

# 港湾技研資料

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

No. 117 June 1971

海岸堤防のり先の洗掘防止工法に関する実験的研究

佐藤 昭二  
入江 功  
佐々木 克博

運輸省港湾技術研究所



# 海岸堤防のり先の洗掘防止工法に関する実験的研究

## 目 次

1. 緒 言	3
2. 実験施設と実験条件	4
2-1 実験施設と測定器	4
2-2 実験条件	5
3. 傾斜法面と階段法面の洗掘防止効果の実験	8
3-1 実験条件と種類	8
3-2 断面の変化	9
3-3 傾斜法面と階段法面の効果	10
4. 消波工の洗掘防止効果の実験	10
4-1 実験条件と種類	11
4-2 断面の変化	11
4-3 幅による効果	11
5. 離岸堤の洗掘防止効果の実験	13
5-1 離岸堤の設置位置に関する実験	13
5-2 離岸堤の幅に関する実験	16
5-3 離岸堤の高さに関する実験	19
6. 根固工の洗掘防止効果の実験	23
6-1 根固工基礎フィルター層に関する実験	23
6-2 法先崩壊防止効果に関する実験	24
7. 根固工と離岸堤の組合せによる洗掘防止効果の実験	28
7-1 実験条件と種類	28
7-2 断面の変化	28
7-3 根固工と離岸堤の組合せによる効果	29
8. 考 察	29
8-1 傾斜堤と階段堤について	29
8-2 消波工について	30
8-3 離岸堤について	30
8-4 根固工について	31
8-5 根固工と離岸堤の組合せについて	31
8-6 各工法の比較	31
9. 結 論	32
(附 録) 傾斜堤の法先洗掘	35

# EXPERIMENTAL STUDY ON THE SCOUR PREVENTION WORKS AT THE FOOT OF SEA WALLS

Shoji Sato

Isao Irie

Katsuhiro Sasaki

## Synopsis

Experiments on the effect of scour prevention were made qualitatively for different types of sea walls, such as vertical face, sloped face, stepped face sea walls, as well as the sea walls which have armour block facing, pavement at and offshoreward of the toe, or offshore breakwater composed of blocks. Waves of flat wave steepness were acted on the model beach until it attains the equilibrium condition. The above different types of sea walls were set on the shoreline of equilibrium profile and waves of relatively steep wave steepness were acted again on it for a given time. The effect of scour prevention due to each type of sea wall was evaluated by comparing the profile after wave action.

# 海岸堤防のり先の洗掘防止工法に関する実験的研究

佐藤 昭 二 \*  
入江 功 \*\*  
佐々木 克 博 \*\*\*

## 要 旨

海岸堤防や護岸としては、直立堤、傾斜堤、階段堤等があり、また、その前面に消波工、根固工、離岸堤等を設けたものもある。しかし、それらの洗掘防止に関する機能効果については不明な点が多いので二次元水槽内に欠壊海岸を再現し、各工法のり先洗掘防止に関する機能効果を定性的に調べた。まず、波高と波形勾配も小さい波を長時間作用させ平衡勾配を作った。この汀線に直立堤、傾斜堤を設けたとき、また、汀線に直立堤を立てその前面に消波工、根固工、離岸堤を設けた時、各々に波高も波形勾配も大きい波を作用させ、洗掘防止効果を実験的に検討した。

## 1. 結 言

海岸堤防や護岸の設計や施工にあって考慮されねばならない重要な問題の一つは、堤体のり先洗掘である。特に、最近、堤防や護岸の前面前浜の消失に伴うり先洗掘による堤体の破壊が大きく問題になって来ている。この対策として、堤体を傾斜堤、階段堤にするとか、前面に、消波工、根固工、あるいは離岸堤を設けることが行われている。しかし、それらの洗掘防止に関する機能と効果については、これまで、幾つかの研究も行われているが、<sup>1)~3)</sup>多くの点が不明のままに残っている。これは、洗掘そのものが漂砂に関連したもので、その現象が複雑なため理論的解析が困難なこと、模型と現地との間に洗掘に関する力学的な相似を保った実験を行うことが困難であるためである。

力学的な相似を困難ならしめている大きな原因は、砂などの底質の大きさを波や構造物と同じように縮尺することが出来ないため、模型における底質の移動が現地と相似にならないことである。しかし、このような相似性の困難と現象の複雑性のために、この種の研究を放置しては、単に、現地における経験と観測のみに頼らざるを得ない。しかし、現地においては、荒天時の観測が困難であり、その観測あるいは、測定し得る範囲も自ら眼界がある。底質移動が模型と現地とで相似でないとは云っても、底質が波によって動かされることには変りはない。底質は、一搬に、波による乱れの大きい所で洗掘され、

