（容量式波高計）は3.の実験と同じであり、沖側、中央、岸側の3測点である。流速計の機種（電磁流速計）および測定位置も3.と同じであるけれども、本実験では原則として3測点において岸・沖流速および横断方向の鉛直分布を測定した。鉛直方向の測定は3.と同じであり、底面上2.5~25 cmの間に対して2.5 cm間隔である。また、測定が可能である（流速計に葉状体が接触しない状態）ケースについては、中央測点から水路横断方向に約12.5 cmずらした植生区間内においても流速の測定を行った。

これら波高計および流速計の記録の取得は、6チャンネルのペン書きオシログラフに記録した。波高、流速とも10波を1データとして使用できるように、原則として11波を連続記録させた。

#### 4.3 実験結果および考察

記録された流速のアナログ波形から岸向き、沖向きそれぞれ10波の最大流速を読み取り、これを平均してその流速値とした。図-9.1~3に人工海草なしのケースの各測点における岸・沖最大流速の鉛直分布を示す。

図の横軸は最大流速、縦軸には底面からの高さを取り、1つの周期に対して波高3種類の流速分布を示してある。図中の○印を実線で結んだものが中央測点（測定用空間内）、●印が沖側測点、×印が岸側測点のものである。図の中央を境にして右側に岸向き、左側に沖向きの流速を示す。

図によれば波高の違いによる流速は、周期の異なる1~3図とも波高4 cmの時がもっとも小さく、次いで6 cm, 8 cmの順であり、その差異は歴然としている。このことは、岸向きおよび沖向きとも同じである。

鉛直分布についてみると、底面からの高さが低いほどすなわち底層ほど流速が小さく、水面に近づくほど大きくなる。これを周期の違いで比較すると岸向き、沖向きとも1.2 s, 1.6 s, 2.0 sの順でその傾向が強い。

測点の違いによる差異は、周期1.2 sの場合は3種類

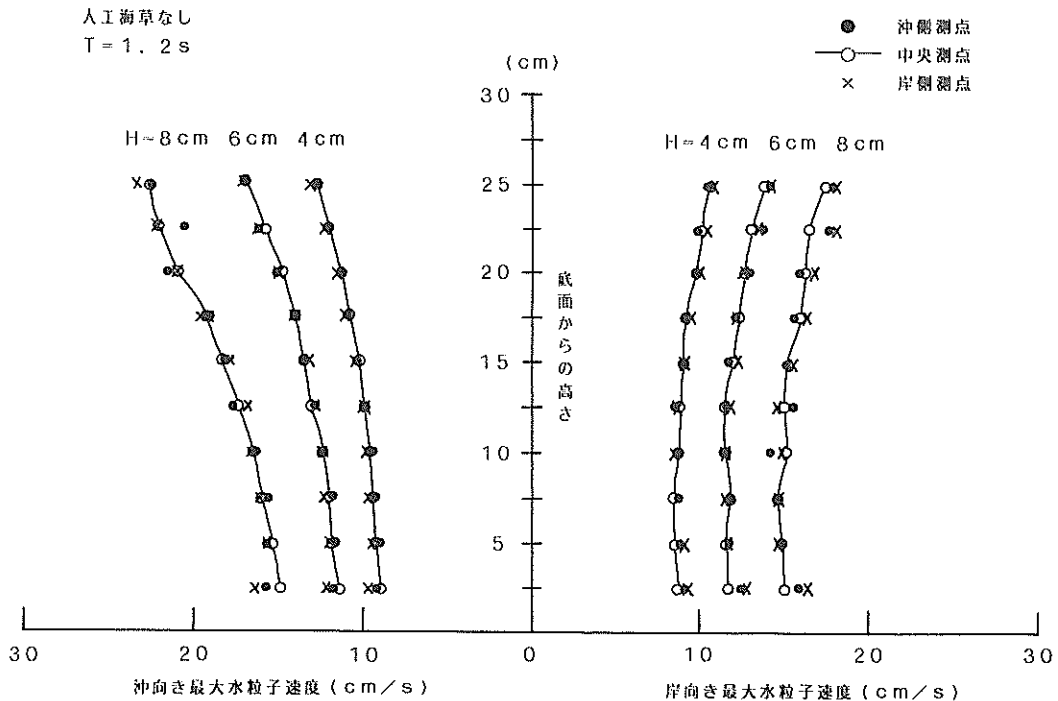


図-9.1 岸・沖最大流速の鉛直分布（人工海草なし， $T=1.2\text{ s}$ ）

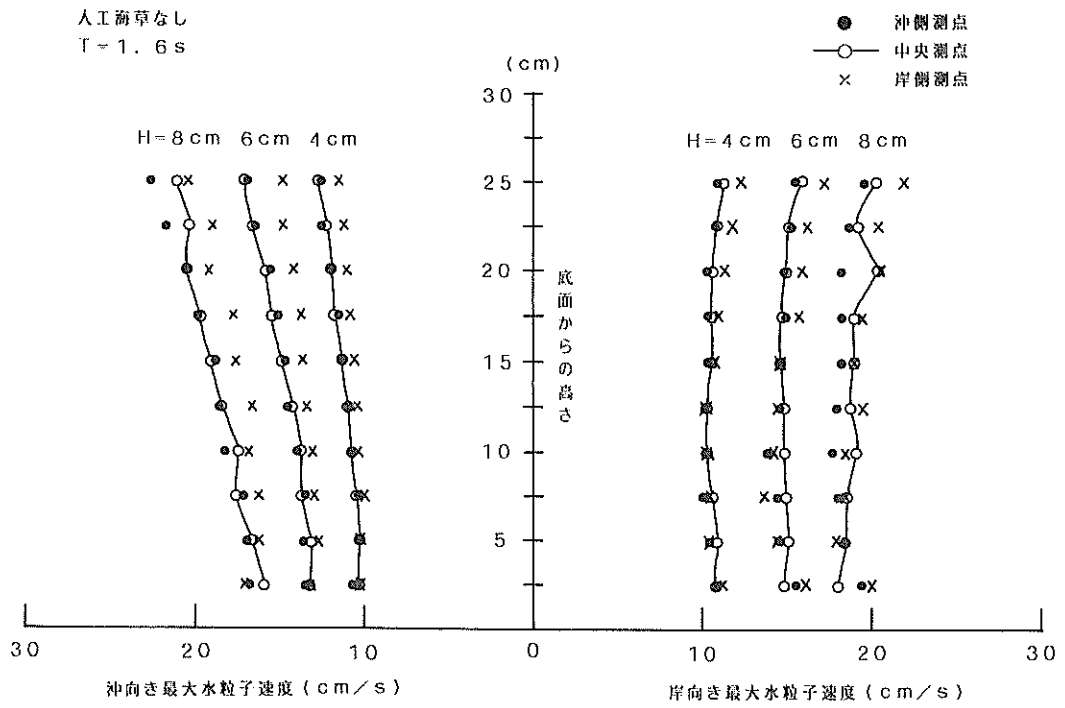


図-9.2 岸・沖最大流速の鉛直分布 (人工海草なし,  $T=1.6 \text{ s}$ )

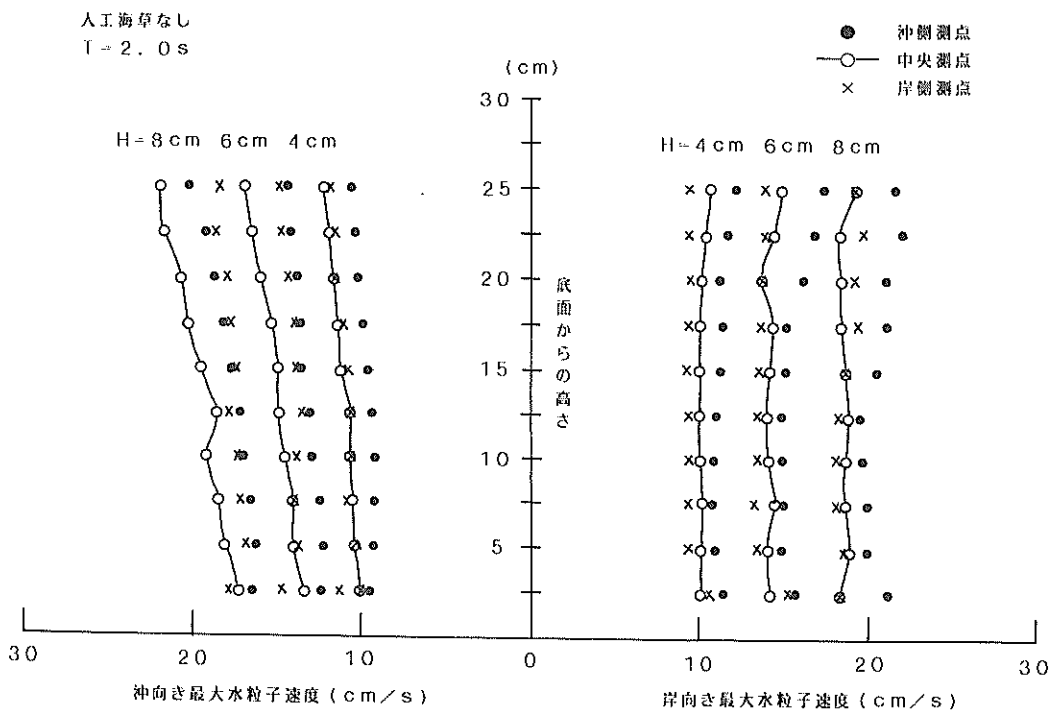


図-9.3 岸・沖最大流速の鉛直分布 (人工海草なし,  $T=2.0 \text{ s}$ )

の波高ともほとんどみられない。周期1.6sの場合は岸側測点の値が岸向きがやや大きく、沖向きが小さい値を示す。周期2.0sの場合は岸向きでは沖側測点の値が最も大きく、次いで中央測点、岸側測点の順となり、沖向きでは中央測点の値が最も大きく、沖側と岸側測点はほぼ同様な値を示している。

次に人工海草がある場合の同様な図を示すこととする。ただし、19ケースのすべてを示すと多量となるので、代表的なケースC-1とC-15について例示すると図-10. 1~3および図-11. 1~3のようになる。両図とも波高が大きくなるほど図-9. 1~3とは異なった形を示し、図-10. 1~3では2, 3の波高8cmの場合が顕著である。これによれば中央測点において、岸向き流速は底層から中層にかけて大きく、上層が小さくなっている。これに対して沖向き流速は底層が小さく、上層になるほど大きくなる。岸側測点では岸向き、沖向きとも沖側測点よりやや小さな値を示しており、このことは中央測点の岸向き流速が大きくなる他のケースにも同じことが言えている。

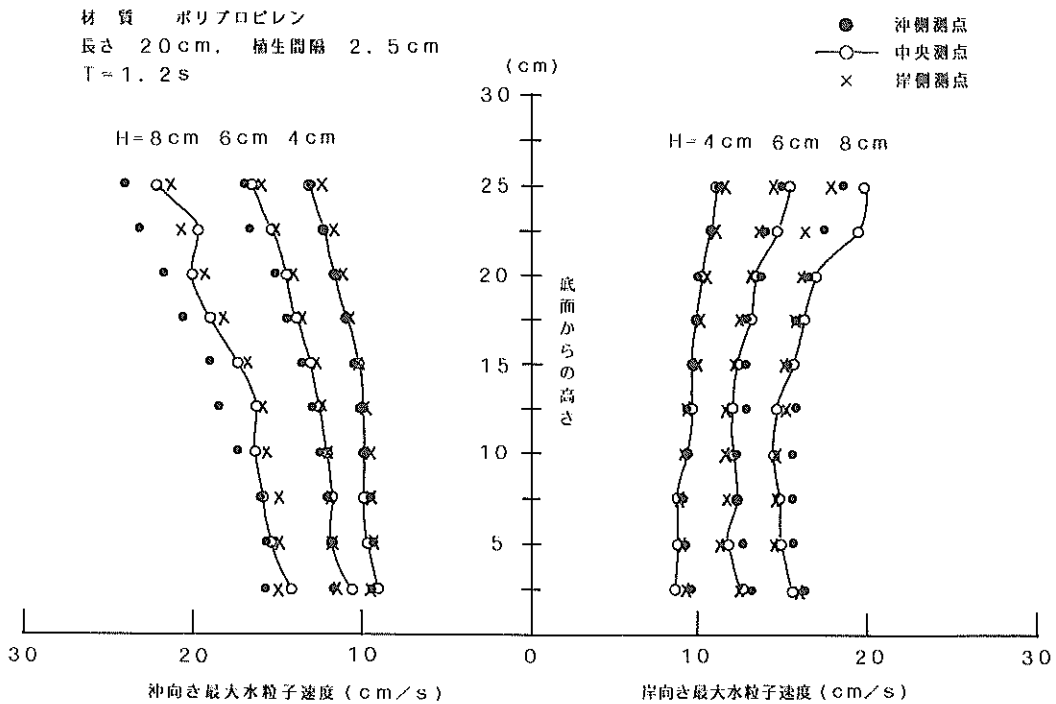
一方、中央測点の分布のみを示した図-11. 1~3についてみると、岸向き、沖向きとも全体的に流速値が小

さいということができ、図-10. 1~3とは大きく異なった傾向を示している。これらの素材は共にポリプロピレンであるけれども、表-4に示したように幅、厚さおよび比重が異なっている。

人工海草によって岸・沖流速がどのように変化するかをみるために、図-9. 1~3に示した人工海草なしに対するそれがある場合の流速の比の鉛直分布について、先に例示したケースC-1とC-15に対して示すと図-12. 1~3および図-13. 1~3のようになる。ここで流速値は中央測点のものを使用して求めた。

図は中央を境にして右側に岸向き、左側に沖向きを示した。横軸に流速の比を、縦軸に底面からの測点高をとっている。ここで  $U_f$  : 人工海草がある場合の岸向き流速,  $U_{f0}$  : 人工海草なしの岸向き流速,  $U_b$  : 人工海草がある場合の沖向き流速,  $U_{b0}$  : 人工海草なしの沖向き流速,  $H$  および  $T$  : 設定波の波高と周期である。図の左上に示す材質に続く ( ) 内の数字は、左から葉状体の長さ、植生間隔、葉状体の幅であり、その単位は前2者はcm、後者はmmである。

まず図-12. 1~3によれば、鉛直方向の各測点における岸向きを示す  $U_f / U_{f0}$  は、底層から表層付近にか



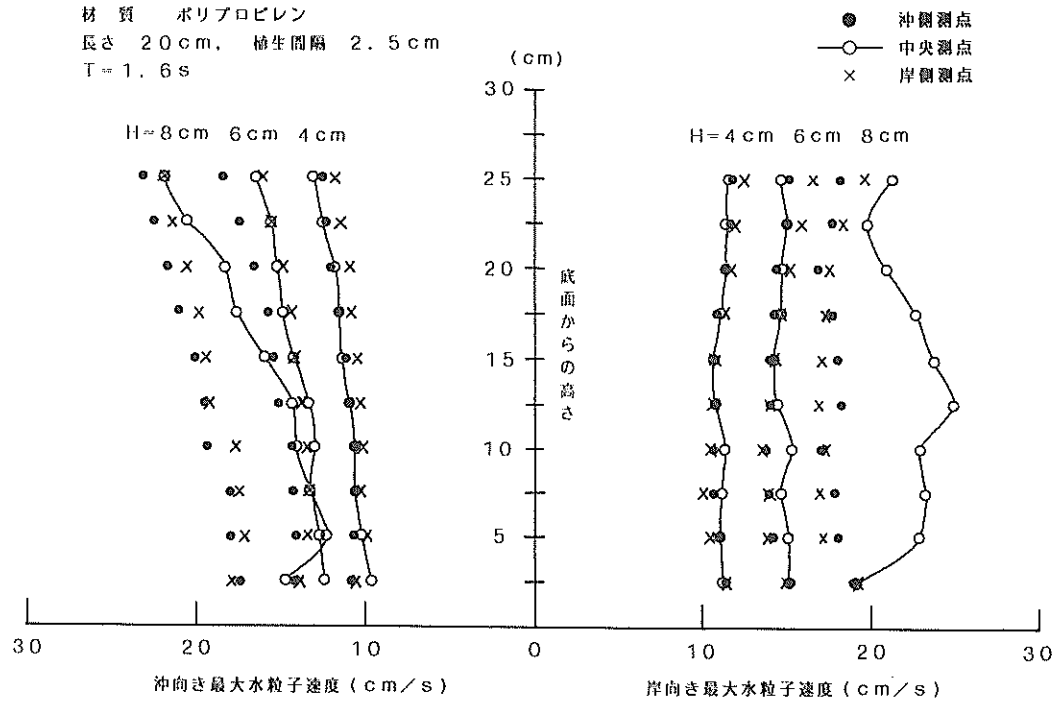


図-10.2 岸・沖最大流速の鉛直分布 (C-1,  $T=1.6 s$ )

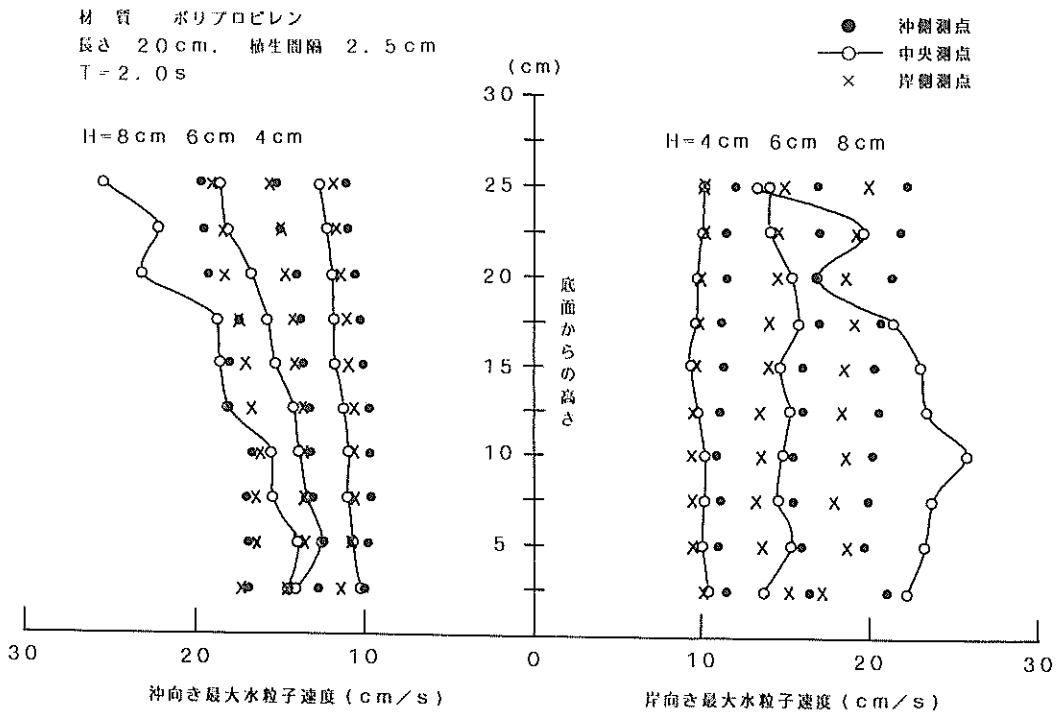


図-10.3 岸・沖最大流速の鉛直分布 (C-1,  $T=2.0 s$ )

材質 ポリアプロピレン 21  
 長さ 20 cm, 植生間隔 5 cm  
 T = 1.2 s

(中央測点)

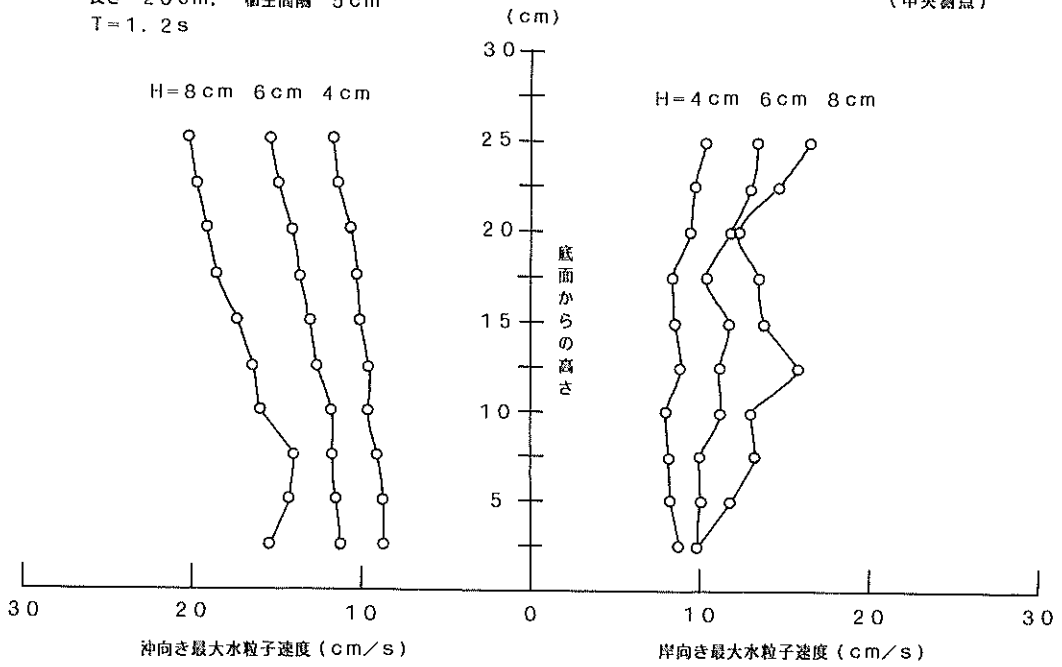


図-11.1 岸・沖最大流速の鉛直分布 (C-15, T=1.2 s)

材質 ポリアプロピレン 21  
 長さ 20 cm, 植生間隔 5 cm  
 T = 1.6 s

(中央測点)

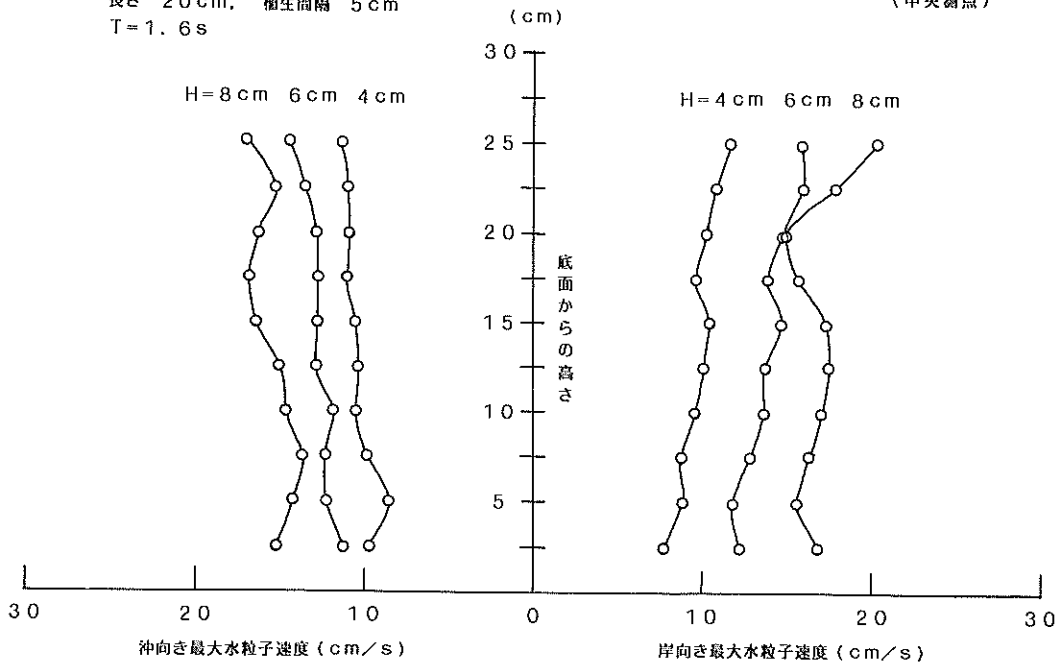


図-11.2 岸・沖最大流速の鉛直分布 (C-15, T=1.6 s)

材 質 ポリプロピレン 21  
 長さ 20cm, 植生間隔 5cm  
 T=2.0s

(中央測点)

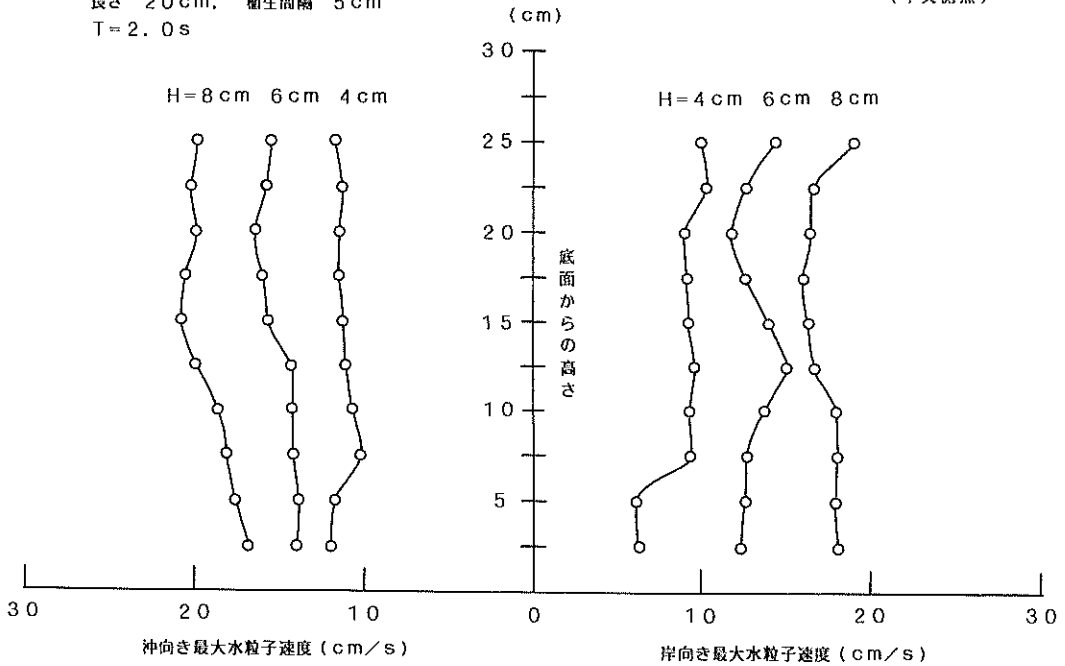


図-11.3 岸・沖最大流速の鉛直分布 (C-15, T=2.0s)

けて1付近から大きい値をとり、特に図-12. 2, 3の波高8cmの場合が底層から中層にかけて極端に大きく、その最大値は1.38を示している。一方、沖向きを示す  $U_b / U_{b0}$  は、 $U_f / U_{f0}$  とは反対な傾向を持ち、底層から中層で1より小さい値をとり、その最少値は0.74を示している。このことは、ポリプロピレン (20-2.5-10)

の場合は底層、中層の流速が岸向きには大きくなり、沖向きには小さくなることを意味する。

図-13. 1~3では、岸向き流速の比が底層から上層まで1より小さい値をとり、沖向きも1より小さい値をとることが多い。これは、ポリプロピレン21 (20-5-16) の場合の流速は岸向きにも沖向きにも小さくなるこ

ポリプロピレン(20-2.5-10) T=1.2s

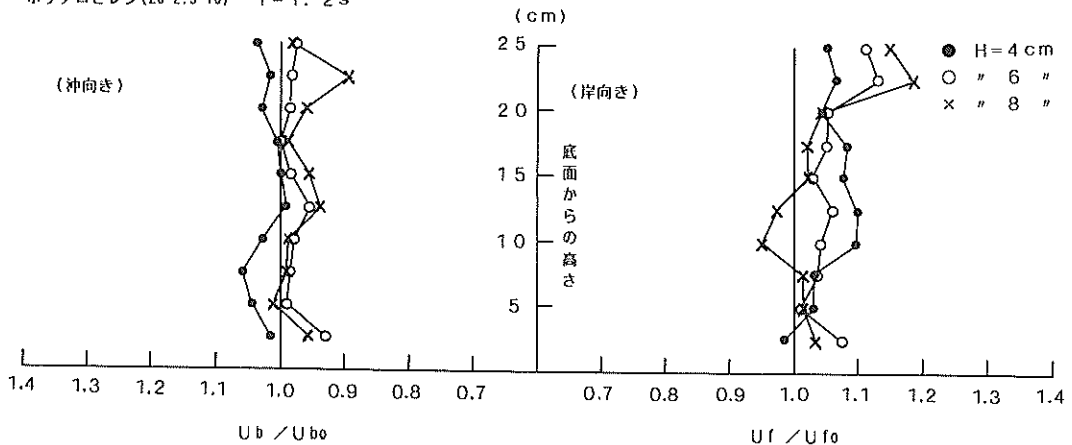


図-12.1 人工海草による岸・沖最大流速の変化 (C-1/C-20, T=1.2s)



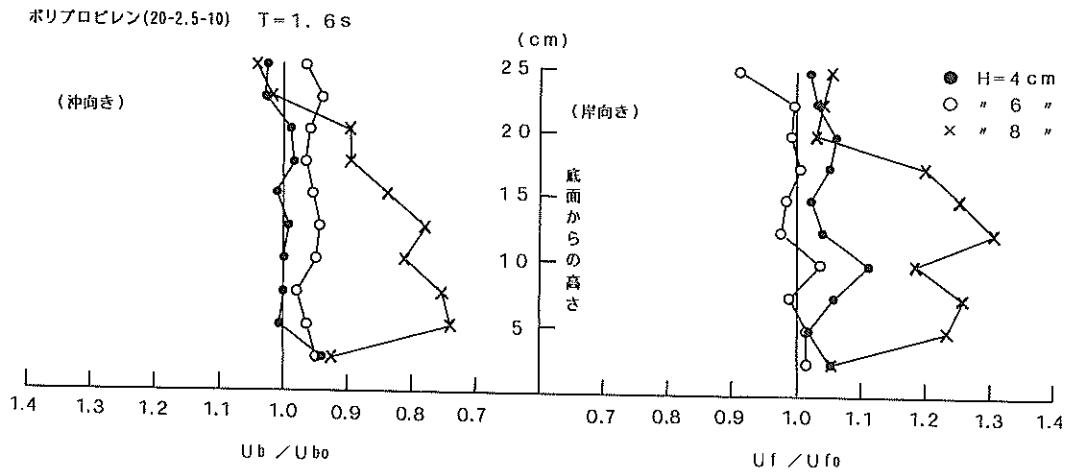


図-12.2 人工海草による岸・沖最大流速の変化 (C-1/C-20,  $T=1.6s$ )

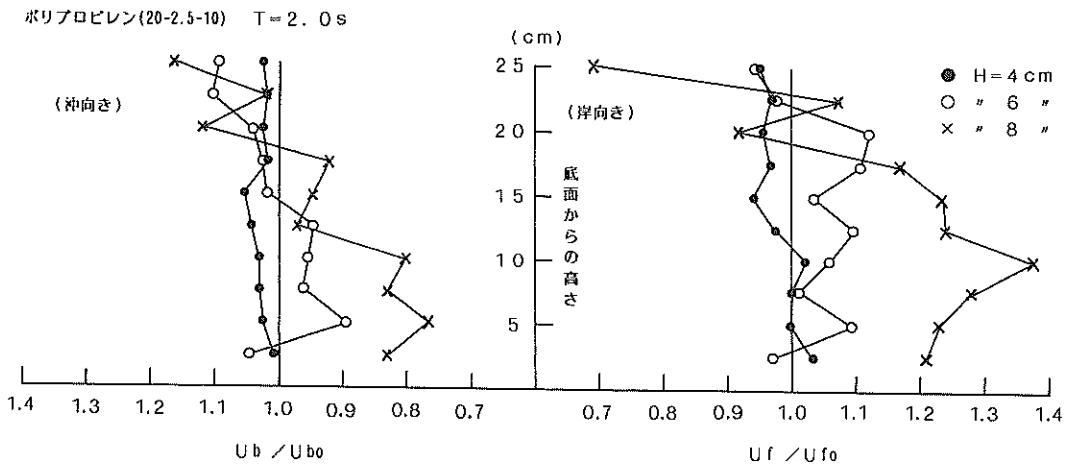


図-12.3 人工海草による岸・沖最大流速の変化 (C-1/C-20,  $T=2.0s$ )