小さい所で堆積する。したがって、模型内における波の変化が現地と相似であると考えれば、模型内における底質の移動は、定量的には、多くの相違はあるとしても、定性的には、現地現象を相当に再現しているものと考えることが出来る。とは云え、模型で得られた結果を、たとえ、それが定性的なものであったとしても、それをそのまま、現地に適用することは一般に危険である。現地現象との比較検討がなされねばならない<sup>4)</sup>。この場合、現地観測で得られる資料は、模型内で得られる資料と比較してわずかであろう。しかし、模型で得られた一連の現象の特性の中、断片的に幾つかの部分が現地と比較することが出来、両者が相似であったとすれば、模型で得られた一連の現象特性の大部分が、現地に適用できるであろう。また、現地においては、漂砂現象の結果としても、その原因やそれに至る過程が不明な場合が多く、対策を立て難い場合も多い。この場合、模型実験によって、現地の海底地形の変化や洗掘が、定性的でも再現出来たとすれば、それに至る原因や過程を模型内では握し、対策を立てることもできる。さらに、模型で得られた定性的特性にもとずいて、現地で起った漂砂現象を考えると、それより一層、明らかにすることができる。

以上のような観点に立って、筆者らは、海岸構造物の堤脚部の波による二次元実験結果を報告した<sup>5)</sup>これは、造波水路内に、波による暴風および正常海浜の模型を作り、その種々の位置に直立堤を立て、その脚部の波によ

\* 水工部 漂砂研究室長

\*\* 水工部 養浜主任研究官

\*\*\* 水工部 漂砂研究室

る洗掘を実験的に調べたものであり、その結果、次のような特性を明らかにすることが出来た。

(1) 波による堤脚部の洗掘現象は、堤体の設置水深より、むしろ砕波線に対する相対的設置水深によって定まる。

(2) 堤体を設置したとき、海底地形は、堤脚部に極く近いところのみで変化するのでなく、相当沖側までその影響をうけ、また、沖における海底地形の変化は、堤脚部における洗掘と密接な関係がある。

(3) 堤脚部における洗掘は、その時間的変化から4つの形式に大別され、場所的にその形式が定まっている。

(4) 最大洗掘深の海岸に直角方向の分布は、正常海浜ではV字形をなし、砕波の落下点附近に1つの極大値があるが、暴風海浜ではW字形をなし、第1砕波点の落下点および最終砕波の落下点附近に、2つ極大値がある。

(5) (4)でのべた極大値(2つある場合は、大きい方の値)の沖波波高の比は、底質粒径の沖波波高に対する比および波形勾配によって変化するが、波形勾配が0.02~0.04の間では、ほぼ1である。

その後、鹿島港での現地観測の結果、砕波点附近で洗掘が最も大きくなること、最大洗掘深さは沖波の有義波程度であることを見出し、更に、海岸護岸や潜堤による海底地形の変化が相当沖まで及ぶことは衆知の事実であり、上記実験結果が比較的よく現地に適用し得ることを知ることが出来た。<sup>6)</sup>

実験研究としては、更に重複波による混成堤のり先の

洗掘実験を行って<sup>7)</sup>水深が浅い程洗掘が大きいこと、また、深いほど底質がマウンド中へ侵入し、洗掘孔が平坦になり易いことなどを明らかにし、また、プラスチックフィルターの洗掘防止に対する有効性を実験的に明らかにした。<sup>8)</sup>

次に、直立堤に関する実験と同様に傾斜壁と模型内の平衡海浜断面の種々の位置に設け、傾斜角の洗掘に対する効果を実験的に調べ、沿岸砂州附近を除いて傾斜角が大きい程、のり先洗掘が少ないことを明らかにした。しかし、これについては、未だ、その結果をまとめて発表していなかったため、本報告の末尾に附録として記述した。

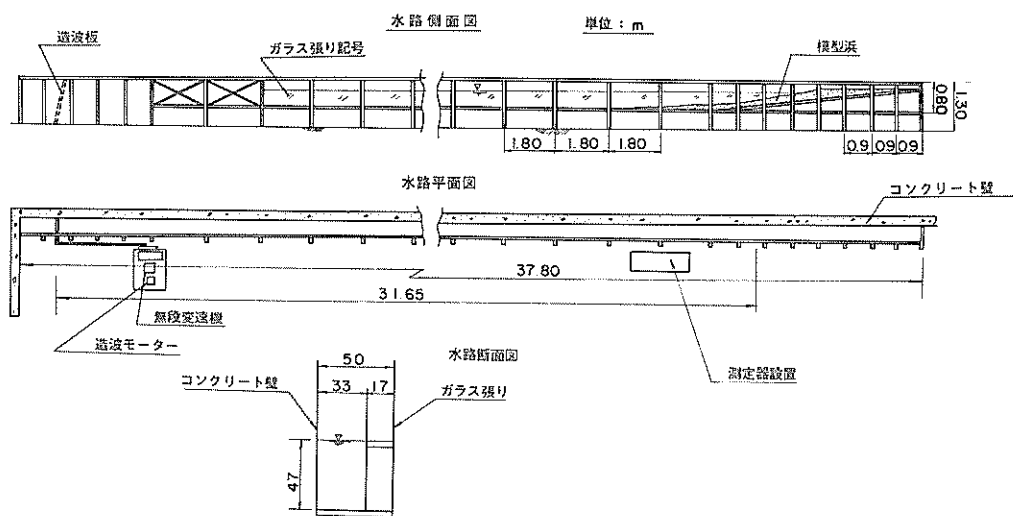
さて、本研究は、まず波高も波形勾配も小さい波を長時間作用させて平衡海浜を作り、その汀線に直立壁を立て、波高と波形勾配もより大きい波を作用させた。もちろん、直立壁前面は大きく洗掘された。つぎに、この直立壁を傾斜堤、階段堤に変えた場合、直立堤前面に、消波工、根固工、離岸堤を設けた各々の場合について同様に波を作用させて、その洗掘防止効果を実験的に検討したものである。

## 2. 実験施設と実験条件

### 2-1 実験施設と測定器

#### (1) 実験施設

実験施設および測定器の配置を図一に示した。実験



図一 実験施設図

水路は長さ4.3m、幅0.5m、高さ0.9mで、前面ガラス張り、片面コンクリート壁である。模型海浜は鋼板隔壁によって3つに仕切られた前面1.7cm幅の部分に作成した。水路の他端にはフラッター式の造波装置が設置されており、3PSのモーターと無段変速機および偏心板とにより、周期と波高を変えることができる。

(2) 測定器

波高は容量型精密波高計で、流速はプロベラ式正逆流計で測定し、いずれも4チャンネルのペンオンシログラフに記録した。実験の状態を記録するため時々断面の写真を撮映した。浜の断面はポイントゲージで断面の中央線に沿って、5cm間隔で測定した。

2-2 実験条件

本実験に先だち、実験波の諸元の決定を次のようにした。まず、波形勾配の小さい波により正常海浜の浜を作り、これに波形勾配の大きい波を作用させ浜の欠壊の状態を調べた。この欠壊の十分大きいことを確認した後、その波形勾配の小さい波による正常海浜時の汀線に直立

堤を設置した。この後、波形勾配の大きい波を作用させ、直立壁脚部の洗掘を調べた。上述の波形勾配の小さい波による正常海浜時の実験条件を詳述すると次の通りである。この実験を通し用いた初期断面は、この条件によって作成されたものである。