とを示している。

以上のように、ケースC-1とC-15について検討した結果だけを見ても大幅に違った特性を持っているといえることができる。

これらのことを考慮して、漂砂量の大部分を支配する底層部において人工海草なしに対するそれがある場合の岸向き、沖向き最大流速のそれぞれの比を求めて、これにより人工海草が流速に及ぼす効果を検討することとした。

この際、底層部の範囲を底面からどれだけとするかを決定することは重要なことである。浮遊砂に関する入江

ら<sup>13)</sup>の水平移動床実験にもみられるように、浮遊砂濃度は底面付近が最も高く、上方になるほど低くなることを示し、その変化は指数関数的であることが確認されている。

実験の主要な条件が本実験と同程度である入江らの結果によれば、濃度100 ppm以下になる底面からの高さは10 cmを超えることはないものと判断される。そこで、ここでは底層部を底面から約10 cmの範囲として、底面上2.5, 5.0, 7.5, 10.0 cmの測定の岸向き、沖向きそれぞれの最大流速の平均値を求めて底層部の流速とすることとした。

ポリプロピレン21 (20-5-16)  $T = 1.2 \text{ s}$

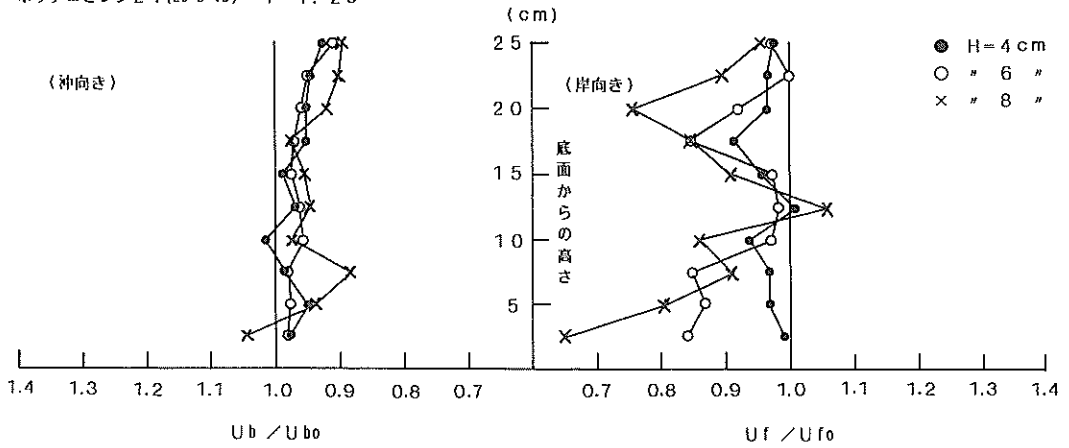


図-13.1 人工海草による岸・沖最大流速の変化 (C-15/C-20,  $T=1.2 \text{ s}$ )

ポリプロピレン21 (20-5-16)  $T = 1.6 \text{ s}$

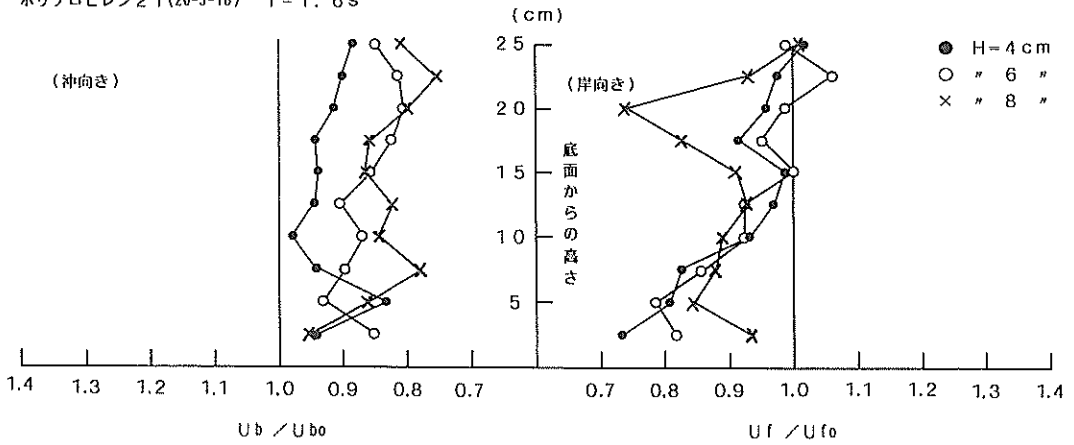


図-13.2 人工海草による岸・沖最大流速の変化 (C-15/C-20,  $T=1.6 \text{ s}$ )

ポリプロピレン21 (20-5-16)  $T = 2.0 \text{ s}$

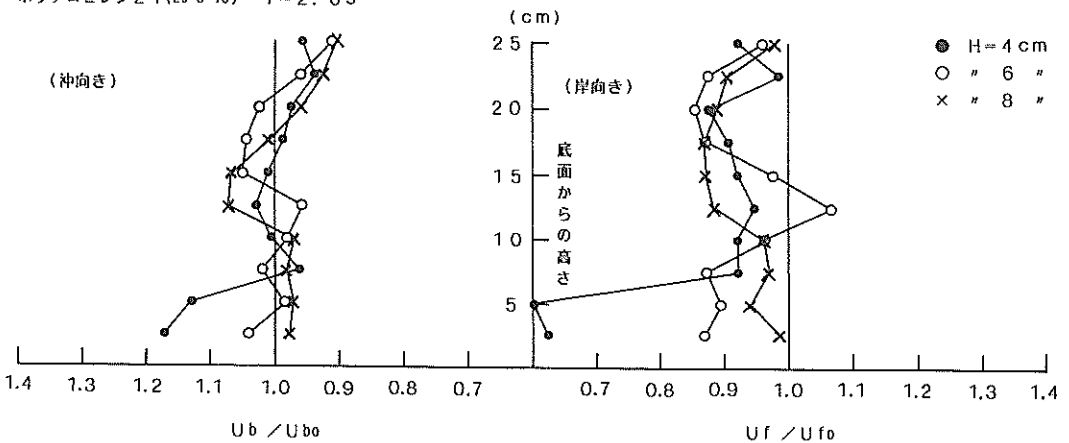


図-13.3 人工海草による岸・沖最大流速の変化 (C-15/C-20,  $T=2.0 \text{ s}$ )

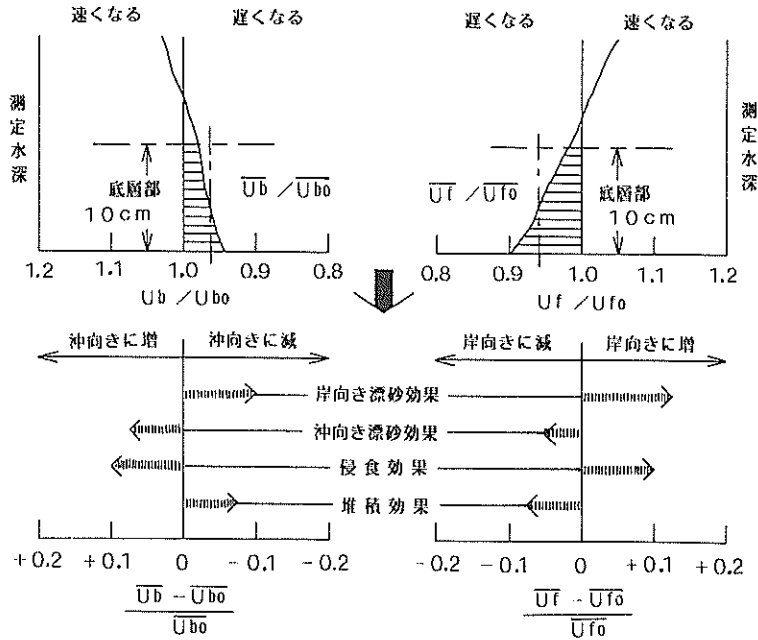


図-14 人工海草による4つの漂砂効果の説明

		周 期 ( s )				周 期 ( s )				周 期 ( s )				周 期 ( s )				周 期 ( s )			
		1.2	1.6	2.0	1.2	1.6	2.0	1.2	1.6	2.0	1.2	1.6	2.0	1.2	1.6	2.0	1.2	1.6	2.0		
波	8	·	(○)	○	○	(○)	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	●	○	○		
	6	○	●	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	·	·	○	·	·	○		
	4	×	○	·	○	○	○	·	·	●	○	●	●	·	△	·	·	△	·		
		ポリプロピレン 20-2.5-10				ポリプロピレン 20-5-10				ポリプロピレン 20-5-10-②				ポリプロピレン 20-5-10-③				ポリプロピレン 20-10-10			
高	8	●	《●》	○	●	·	○	●	●	●	○	(○)	○	●	●	●	●	●	●		
	6	●	●	●	●	●	○	●	●	○	○	●	○	△	●	●	△	●	●		
	4	●	●	·	○	·	●	·	·	●	○	●	○	△	●	●	△	●	●		
		ポリプロピレン 10-5-10				ポリプロピレン 10-5-10-②				ポリプロピレン 10-5-10-③				ポリプロピレン 5-5-10				ポリエチレン 20-5-10			
cm	8	·	●	○	·	●	○	·	●	○	○	●	●	●	《●》	●	●	●	●		
	6	△	●	·	·	●	○	○	●	△	○	●	●	●	●	●	●	●	●		
	4	○	△	△	△	·	·	○	·	×	○	·	●	●	●	△	●	●	△		
		ポリエチレン 20-10-10				ポリエステル 20-5-10				ポリエステル 20-10-10				ナイロン偏平糸 20-5-10				ポリプロピレン21 20-5-16			
mm	8	·	●	·	●	○	○	●	《●》	●	●	●	●	●	●	●	·	·	·		
	6	○	●	△	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	·	·	·		
	4	○	○	△	○	○	●	●	●	●	·	·	·	·	·	·	·	·	·		
		ポリプロピレン21 20-10-16				ポリプロピレン21 10-5-16				アクリル板 20-5-10				アクリル丸棒 20-5-10							

○ 岸向き漂砂効果  
● 堆積効果  
△ 沖向き漂砂効果  
× 侵食効果

長さ 植生間隔 幅  
(cm) (cm) (mm)

図-15 各材質、各諸元の人工海草に対する4つの漂砂効果の発生状況

表-6 底層部における岸・沖流速の人工海草がある場の人工海草なしに対する増減

材 質	形 状	波高	沖向き		岸向き		沖向き		岸向き					
			1.2s		1.6s		2.0s							
ポリプロピレン	20- 2.5-10	4 cm 6 cm 8 cm	+ 0.036	+ 0.035	- 0.013	+ 0.056	+ 0.024	+ 0.013	- 0.030	+ 0.040	- 0.037	+ 0.033		
			- 0.014	+ 0.003	- 0.039	+ 0.012	- 0.194	+ 0.184	- 0.037	+ 0.033	- 0.014	+ 0.012	- 0.037	+ 0.033
			- 0.014	+ 0.003	- 0.195	+ 0.184	- 0.194	+ 0.184	- 0.194	+ 0.274				
ポリプロピレン	20- 5-10		- 0.036	+ 0.060	- 0.019	+ 0.058	- 0.010	+ 0.061	- 0.051	+ 0.084	- 0.017	+ 0.100		
			- 0.015	+ 0.095	- 0.070	+ 0.078	- 0.088	+ 0.153						
			- 0.015	+ 0.095	- 0.104	+ 0.065	- 0.088	+ 0.153						
ポリプロピレン	20-5-10-2		- 0.018	+ 0.023	- 0.018	- 0.022	+ 0.021	- 0.036	- 0.028	0	- 0.014	- 0.032		
			- 0.048	- 0.017	- 0.148	- 0.018	- 0.064	- 0.015						
			- 0.048	- 0.017	- 0.146	- 0.055	- 0.064	- 0.015						
ポリプロピレン	10-5-10-3		- 0.049	+ 0.044	- 0.035	- 0.023	- 0.024	- 0.059	- 0.025	- 0.026	- 0.058	- 0.043		
			- 0.065	- 0.018	- 0.080	- 0.095	- 0.108	- 0.061						
			- 0.065	- 0.018	- 0.102	- 0.084	- 0.108	- 0.061						
ポリプロピレン	20-10-10		+ 0.007	- 0.021	+ 0.042	+ 0.017	+ 0.008	+ 0.021	- 0.021	- 0.019	- 0.021	+ 0.043		
			+ 0.012	- 0.037	+ 0.006	- 0.021	- 0.022	+ 0.112						
			+ 0.012	- 0.037	- 0.019	+ 0.092	- 0.022	+ 0.112						
ポリプロピレン	10- 5-10		- 0.054	+ 0.023	- 0.031	0	- 0.008	- 0.005	- 0.034	- 0.027	- 0.039	+ 0.020		
			- 0.026	- 0.055	- 0.121	- 0.004	- 0.093	+ 0.033						
			- 0.026	- 0.055	- 0.111	- 0.053	- 0.093	+ 0.033						
ポリプロピレン	10-5-10-2		- 0.047	+ 0.025	- 0.005	+ 0.002	- 0.037	+ 0.010	- 0.042	- 0.049	- 0.058	+ 0.060		
			- 0.035	- 0.031	+ 0.010	- 0.048	- 0.037	+ 0.089						
			- 0.035	- 0.031	+ 0.004	- 0.022	- 0.037	+ 0.089						
ポリプロピレン	10-5-10-3		- 0.022	+ 0.012	+ 0.003	- 0.020	- 0.091	+ 0.015	- 0.042	- 0.040	- 0.115	+ 0.027		
			- 0.051	- 0.028	- 0.030	- 0.071	- 0.092	+ 0.020						
			- 0.051	- 0.028	- 0.047	- 0.072	- 0.092	+ 0.020						
ポリプロピレン	5- 5-10		- 0.024	+ 0.031	- 0.034	+ 0.008	- 0.066	+ 0.072	- 0.034	+ 0.057	- 0.058	+ 0.056		
			- 0.040	+ 0.091	- 0.116	+ 0.057	- 0.064	+ 0.064						
			- 0.040	+ 0.091	- 0.116	+ 0.057	- 0.064	+ 0.064						
ポリエチレン	20- 5-10		+ 0.031	- 0.023	- 0.056	+ 0.006	0	- 0.049	+ 0.045	- 0.098	- 0.041	0		
			- 0.018	- 0.026	- 0.122	- 0.021	- 0.049	0						
			- 0.018	- 0.026	- 0.170	- 0.049	- 0.049	- 0.024						
ポリエチレン	20-10-10		0	+ 0.043	+ 0.027	+ 0.006	+ 0.026	0	+ 0.054	- 0.021	+ 0.013	+ 0.005		
			+ 0.011	- 0.016	+ 0.019	- 0.032	+ 0.017	+ 0.039						
			+ 0.011	- 0.016	- 0.024	- 0.035	- 0.017	+ 0.039						
ポリエステル	20- 5-10		+ 0.034	+ 0.015	- 0.024	- 0.002	+ 0.010	+ 0.003	+ 0.024	+ 0.016	+ 0.012	+ 0.029		
			+ 0.008	+ 0.016	- 0.030	- 0.030	- 0.022	+ 0.105						
			+ 0.008	+ 0.016	- 0.093	+ 0.024	- 0.022	+ 0.105						
ポリエステル	20-10-10		- 0.034	+ 0.060	+ 0.023	- 0.023	+ 0.050	+ 0.026	- 0.034	+ 0.026	+ 0.037	+ 0.023		
			- 0.004	+ 0.022	- 0.116	- 0.002	+ 0.019	+ 0.132						
			- 0.004	+ 0.022	- 0.143	+ 0.002	+ 0.019	+ 0.132						
ナイロン偏平糸	20- 5-10		- 0.022	+ 0.060	- 0.003	+ 0.017	- 0.027	- 0.003	- 0.006	+ 0.029	- 0.029	- 0.006		
			- 0.029	+ 0.028	- 0.112	0	- 0.031	- 0.014						
			- 0.029	+ 0.028	- 0.175	- 0.040	- 0.031	- 0.014						
ポリプロピレン21	20- 5-16		- 0.018	- 0.033	- 0.074	- 0.178	+ 0.066	- 0.233	- 0.025	- 0.118	+ 0.006	- 0.101		
			- 0.042	- 0.195	- 0.143	- 0.115	- 0.025	- 0.036						
			- 0.042	- 0.195	- 0.143	- 0.115	- 0.025	- 0.036						
ポリプロピレン21	20-10-16		0	+ 0.046	- 0.080	+ 0.053	+ 0.054	- 0.051	- 0.027	+ 0.044	+ 0.025	- 0.040		
			- 0.020	+ 0.022	- 0.144	- 0.013	- 0.021	- 0.015						
			- 0.020	+ 0.022	- 0.144	- 0.013	- 0.021	- 0.015						
ポリプロピレン21	10- 5-16		- 0.110	+ 0.095	- 0.090	0	- 0.131	- 0.033	- 0.116	+ 0.074	- 0.173	+ 0.100		
			- 0.043	- 0.008	- 0.344	+ 0.091	- 0.208	+ 0.128						
			- 0.043	- 0.008	- 0.344	+ 0.091	- 0.208	+ 0.128						
アクリル板	20- 5-10		- 0.054	+ 0.021	- 0.122	+ 0.017	- 0.107	- 0.053	- 0.131	- 0.023	- 0.070	- 0.022		
			- 0.154	- 0.090	- 0.097	- 0.038	- 0.091	- 0.042						
			- 0.154	- 0.090	- 0.117	- 0.058	- 0.091	- 0.042						
アクリル丸棒	20- 5-10		+ 0.024	+ 0.004	- 0.013	+ 0.005	+ 0.018	- 0.020	+ 0.011	- 0.036	+ 0.005	- 0.047		
			- 0.009	- 0.058	- 0.093	- 0.087	- 0.023	- 0.081						
			- 0.009	- 0.058	- 0.093	- 0.087	- 0.023	- 0.081						