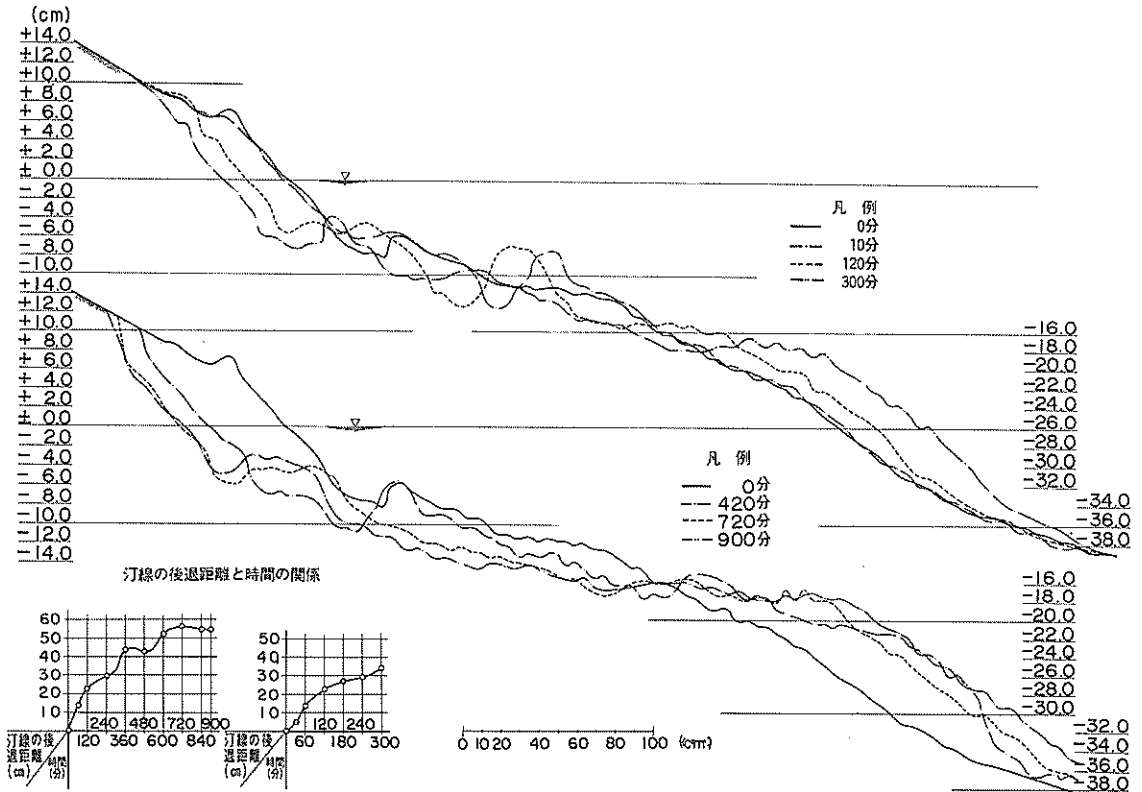
砂の中央粒径	0.2 mm
初期勾配	1 : 1.0
水路の水平部分の水深	4.7 cm
沖波相当波高	6 cm
周期	1.52 sec.
沖波相当波形勾配	0.017
波の作用時間	15時間

また、上述した波形勾配の大きい波の諸元は次の通りである。

沖波相当波高	1.2 cm
周期	1.52 sec.
沖波相当波形勾配	0.033

(1) 自然海浜に於ける断面の変化

図一2は、前述した波形勾配の小さい波の正常海浜に、



図一2 自然海浜の断面の変化

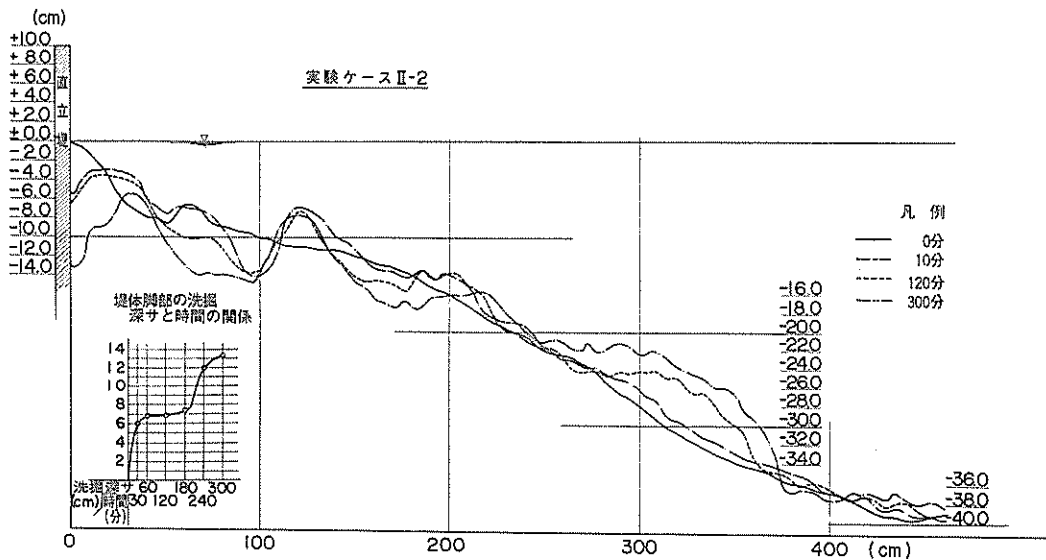
沖波相当波高1.2 cm, 周期1.52 sec. で, 沖波相当波形勾配が0.033の波を15時間作用させた場合の断面の時間的変化を示す。また, 図一2の中に, 汀線の後退距離と時間の関係を示した。波の作用120分後浜の欠壊は大きく, 汀線は2.3 cm後退した。以後も欠壊はつづき300分後浜は3.5 cm後退した。その後も浜は欠壊をつづけ420分には汀線が4.2 cm後退し, 720分後では5.2 cmに達した。しかし, 720分から900分迄の3時間で汀線の後退は3 cmであり, 前浜はこの時点ではほぼ平衡状態に達した。一方, 沖浜には10分後, 汀線から14.5 cm附近に頂高6 cm, 120分後には汀線から12.5 cm附近に第1砂州が, 70 cm附近に頂高3 cmの第2砂州が形成された。この大きな砂州も巻波砕波から, ぐずれ巻波砕波に変わった300分後には小さくなり, 汀線より60 cm附近に頂高3.5 cmとなった。その後砂州は