図-14に底層部の岸・沖最大流速の関係から人工海草の効果を求める説明の図を示す。図の上段は図-12および13を基本として示したものであり、右側に岸向き、左側に沖向きのそれぞれを配置してある。

このようにして底層部の平均最大流速の比  $\overline{U_f} / \overline{U_{f0}}$ ,  $\overline{U_b} / \overline{U_{b0}}$  が求まる。この関係を基準化して模式的に分類して示すと図の下段のようになり、岸向き流速が増加する場合をプラス、それが減少する場合をマイナス、沖向き流速が増加する場合をプラス、それが減少する場合をマイナスとして表現することができる。そこでこれらの関係を底質移動に置き換えて以下のように分類することを試みる。

- 岸向き流速の関係がプラス側で、沖向き流速のそれがマイナス側 ……岸向き漂砂効果
- △ 岸向き流速の関係がマイナス側で、沖向き流速のそれがプラス側 ……沖向き漂砂効果
- × 岸向き流速の関係がプラス側で、沖向き流速のそれもプラス側 ……侵食効果
- 岸向き流速の関係がマイナス側で、沖向き流速のそれもマイナス側 ……堆積効果

これら4つの分類に従って、人工海草等が底質移動に対してどのような効果があるかを示したのが図-15である。

図には19ケースのすべてを示してある。また、表-6に図-15を求めるための基礎資料となる計算結果を示しておく。図の横軸は作用波の周期、縦軸は波高である。各ケースの下側には材質を示し、その下段には右から葉状体の長さ、植生間隔、幅の順で示した。さらにその後には植生区域長が2mのものを②、3mのものを③と特記してある。

図-15は一見してわかるように○印と●印が大部分を占めており、△印と×印は非常に少ない上に波高の大きい8cmには皆無となっている。ここで無印は、人工海草等がない場合に対するそれがある場合の関係のそれぞれの値が小さく、岸向き沖向きとも±0.025未満である場合は、効果の判定はできないとしたものである。なお、岸・沖の一方が±0.025未満の場合は他方の向きによって決定している。これによれば、

- 1) ほとんどのケースは、○印で示された岸向き漂砂効果と●印の堆積効果が多くを占めており、○印と●印を加えた1ケース9組に対する割合が半数以下であるのはケース5, 11, 12の3ケースのみである。
- 2) ○印と●印が半数以下の3ケースは、植生間隔が最も粗い10cmの2素材とポリエステル(20-5-

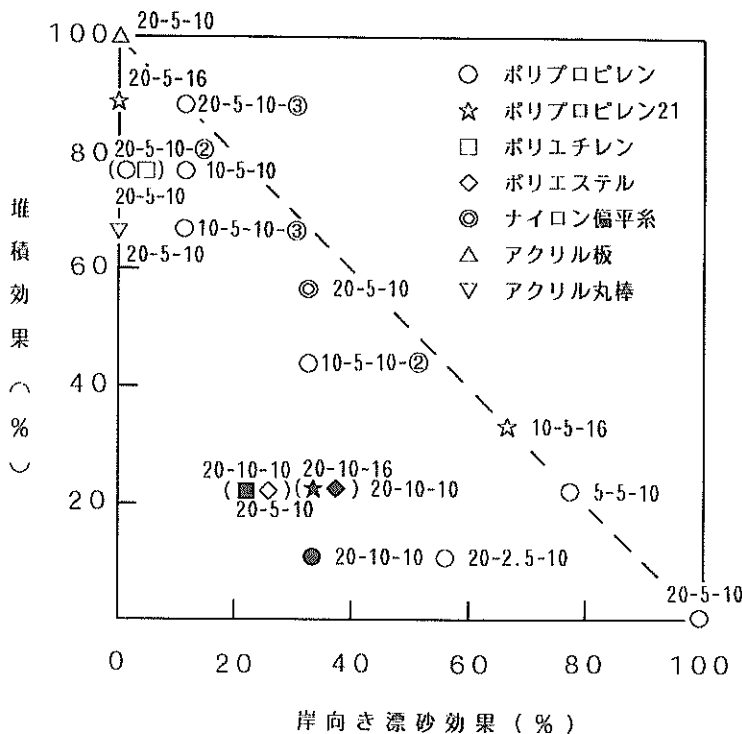


図-16 人工海草の種類、植生間隔等に対する岸向き漂砂効果と堆積効果

10) である。ポリエステルを例外として、水底より葉状体を立てると植生間隔をある程度確保すれば、岸向き漂砂効果または堆積効果が期待できる。

3) 同じ植生条件での人工海草素材の違いについてみると、ポリプロピレンが最も○印(岸向き漂砂効果)が多く、ポリプロピレン21が最も●印(堆積効果)が多い。

4) ポリプロピレンについて植生域長の異なる3種類では、植生区域長を増やせば堆積効果が大きくなる傾向がある。

5) 全ケースを通して○印と●印の数は周期にはあまり関係なく、波高が大きくなるほど多い。

これら波浪諸元の異なる9つの組み合わせの結果に対し、岸向き漂砂効果と堆積効果が発生したそれぞれの割合を求めると図-16のようになる。縦軸に堆積効果の発生割合を、横軸に岸向き漂砂効果の発生割合をプロットしてある。図において100%を結ぶ破線は、堆積効果と岸向き漂砂効果が発生した割合の合計が100%となる条件を示すものである。植生間隔の最も粗い10 cmのケースについては、容易に識別できるように特に記号を黒塗りにして示した。また( )で示したものは同率であり、左側の記号がその位置を表している。図から次のことが指摘できる。

- (1) 堆積効果と岸向き漂砂効果の合計が60%を下回るのは、植生間隔が粗い10 cmの全素材とポリエステル(20-5-10)である。
- (2) 植生間隔が5 cm以下と密なケースは、図の破線付近にプロットされ、(1)で述べたようにポリエステルを例外として堆積効果と岸向き漂砂効果が必ずあることを示している。
- (3) 材質の違い(20-5-10および16)では、堆積効果は剛直なアクリル板が最も強く、次いでポリプロピレン21の順であり、岸向き漂砂効果はポリプロピレンが最も強い。ポリエチレン、剛直なアクリル丸棒は堆積効果があり、ナイロン偏平糸は両方の効果があるけれども堆積効果の方がやや強い。
- (4) 葉状体の長さの違いでは、ポリプロピレンでは5 cmと20 cmが岸向き漂砂効果が強く、10 cmのものは堆積効果が強い傾向がある。ポリプロピレン21では10 cmのものは岸向き漂砂効果が強く、20 cmのものは堆積効果が強い。
- (5) 植生区域長についてみると、葉状体の長さが20 cmでは植生区域長が短い場合は岸向き漂砂効果が強く、それが長くなるほど堆積効果に変わっている。10 cmの場合はもともと堆積効果が強い傾向があ

り、植生区域長による変化ははっきりしない。

図-16に示された結果から、底面から上方に植生した柔軟な人工海草や剛直な板状棒・丸棒群は、ある程度の植生間隔(植生密度)を確保すれば岸向き漂砂効果、堆積効果あるいはその両方の効果が期待できる。また岸向き漂砂効果および堆積効果は波高が大きくなるほど顕著になることがわかった。これらの実験結果をふまえつつ、以下に材質、形状諸元等と葉状体の挙動について考察する。

いままで述べてきたように長さ、植生間隔、幅が同一でもケースによって実験の結果が極端に異なっている。ここで行った実験素材の性状諸元は表-1の中に、葉状体1株当りの規格は表-2に示してある。葉状体の挙動は、その幅、長さ、植生間隔、植生区域長のほかに厚さ、剛性、弾性、比重などによって大きく左右されているはずである。

葉状体1本(1株)に関して、まず剛性についてみると人工海草ではポリプロピレン21が最も強く、次いでポリエステル、ポリエチレン、ポリプロピレン、ナイロン

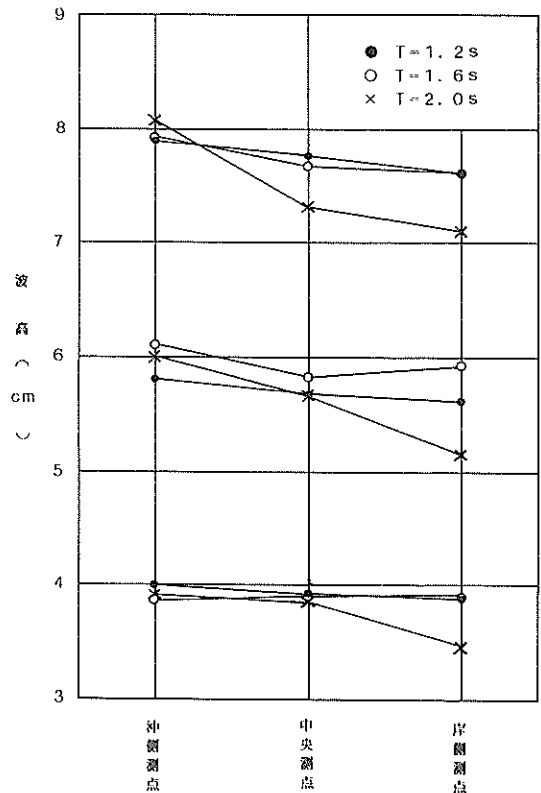


図-17 砂面床のみ(人工海草なし)の各測点の波高

偏平系の順となる。アクリル板、丸棒は先に示したように剛直なものである。

比重についてみると、ポリエステルとナイロン偏平系が1より大きく、その他の素材は1より小さいけれども写真-2.8に示したように、ナイロン偏平系は幅が極端に小さく、薄いので他の素材のように林立しないで水

底付近にかたまっている。

ポリエステルは引張り弾性率が極端に大きく、比重も1より大きい。そのため、波によって振子運動に似た動きを示し、このため岸向き漂砂効果および堆積効果があまりないものと判断される。ポリプロピレンは、比重はそれほど小さくなく、厚さが薄いので波に追従してよく

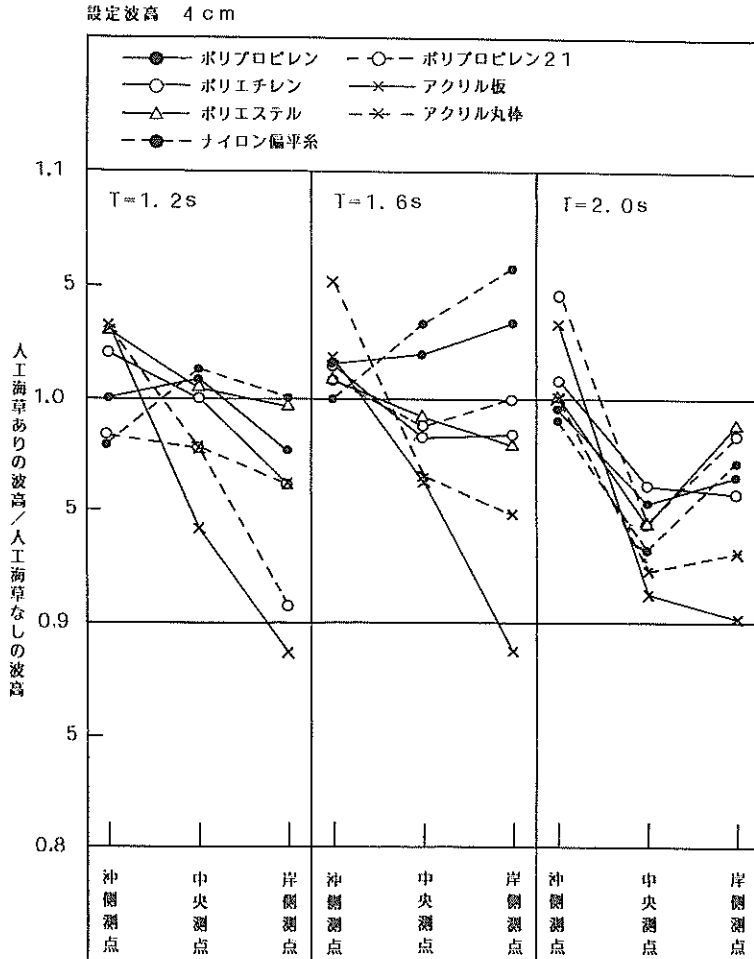


図-18.1 人工海草による波高の増減 (長さ20cm, 植生間隔5cm)



動揺する。ただし、長さ20 cm のケースでは特に 8 cm の波を作用させた場合は浮力の不足に起因して、岸沖方向のいずれかに傾斜したままの姿勢をとることが多い。ポリエチレンは比重が極端に小さく、厚みも大きいのでポリプロピレンのようなことはなく林立する。

このようなことを勘案して、模型実験上において人工

海草に用いる素材として適当なものをこれら 5 素材の中から選べば、岸向き漂砂と堆積効果が期待できる素材としてはポリプロピレン、堆積効果が期待できる素材としてはポリプロピレン21ということが出来る。したがって人工海草の葉状体は、基本的に比重 1 以下である必要がある。

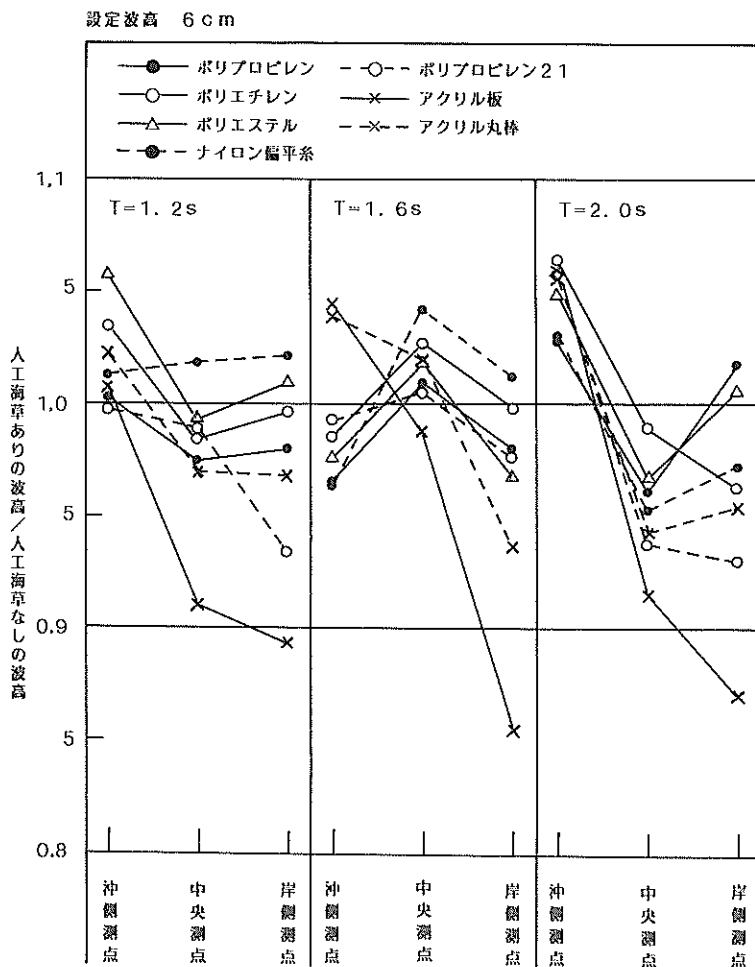


図-18.2 人工海草による波高の増減 (長さ20cm, 植生間隔5cm)

人工海草とは異なるけれどもアクリル板およびアクリル丸棒も本実験で分類した判定によれば堆積効果があり、特にアクリル板は有効である。

次に人工海草等による波高の変化について検討する。まず、図-17に人工海草なしのケースについて、各測点における波高を示す。横軸には測点の位置、縦軸には波

高をとってある。先に述べたように、作用波の波高は沖側測点においてそれぞれ4, 6, 8 cmとなるように設定したが、図からわかるように若干のばらつきがあった。測点間(各1.5m 間隔)の波高値は岸へ向かうほど小さくなる傾向がある。沖側測点の波高に対して岸側測点のそれは周期2.0 s の場合は12% 程度、周期1.2 s および

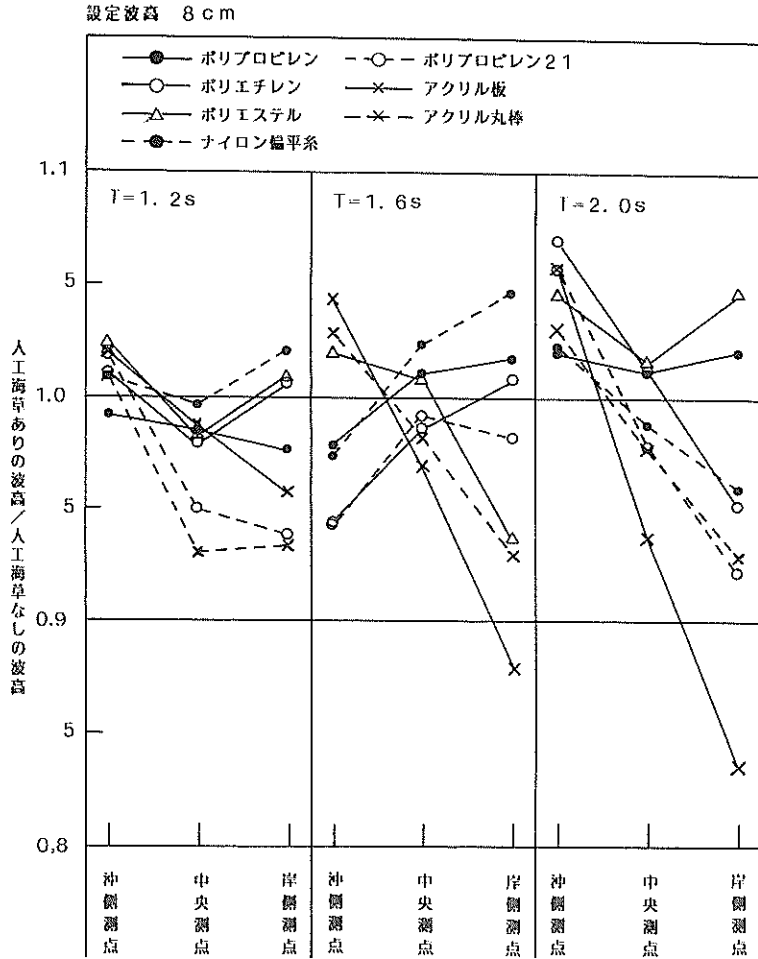


図-18.3 人工海草による波高の増減(長さ20cm, 植生間隔5cm)

1.6 sでは数%である。

図-18~20は人工海草なしに対するそれがある場合の波高の増減をみるために、各設定波高ごとに示したものである。横軸に作用波の周期ごとに測点（沖側，中央，岸側）をとり、縦軸には各測点における人工海草なしの波高に対するそれがある場合の波高の比をとってある。

図-18. 1~3は材質が異なることによる違いをみるためのもので、葉状体の長さが20 cmで植生間隔が5 cmの7素材について比較したものである。図によれば岸へ向かうほど小さくなるものと、そうでないものがある。傾向的には沖側測点の波高より中央，岸側測点の波高が減衰するものが多い。岸側測点についてみると、アクリ

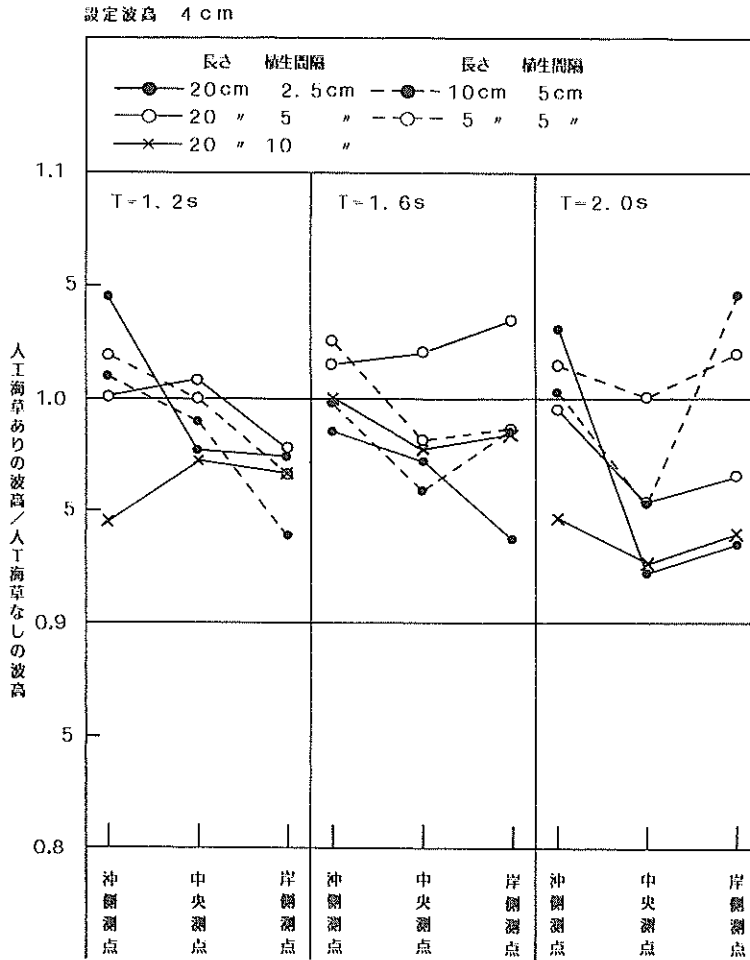


図-19.1 人工海草による波高の増減（ポリプロピレン）

ル板が最も減衰し、波高8cmで周期1.2sの場合を除き0.9~0.83の範囲にある。次いでアクリル丸棒とポリプロピレン21が同程度、次いでポリエチレンの順となっている。ポリプロピレン、ポリエステル、ナイロン偏平糸は1.0前後に分布し、必ずしも波高が減衰するとはいえない。また沖側測定点の波高は概して1.0より大きくなる傾向がある。

る傾向がある。

図-19. 1~3はポリプロピレンの長さで植生間隔の異なる組み合わせ5ケースについて示してある。図によれば岸側測定点において1.0より大きくなるケースもあり、特定の傾向はつかめない。波高が最も大きい8cmの場合の図-19. 3についてみると、0.95~1.05程度までま

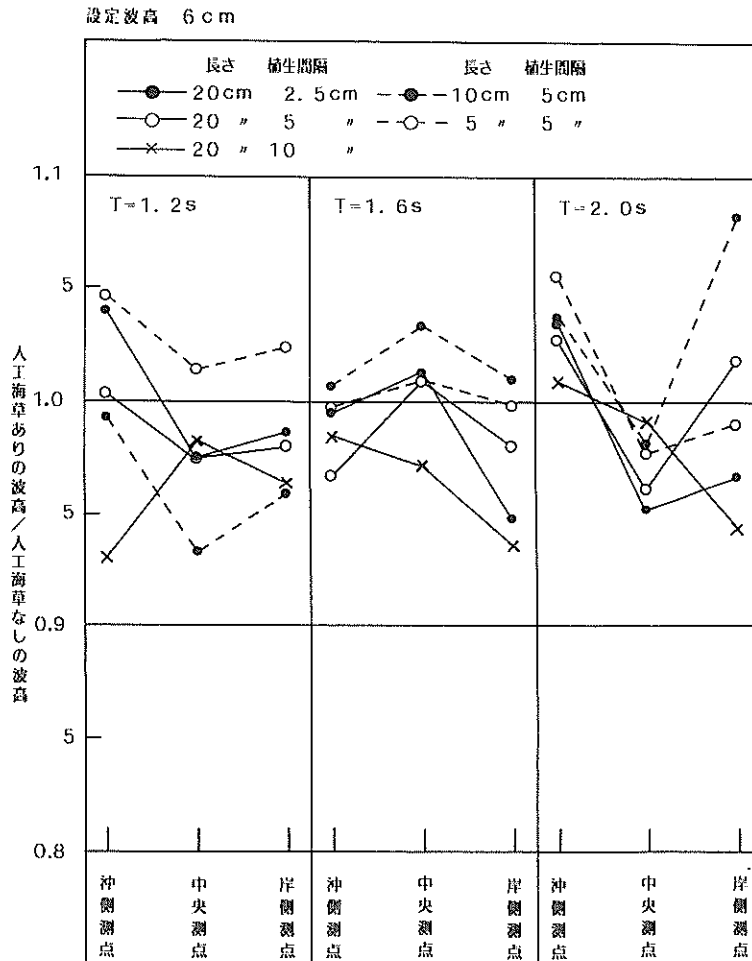


図-19. 2 人工海草による波高の増減 (ポリプロピレン)

ちまちであり、ポリプロピレンによる波高減殺効果を期待することはできない。

図-20. 1~3にはポリプロピレンの長さで植生区域長の違いによる波高の関係を示した。長さ20 cmと10 cmの2種類についてそれぞれ植生区域長が1, 2, 3 mと異なっている。長さについては破線で示す10 cmの

ほうが値が小さくなり、減殺効果が強い傾向がある。植生区域長の違いではそれが長いほど小さくなる。長さ10 cmで3 m長のもは最も顕著に減衰し、波高8 cmで周期2.0 sの場合の岸側測点では約0.86を示している。

図によって波高の減衰についてみてきたが、これらをまとめると、

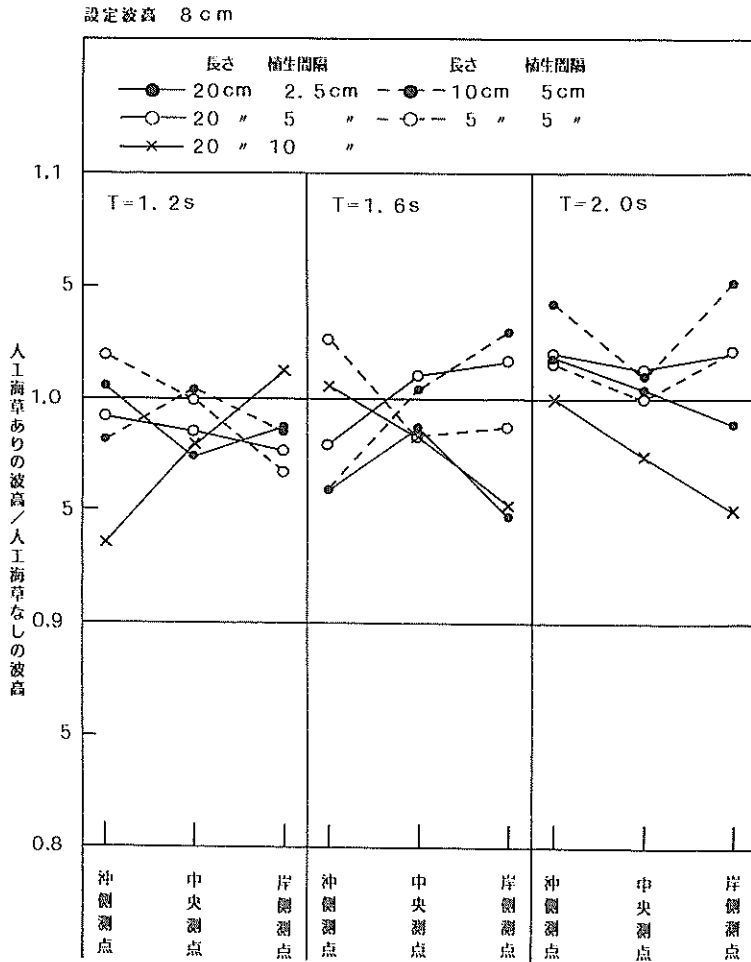


図-19.3 人工海草による波高の増減 (ポリプロピレン)

- (1) 材質の違いでは、剛性の大きいものほど波高が減衰する。
- (2) 同じ材質で長さまたは植生間隔が異なる人工海草の場合、長さでは基本的には長いほど効果がある。植生間隔の違いでは、密なほど減衰する。しかし、その波高比は減衰効果のあるものでも0.92程度であ

- る。
- (3) 植生区域長の違いではそれが長くなるほど減衰する。人工海草によって波高を低減させるためには、植生区域長を長くする必要がある。
- ということができる。

ここで、水路横断方向の水平流速成分については詳細

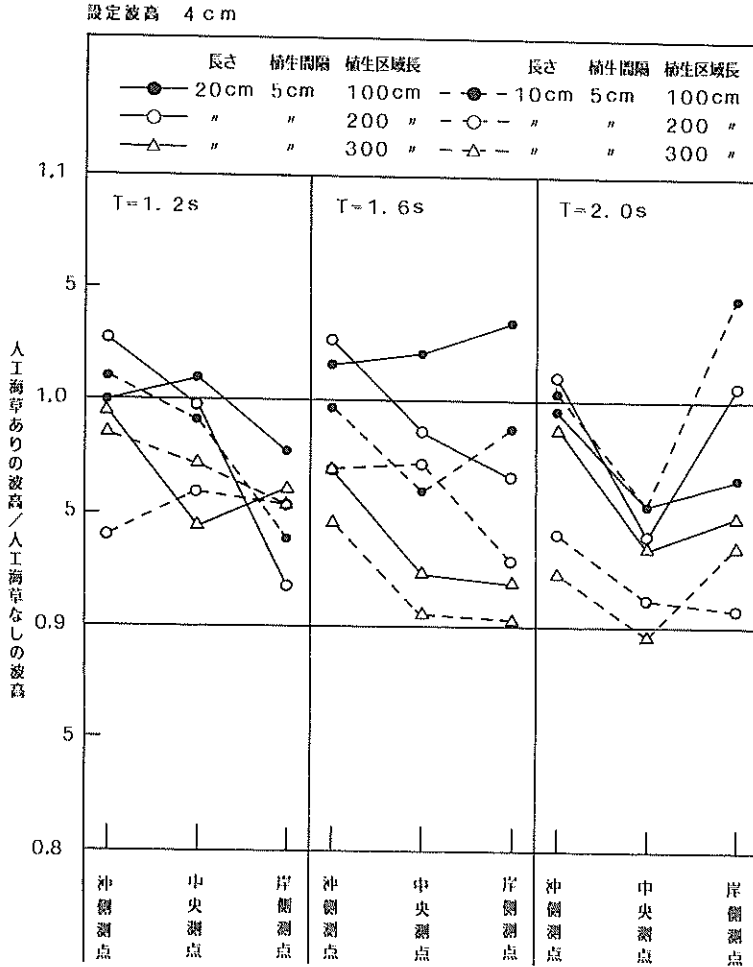
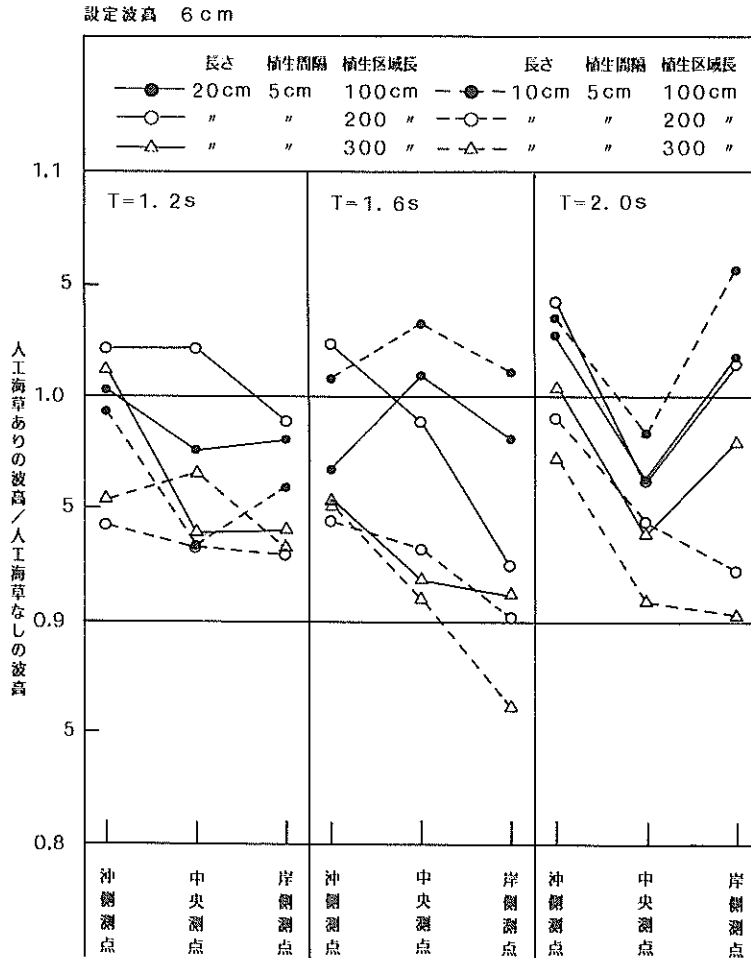