沖向きに移動し, 汀線から9.5 cmの附近に頂高3 cmとなるが再び岸向きに移動し, 720分後には汀線から7.5 cm附近に1.5 cm程度に小さくなる。波の作用900分に至り砂州は更に岸に近づくと共に天端高も増し, 汀線から砂州の中心までの距離が50 cmで頂高2 cm, 天端幅が40 cm近くなった。この浜の欠壊した砂はすべて沖に運ばれ, 水深8 cm以下に堆積した。全体的に見て, 波の作用720分迄で前浜が大きく欠壊し, 汀線の位置が5.2 cmも後退していることからわかるように, この波による浜の欠壊は非常に激しい。

(2) 直立堤前面の洗掘実験

a 断面の変化

図一3は, 図一2の初期断面に直立壁を設置し, 波高1.2 cm, 周期1.52 sec. の波を300分作用させた時の断面の時間的変化を示す。また, この図には直立堤脚



図一3 直立堤の断面の変化

部の洗掘深さの時間的変化を示してある。波の作用と共に堤体脚部附近に欠壊が起り, 10分後その洗掘深さは5.5 cmに達した。その後堤体前面の欠壊速度は弱まりながらも欠壊は増加し, 180分後堤体前面の欠壊は急激に増加し, 180分後堤体前面の欠壊は急激に増し, 300分後には堤体脚部の洗掘深さが1.33 cmとなった。そして, なお洗掘量は増加する様相を示した。一方, 10分後に堤体から12.5 cm附近に出来た頂高7.5 cmの沿岸砂

州は, 岸向きにわずかに移動したが, ほとんど変わらず300分に至った。この断面の欠壊した砂の大部分は沿岸砂州の沖側に運ばれ, 水深1.2 cm以下に堆積した。

b 堤体脚部の洗掘深さの時間的変化

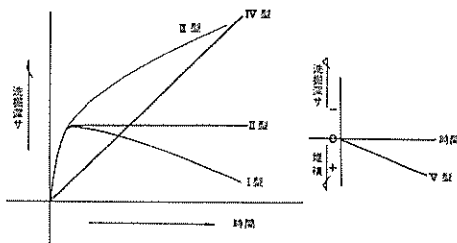
堤体脚部の洗掘深さが時間と共にどの様に変化をするかということは, 洗掘機構を解明する上できわめて重要なことである。その時間的変化は実験のケースによってかなり複雑であるが, 基本的には次の4種類に分類され

る。

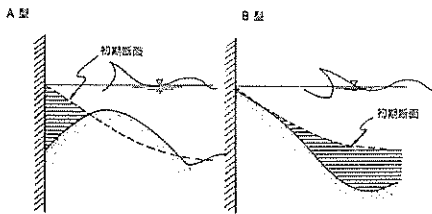
- I型：初め急激に掘れた後、埋戻しが起る。
- II型：初め急激に掘れた後、そのままの状態がつづく。
- III型：初め急激に掘れた後、徐々に掘れる。
- IV型：初めから徐々に掘れる。