図-20.1 人工海草による波高の増減 (植生区域長の違い, ポリプロピレン)

な整理はしていないが総括的に述べておくこととする。流速の変動は、岸沖流速と同じ周期で変化するけれども、連続した個々の最大流速値があまり変化しない岸沖流速に対して変動が大きい。

人工海草なしの場合の横断方向の最大流速は、岸側、中央、沖側測点とも底層から上層にかけて、岸・沖最大

流速の数%程度である。これに対し、最も顕著なアクリル板の場合は岸および沖側測点では10%弱、中央測点(測定用空間内)では底面からの高さ2.5~15cmの間が大きく20%程度であり、この時、中央測点の植生区域内ではさらに大きく30%程度になっている。アクリル丸棒のケースでは3測点とも底層から上層まで15



図一20.2 人工海草による波高の増減(植生区域長の違い, ポリプロピレン)



%程度と大きくなっている。

人工海草の場合、植生間隔では最も狭いポリプロピレン(20-2.5-10)は3測点とも約10%であり、植生間隔10cmの他のケースの場合もこれと同じような傾向を示している。5cm間隔の場合では、材質や葉状体の

長さにはあまり関係なく、岸および沖側が10%程度で、測定用空間内では底面から2.5~7.5cmの間が大きく15%程度で、植生区域内では約30%と大きい。いずれの場合も底層ほど流速値が大きい傾向がある。ナイロン偏平糸は人工海草なしの場合と同程度である。

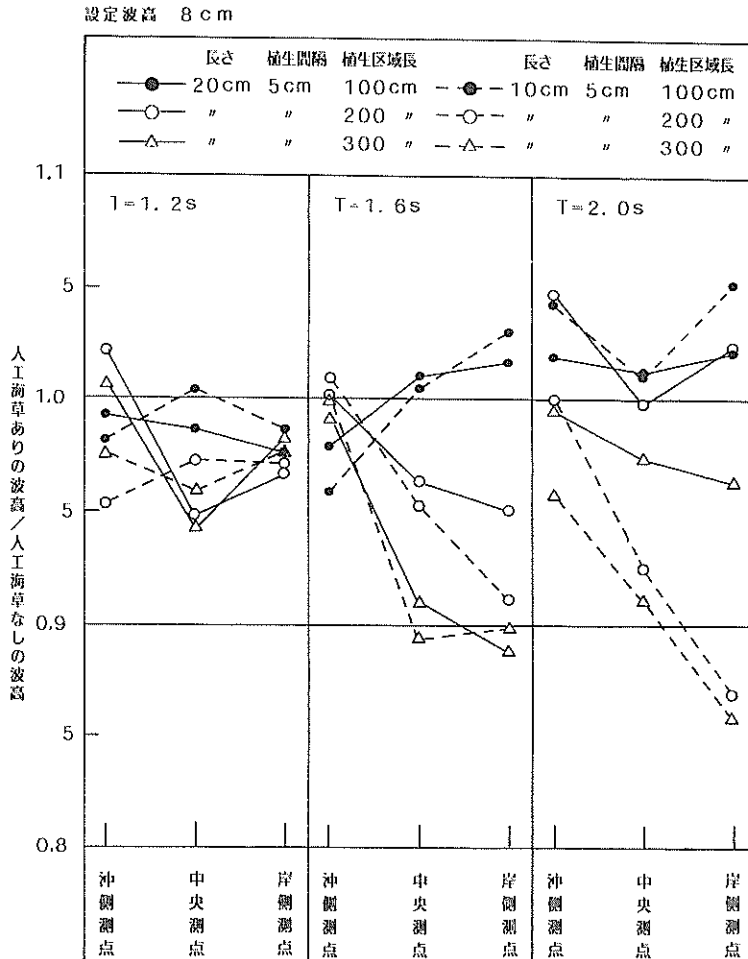


図-20.3 人工海草による波高の増減(植生区域長の違い, ポリプロピレン)

## 5. 人工海草がある場の底質の岸沖移動の特性実験

### 5.1 実験の目的と概要

人工海草がある場合、底質が波によってどのように移動するかを調べるために以下に述べる方法によって実験を行った。

移動床実験は、移動床の正確な成型が困難であり、その実施に長時間の波の作用を要し、地形の測定点が多量となるばかりでなく、一般的には変化した砂面高を正確

に求めることは難しいことである。

そこで、本実験では図-21に示すような人工砂れんを砂面床に等間隔に固定した。この間にあらかじめ計量した等量の砂を均等に敷きつめて波を作用させる方法を採用した。こうすることによって初期底質断面の成型を容易にし、波の作用による底質の掃流および浮遊を促進させ、各人工砂れん区画から個々に底質を採取することによって正確に行なえるようにした。

また4. では波による水粒子運動の岸沖水平流速成分の最大流速を測定することによって、底層部すなわち浮

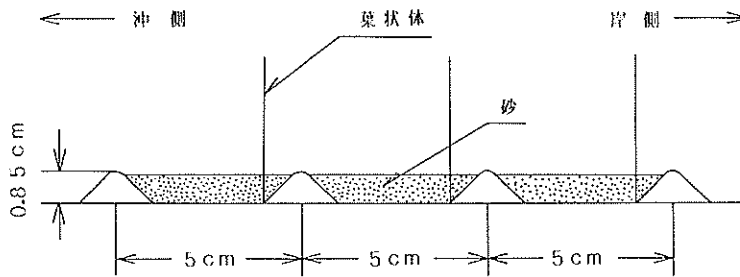


図-21 人工砂れんと葉状体の植生位置



写真-3.1 模型の形状と設置状況 (D-7)

遊砂が認められる水深範囲におけるその平均値を求め、人工海草がない場合に対する人工海草がある場合の関係から、4つの漂砂効果（岸向き漂砂、堆積、沖向き漂砂、侵食）と効果なしの分類を行って人工海草の評価を試みた。しかしながらそこでは以下に述べる前提によっている。

- 1) 底層部における岸・沖最大流速から直接漂砂効果を判定している。したがって、特に剛直な素材の場合は、みだれにより砂が浮遊し、侵食が促進されることも十分注意する必要がある。

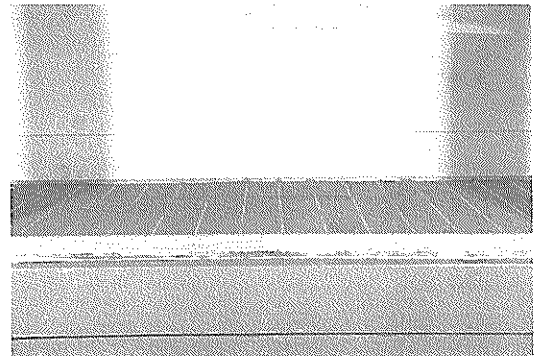


写真-3.2 人工砂れんに砂を敷きならした状態

2) 人工海草なしに対するそれがある場合の底層流速の比の関係から漂砂効果を求めている。すなわち、人工海草を置いたことによる変化に対して評価している。

3) 測定用空間で測定した流速の結果が、そこに葉状体がある場合と同じとみなして取り扱っている。

そこでここでは、4. の成果から岸向き漂砂効果および堆積効果が期待できると評価されたケースを考慮して実験を行うこととした。

### 5. 2 実験方法および実験ケース

模型は4. で用いたものに人工砂れんを付加したものであり、岸沖長さ1 mの砂面床の横断方向に、図-21に示したように底辺2 cm、高さ0.85 cmの断面をもつ三角棒を5 cm 間隔に取り付けた(以後、人工砂れんと呼ぶ)。これを3枚連続に固定し、この各間に等量の砂を敷ならした。写真-3. 1に人工海草なし(D-7)の模型の設置状況を、写真-3. 2にはこれに砂を敷きならした状態を示す。

人工砂れん間の59区画のうち砂を投入したのは岸、沖端の1区画を除く57区画である。一方、砂は59区画とさらに岸・沖両端の三角棒の外側を各1区画とみなして計61区画から採取した。

各実験は、岸沖に連続して設置された3枚の砂面床のうち、中央の1枚(各種人工海草等の模型)を取り替え

ることで行った。水深はここでも30 cmに設定している。本実験では3., 4. の実験のような流速測定用空間はもうけていない。

作用波は全ケースに対して波高8 cmで周期1.6 sとし、これを25分間与えた。

使用した底質は模型床の砂面を生成する際に用いたものと同じもので、ふるい目0.210 mmを通過し、0.105 mmに止まる砂を手ふるいによって選別したものである。

砂の投入量は、人工海草等を植生した場合の砂面高を考慮して、乾燥重量において150 gを各区画に敷きならした。したがって砂面床を基準にした砂面高は、葉状体の種類や植生間隔によって異なるけれども、人工砂れんの波高よりやや低めの0.7 cm程度である。ここでいう乾燥重量とは、気乾または湿潤な砂を電気乾燥炉によって110℃で15時間乾燥させたものである。

波を作用させたのち各区画から個別に採取した砂はそれぞれビーカーに入れ、再び15時間乾燥させたのち重量を測定した。重量の測定は感量1/100 gのデジタル表示式の台秤で行っている。

砂の採取は、小型な真空ポンプで水とともにメスシリンダー内(3,000 cc用)に吸い取る方法で行った。

人工砂れんは木製で、断面の底辺2 cm、高さ1 cmの三角棒の頂部を1.5 mm弱切断し、紙ヤスリで研磨して

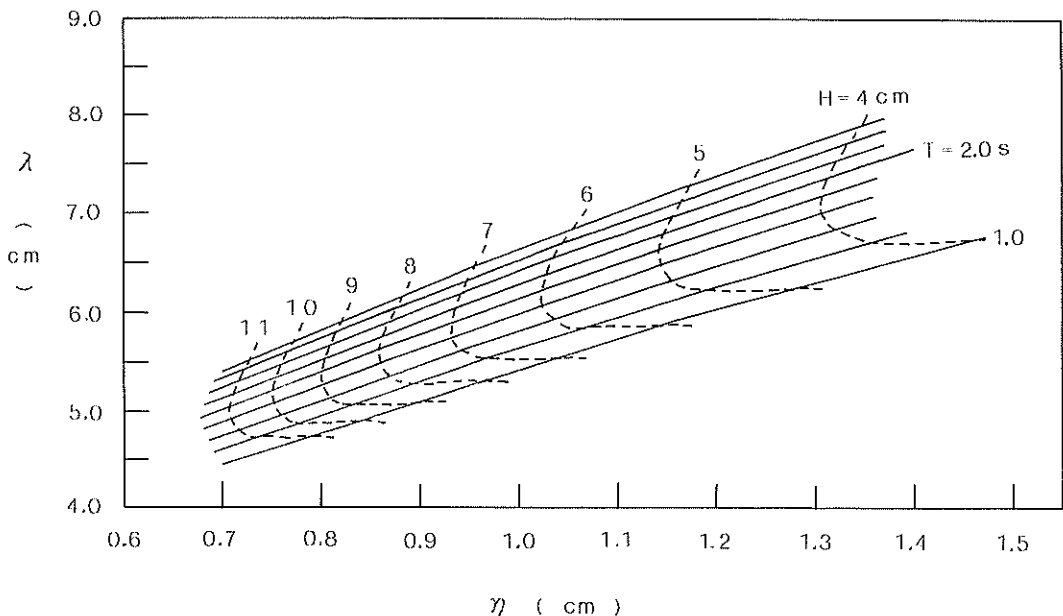


図-22 砂れんの波長と波高の関係

表一 底質の移動特性実験ケース

ケース	素材番号	材 質	長さ	植生間隔	幅	植生区域長
D-1	2	ポリプロピレン	20cm	2.5cm	10cm	100cm
D-2	々	々	20	5.0	10	100
D-3	々	々	10	5.0	10	100
D-4	々	々	5	5.0	10	100
D-5	21	ポリプロピレン21	20	5.0	16	100
D-6	22	アクリル板	20	5.0	10	100
D-7	人工海草なし					

丸みをつけたものである。これを人工海草の岸沖植生列の岸側下位置に取り付けた(図一21参照)。この葉状体と人工砂れんの位置関係は、人工砂れんを付加しない予備的な移動床による観察実験を行ったところ、人工海草基部周辺が洗掘され、植生列間の中央部が堆積することがわかったので、その性状を維持するためにそうしたものである。

人工砂れんの間隔は、本実験では人工海草の岸沖植生間隔によって制約されることとなる。ここで、本実験模型における葉状体の植生列間隔から制約される砂れんの波長5cmに対する砂れん波高と作用波の波高、周期を求めることとする。

砂れんの波長に対する砂れん波高と作用波浪の波高・周期は、本間・堀川・鹿島<sup>14)</sup>が示した関係によれば、いま、砂れんの波長を $\lambda$ 、その波高を $\eta$ 、 $do = H \operatorname{cosec} h (2\pi h / L)$ 、 $do$  : 底部水粒子移動全振幅、 $H$  : 波高、 $L$  : 波長、 $h$  : 水深、とすると、

$$\frac{\eta}{\lambda} = 0.175 \left( \frac{\lambda}{do} \right)^{0.199} \quad (1)$$

$$\lambda = \alpha T^\beta do^\gamma \quad (2)$$

の両式となる。砂粒子の中央粒径 $d$ が $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ のときの $\alpha = 8.85$ 、 $\beta = 0.674$ 、 $\gamma = -0.348$ から、各波高・周期に対する $\lambda$ 、 $\eta$ を求めて示すと、図一22のようになる。図からわかるように $\lambda = 5.0 \text{ cm}$ を固定して考えると、 $\eta = 0.7 \text{ cm}$ の場合は波高11cmで周期1.8s、 $\eta = 0.9$ の場合は波高9cmで周期1.0s程度になる。

ここで、作用波の面から検討すると4.の結果を検証するためにはそこで用いた波浪諸元と同じであることがのぞましいので、図一15の結果において顕著な漂砂効果を示した波高8cmで周期1.6sか2.0sとしたい。そこで先の範囲から少々はずれるけれども実験波は波高8cm、周期1.6sとし、 $\eta$ (ここでは人工砂れん)を0.85cmに設定した。また人工海草を植生した模型を含む3枚の砂面床と壁面(水路中央隔壁およびガラス面)の間

隙から消失する砂量を極力少なくするために、砂面床の両側には高さ1.5cm幅1.0cmの栈を入れてある。

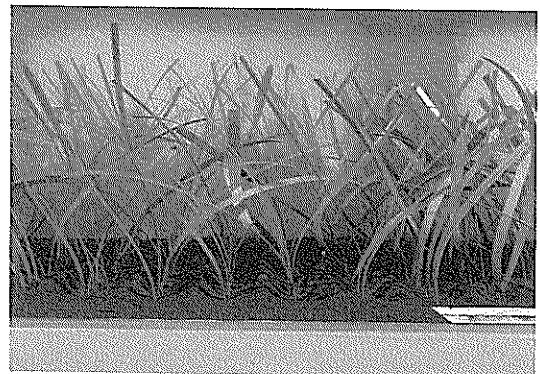
表一7に実験ケースを示す。表からわかるように人工海草ありのケースは、4.において長さや植生間隔にあまり関係なく岸向き漂砂効果あるいは堆積効果が顕著である材質として評価されたポリプロピレンの4ケース、およびポリプロピレン21とアクリル板の各1ケースである。これらは図一15において岸向き漂砂効果を示した○印に( )を付す3ケース、同じく●印に< >を付す堆積効果を示した3ケースに対応する。

測定項目は波高であり、測定位置および波高計は3.、4.の時と同じである。また、適時写真撮影を行うとともに、一部のケースについてはビデオカメラにより実験の実施状況の撮影を行っている。

### 5. 3 実験結果および考察

写真一4. 1~7にケースD-1~7のそれぞれについて、波作用終了後の水中における葉状体と底質の変化状況を、底質移動の測定結果を図一23. 1~7に示す。

図は縦軸に各区画から採集した砂の重量を、横軸に人工砂れん区間を示す。線種を説明する材質の後の( )内は、左から葉状体の長さ、植生間隔である。各図中にあるように全7ケースの砂の回収率は96~98%の範囲



写真一4. 1 波作用後の葉状体と底質の変化状況(D-1)

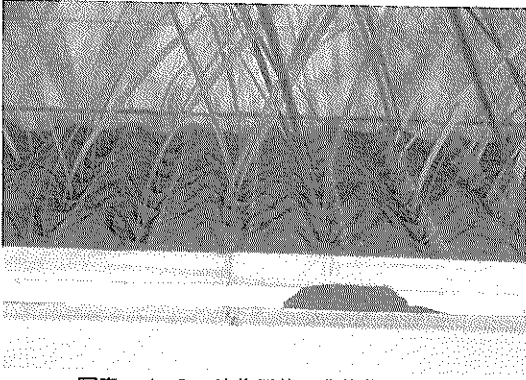


写真-4.2 波作用後の葉状体と底質  
の変化状況 (D-2)



写真-4.3 波作用後の葉状体と底質  
の変化状況 (D-3)

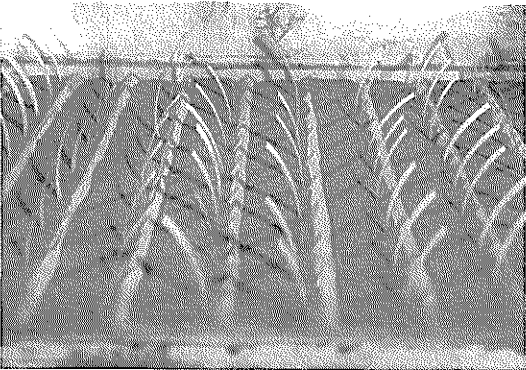


写真-4.4 波作用後の葉状体と底質  
の変化状況 (D-4)

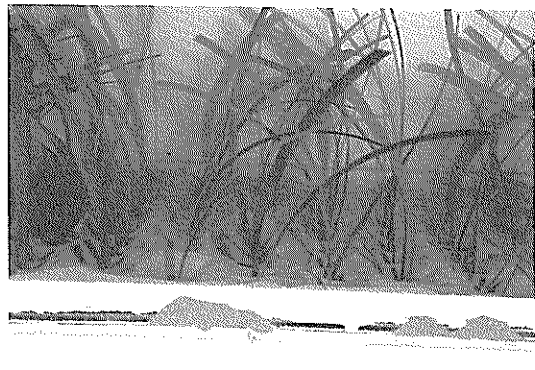


写真-4.5 波作用後の葉状体と底質  
の変化状況 (D-5)

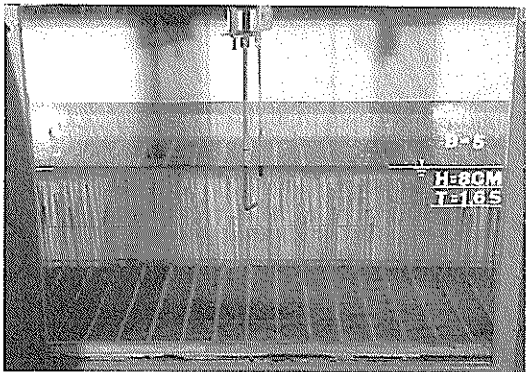


写真-4.6 波作用後の葉状体と底質  
の変化状況 (D-6)

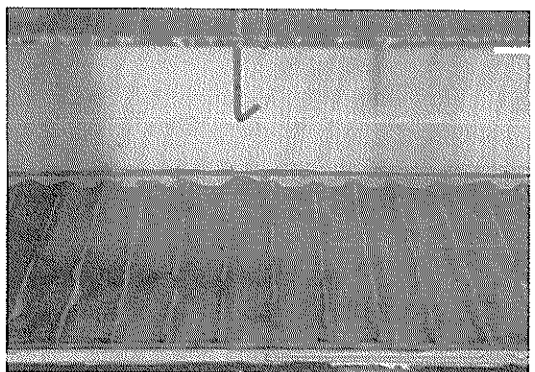


写真-4.7 波作用後の葉状体と底質  
の変化状況 (D-7)

と高率で同程度であったため重量の補正は行っていない。

これによれば、ケースD-1、2および4は人工海草植生区域内の沖側が侵食され、これが植生区域のすぐ岸側に多量に堆積している。一方D-3、5および6は植生区域の沖側と岸側に堆積している。人工海草なしのケースは、これら2グループとは異なり、侵食と堆積が波

うっており、植生区域に相当する部分にやや堆積する傾向を示している。

これらの結果から人工海草の効果を検討するために、人工海草がない場合の変化砂量に対するそれがある場合のその差で示すと図-24、1、2のようになる。似通った傾向を示した3ケースごとに示すとともに傾向を明確に表すために2区画ごとの平均量でプロットした。

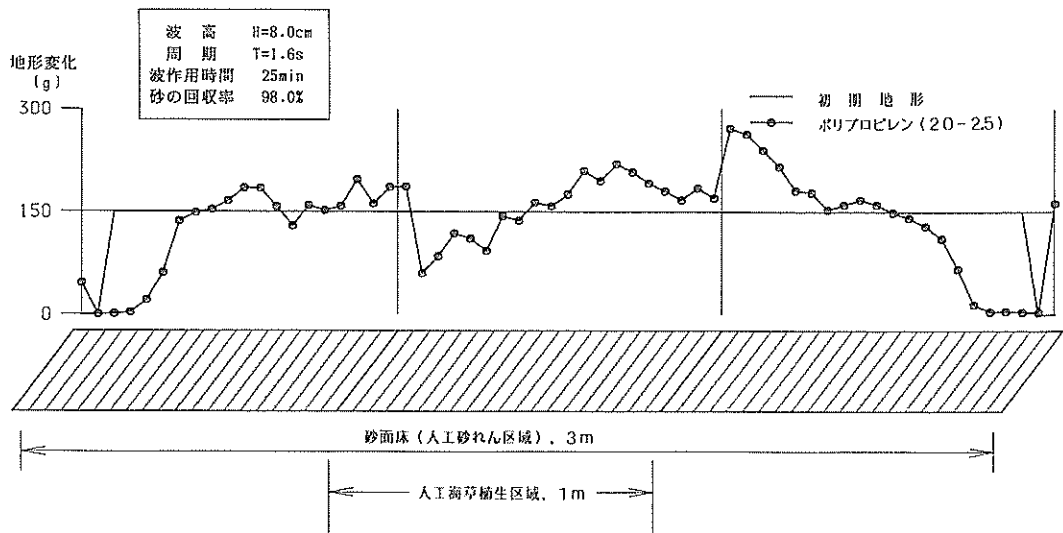


図-23.1 底質移動の変化 (D-1)

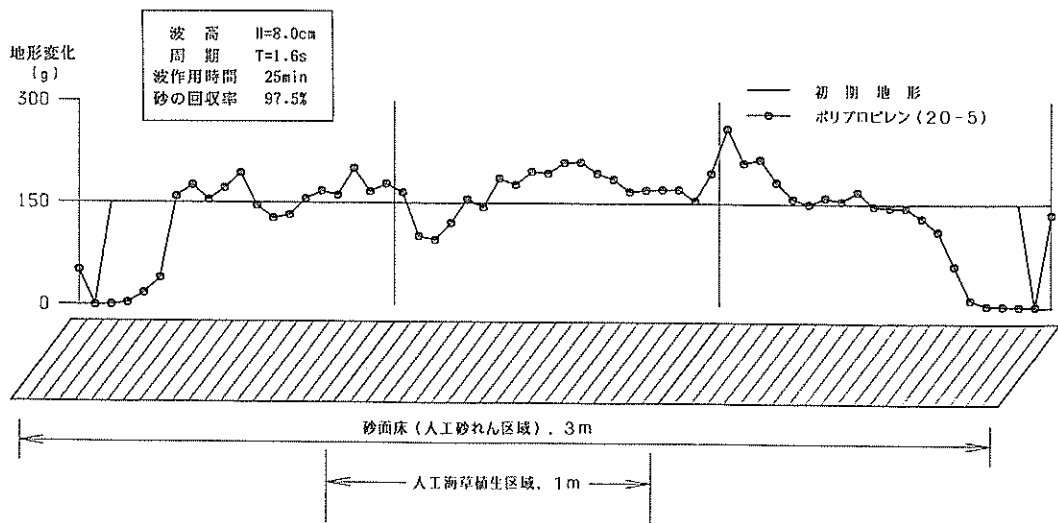


図-23.2 底質移動の変化 (D-2)

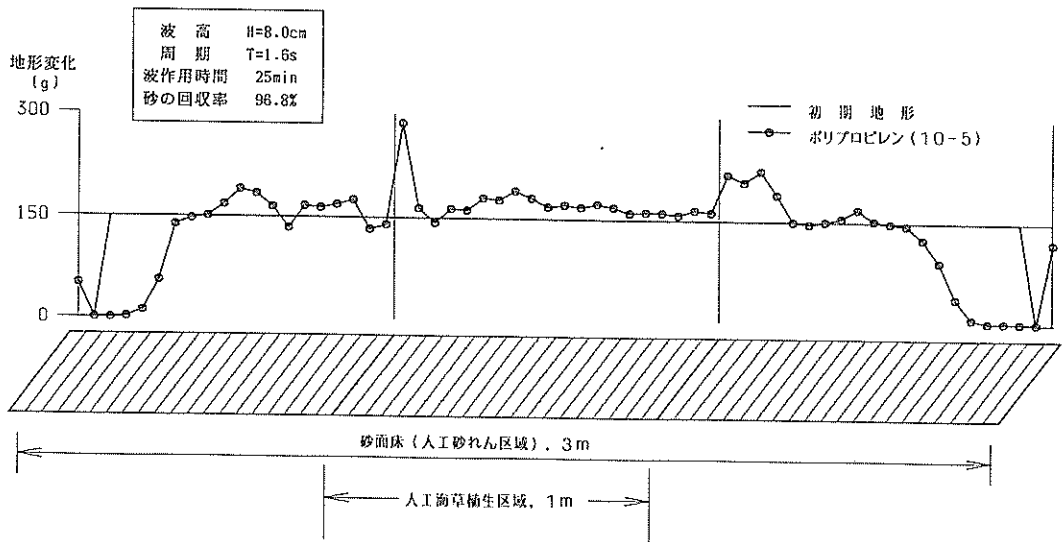


図-23.3 底質移動の変化 (D-3)

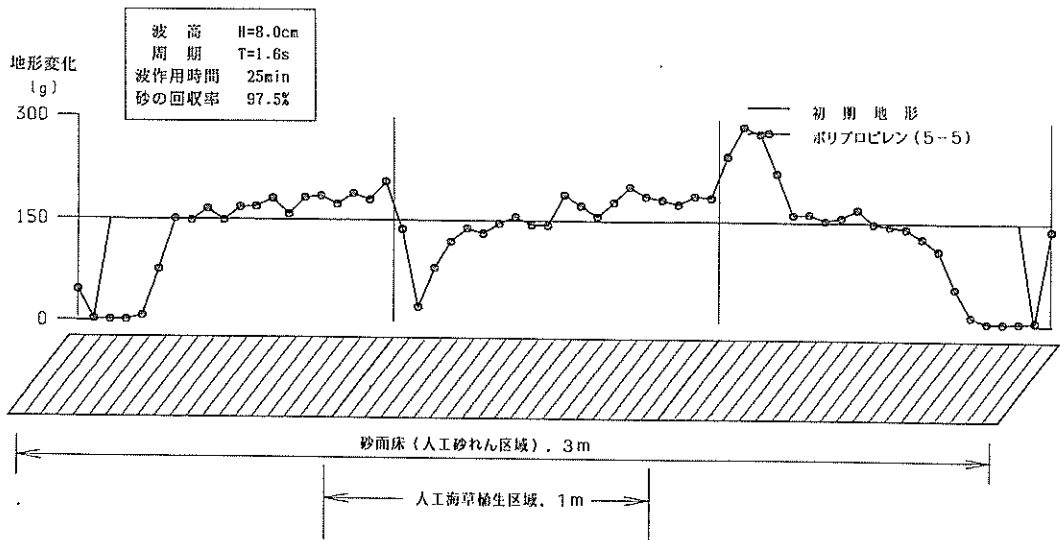


図-23.4 底質移動の変化 (D-4)

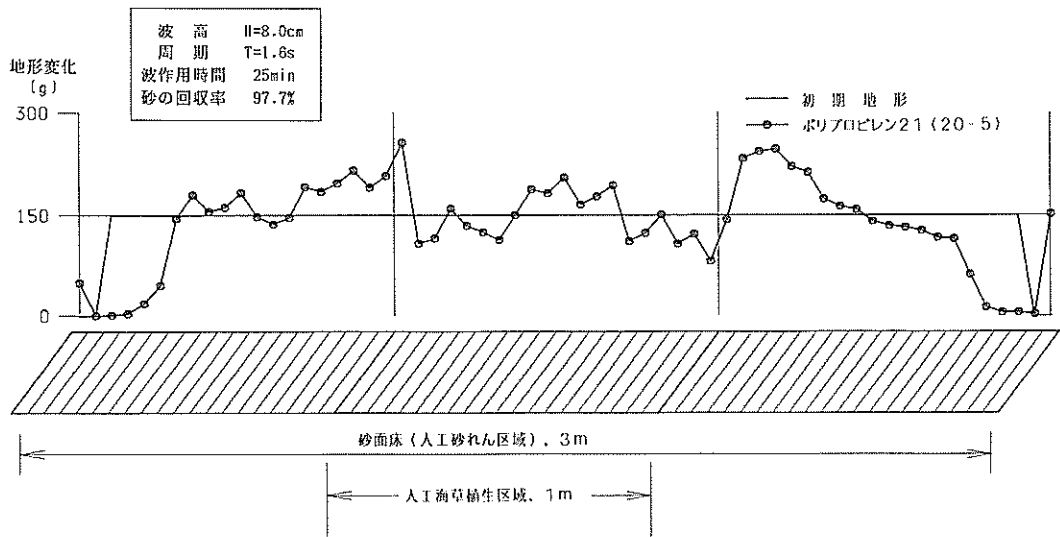


図-23.5 底質移動の変化 (D-5)

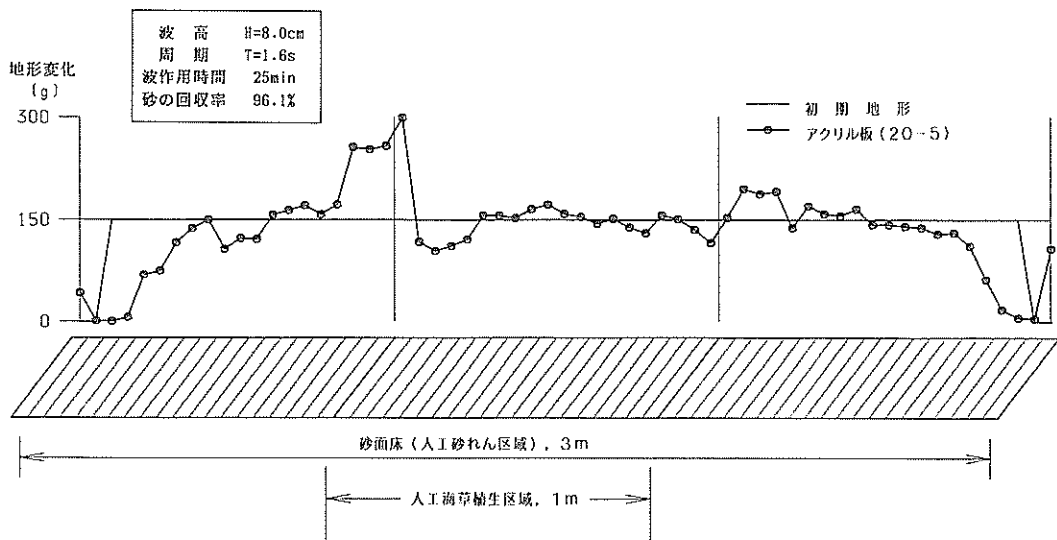


図-23.6 底質移動の変化 (D-6)



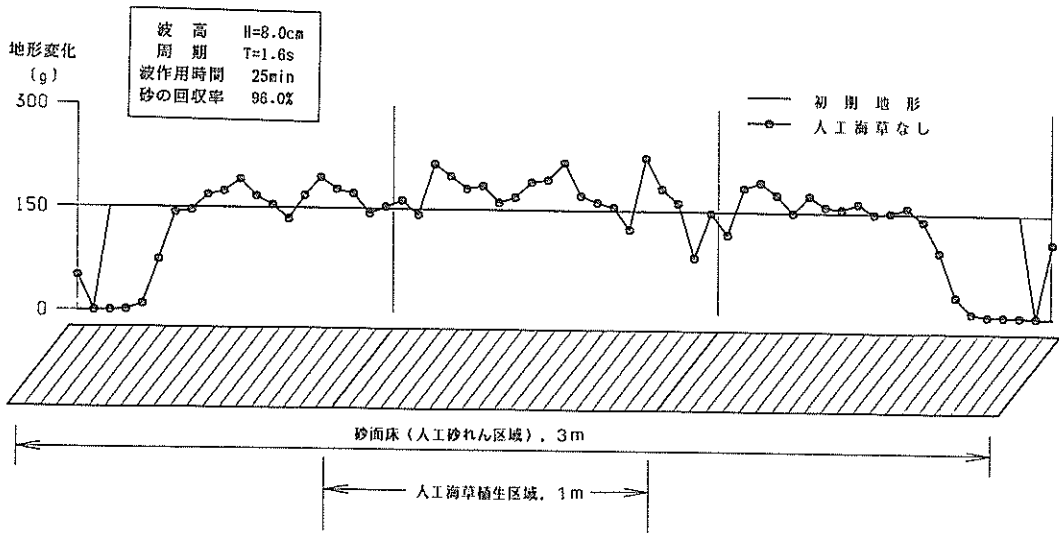


図-23.7 底質移動の変化 (D-7)

図-24. 1は沖側の人工砂れん区域はあまり変化がなく、植生区域内の沖側が侵食されてこれが植生区域のすぐ岸側に堆積し、岸側人工砂れんの最も岸側にも少し堆積を示していることから、明らかに岸向きの底質移動が発生していることがわかる。

一方、図-24. 2は人工海草植生区域内が侵食され、これが岸・沖の両境界付近に堆積している。このうちアクリル板およびポリプロピレン21 (20-5-16)は、さらに岸側にも大きく堆積を示すところがある。この結果から人工海草がその植生区域内に砂を堆積させるとみることはできない。しかし、本実験は人工砂れんという固定された砂れんの条件で行った結果であり、本来の移動床の場合は少なくとも人工海草植生区域内の砂れんはスケールが変化するはずであり、堆積が期待できると考えられる。

ここで図-24. 1は図-15において岸向き漂砂効果ありと評価された3ケースであり、これらは波によって葉状体が柔軟に動揺する長さ20cmのものと、短いためにあまり動揺しない5cmのものである。

一方、図-24. 2は図-15において堆積効果ありと評価された3ケースで、これらは剛性の高い素材とポリプロピレンの長さ10cmのケースである。ポリプロピレンの長さ10cmのものは、長さ20cmのものに比べて波に

よる動揺はきわめて小さい。さらに両図の各ケースとも沖側端は増加していないにもかかわらず岸側端は増加しており、人工海草や剛直な板状群は岸向き漂砂と堆積の2つの効果を併せ持つものと考えられる。25分間の波の作用時間は結果的に短かったきらいもある。これらのことは今後の研究によって明らかにする必要がある。

なお、砂の舞いあがりの違いを、濁り具合によって検討する考えであったけれども、初めて使用した砂と繰り返し使用した砂では濁りの程度が大きく異なることがわかり、有用な結果を得るには至らなかった。

## 6. あとがき

本資料は4種類の二次元固定床実験を行って、波による底質移動に対して人工海草がどのような影響を及ぼすかを明らかにした。

主要な結論は、以下に挙げるものである。

- ① 判定の対象となる移動試料砂を少量置くことによって、初期移動限界実験が可能である。
- ② 人工海草があると、移動限界波高は基本的には大きくなり、底質は移動しにくくなる。
- ③ 波による水粒子運動の岸・沖最大流速を測定することによって底層部の最大流速から漂砂の傾向(堆積, 侵食, 岸向き漂砂, 沖向き漂砂)を求めること

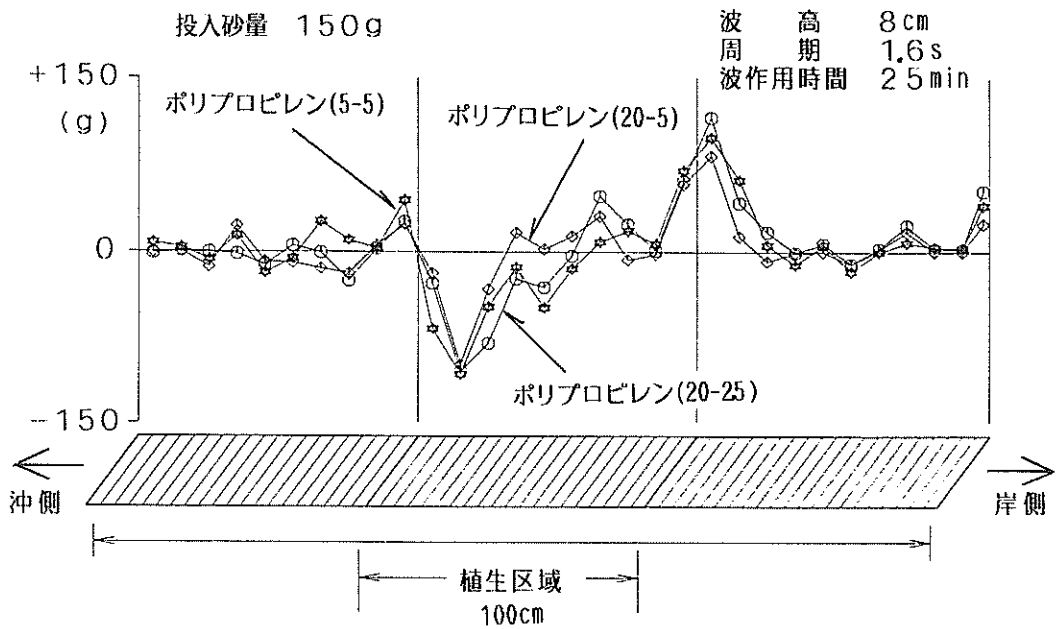


図-24. 1 岸向き漂砂効果を示した3ケース(図-15参照)の底質移動状況

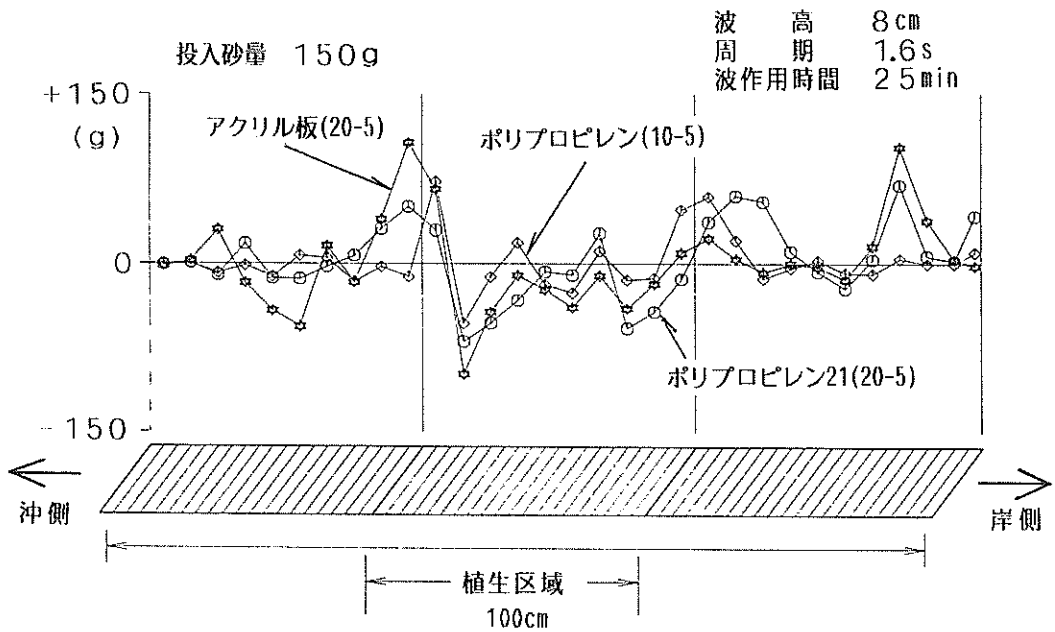


図-24. 2 堆積効果を示した3ケース(図-15参照)の底質移動状況

ができる。

- ④ 人工海草はある程度の植生密度があれば、底質を岸側に移送させる機能を持つ。さらに密度を高くすると、人工海草植生区域およびその周辺に堆積させる効果が強くなる。
- ⑤ 人工海草は静水時に直立した姿勢をとり、波によってより柔軟に動揺するものが岸向き漂砂効果が高く、剛性の大きいものは周辺に堆積させる効果が高い。いずれの場合でも人工海草の葉状体は柔軟でかつ床面から立ち上がる姿勢を要求されることとなるので、必然的に葉状体の比重は1以下となる材質である必要がある。
- ⑥ 人工海草による波高の低減は、葉状体の剛性が大きいものほど、長いほど、植生間隔が密なほど減衰する傾向はあるが、あまり期待できない。波高の低減を期待するためには植生区域長を大きくする必要があるのである。
- ⑦ 波によって動揺しない剛直な柱状群は、植生区域付近に底質を堆積させるとともに、波高を減衰させる機能が高い。

波による底質移動に対して、人工海草は基本的には岸向き漂砂と堆積の機能を持ち、沖向き漂砂と侵食の機能はほとんど無いことがわかった。

人工海草は現地において使用することが最終の目的であり、そのためには葉状体の材質、形状、長さ、幅、厚さ、色調など、葉状体の植生密度、取り付け基盤の材質と形状、取り付け方法など、設置場所と設置方法、アンカーリング、漁業への影響と利用などについて検討する必要がある。

近年、海辺の景観に対する価値観の高まりから、また堤内の海水交換の促進の面から離岸堤の低天端化や潜堤が採用される趨勢にあり、人工海草はこれらの剛構造物と併用することによってそれを保護するとともに、海岸付近で用いる場合でも葉状体は柔軟であるので、潮汐による海面変動に追従して、海面上に突出することがないために自然性が保持でき、景観を阻害しない有力な工法となるものと考えられる。

今後は局所洗掘を対象とした移動床実験、現地海岸の海底断面勾配を考慮した移動床実験を行って、人工海草のもつ底質移動に対する機能をさらに検討するとともに、現地施設としての総合的な検討をして行きたいと考えている。

夕焼や我を忘る清の音

慕龍夢

この句は筆者のひとり（菅原）が約30年前、いわき市

の勿来から鮫川の河口まで続く砂浜海岸で詠んだものである。絶え間なく打ち寄せる波は地球が生きていることの証（あかし）であるとともに、自然砕波の醸し出す波音と果てしない夕焼けにつつまれて、生きる希望と安らぎを覚えたのであった。

最後に、人工海草の素材は日本化学繊維協会を主とする関係各社および仲紀㈱から提供を受けた。第三港湾建設局神戸調査設計事務所との情報の交換は有益であった。また、委託した3., 5.の実験は(株)エコー南 将人氏ほかがあたられた。本研究の当初から模型製作、実験の準備と実施およびデータの整理には非常勤職員斉藤正義君の専従的な協力を得た。使用した機材等については海象調査研究室をはじめ水工部、海洋水理部の多くの研究室から協力をいただいた。特に柳嶋慎一、三好英一、菅沼史典、池田直太の各研究官には実験の円滑な実施のための労を受けた。さらに漂砂研究室長加藤一正氏には本研究の全般にわたって適切なアドバイスを、海象調査研究室長小舟浩治博士には本研究の推進のためのご配慮をいただいた。記して感謝の意を表します。

(1990年9月28日受付)

#### 参考文献

- 1) 人江 功・菅原一晃・森 好生・沿川伸孝：人工海浜への潜堤の利用，第34回海岸工学講演会論文集，1987，pp. 436～440.
- 2) 人江 功・菅原一晃・沿川伸孝：宇久須港海岸人工海浜造成に関する水理模型実験，港湾技研資料，No.602，1987，59p.
- 3) Spencer Rogers Jr. : Artificial Seaweed for Shoreline Erosion Control, North Carolina State Univ., Rep. No. PB86-217437, 1986, 18p.
- 4) 広瀬宗一訳：海浜を造成するための人工海草の効果，みなとの防災，92号，1986，pp. 75～79. W. A. Price, K. W. Tomlinson, and J. N. Hunt : The Effect of Artificial Seaweed in Promoting the Build - up of Beaches, Proc. 11th Conf. Coastal Engg., 1986, pp. 570～578.
- 5) 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所・(財)沿岸開発技術研究センター：人工海藻による養浜工開発調査報告書，1988，124p.
- 6) 間瀬 肇・古田幸也・酒井哲郎・浅野敏彦・柳生忠彦：傾斜海浜に設置した人工海藻による波浪変形解析，海岸工学論文集，第36巻，1989，pp. 90～94.

- 7) 片岡真二・岩崎健次・寺川博也：養浜工としての人工海藻の開発，海洋開発論文集，Vol.6，1990，pp. 269～274.
- 8) 入江 功：ビーチのエンジニアリング，みなとの防災，102号，1989，pp. 53～59.
- 9) 菅原一晃・入江 功：人工海草による底質移動の制御効果について，海岸工学論文集，第37巻，1990，pp. 434～438.
- 10) 仲紀(株)カタログ，海底の侵食・洗掘防止について.
- 11) 人工海草（MARIRON：マリーロン）について：仲紀(株)，1987. 6p.
- 12) 佐藤昭二・田中則男：水平床における波による砂移動について，第9回海岸工学講演会講演集，1962，pp. 95～100.
- 13) 入江 功・寺崎賢次・加藤一正：砂れん上の底質の浮遊過程を考慮した漂砂観測法に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，第24巻，第2号，1985，pp. 123～156.
- 14) 本間 仁・堀川清司・鹿島遼一：波による浮遊砂に関する研究，第11回海岸工学講演会講演集，1964，pp. 159～168.

港湾技研資料 No.692

1990・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 横浜ハイテクプリンティング株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1990) by P.H.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a maching language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。