この略図を図一4の上に示す。洗掘深さの時間的変化をこの4つの型と、最大および最終洗掘深さに注目し説明する。

堤体脚部洗掘深さの時間的変化



堤体附近の浜の欠損の基本図

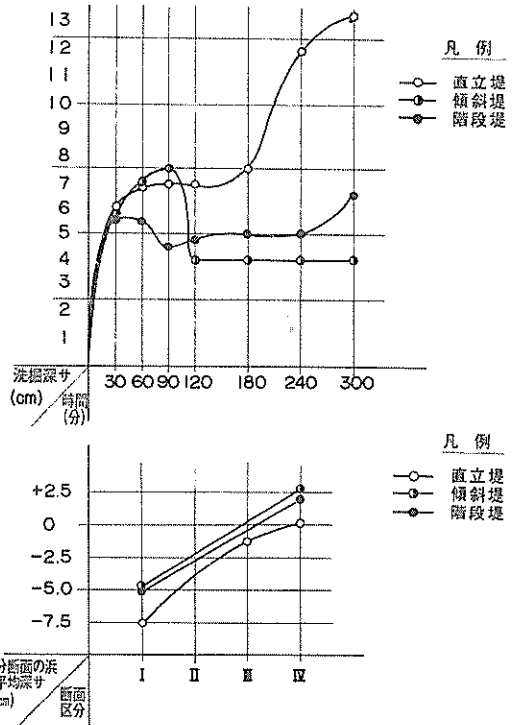


図一4 洗掘深さの時間的変化および浜の欠損の型の基本図

直立堤脚部の洗掘深さの時間的変化を図一5の上に示す。堤体脚部は波の作用と共に急激に洗掘され、30分で6cm近くに達した。その後180分近くまでわずかに増加をつづけるが、再び急激な洗掘が起り300分迄つづき13.3cmになり、なお増加する様相を示した。このケースの洗掘の時間的変化はII型の性質を持つIII型に分類され最終洗掘深さと最大洗掘深さは一致する。

c 区分断面毎の土量の変化

本実験を通し堤体脚部の欠損の過程として、図一4の下方に示す通り次の2つの型が考えられた。A型として、波による堤体脚部のみに起る局所洗掘と、B型として、



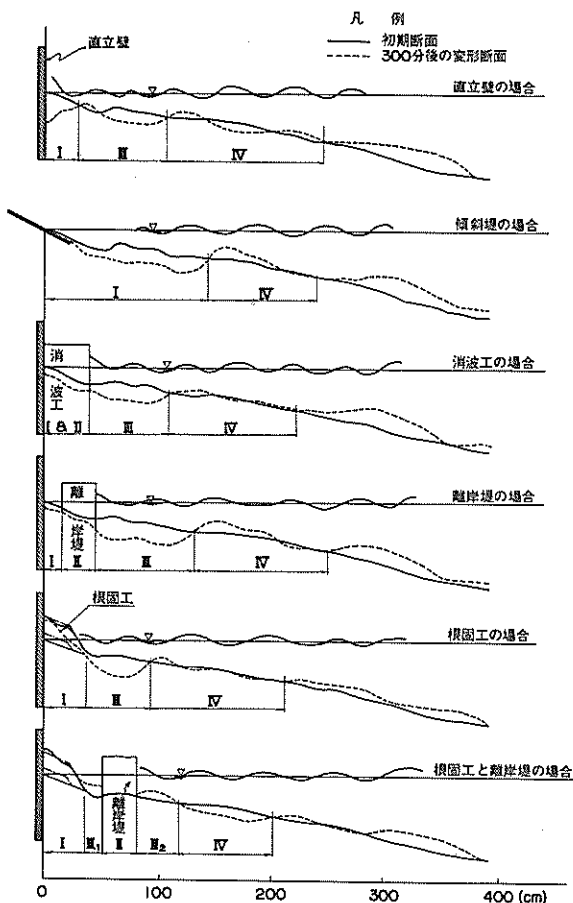
図一5 直立堤、傾斜堤、階段堤の洗掘深さの時間的変化および区分断面毎の浜の平均深さ

堤体より沖浜の欠損が進行してその欠損が堤体脚部に及んで、その水深を増加させる場合である。現実にはこの2つの型が複雑に組合されるものであるが、ともかく基本的にはA、B型に分類される。A型では堤体前面の局所洗掘であるから、沖浜の欠損の程度を調べることは特に意味を持たないであろう。しかし、B型の洗掘に於いては、沖浜の欠損の程度を知ることはきわめて重要であろう。したがって、現実にはA型とB型が複雑に組合されていることから、すべてのケースについて土量の変化を調べた。すなわち、初期断面に対する300分後の変化を下記説明する断面区分毎に土量を計算し、その区間の平均深さを計算した。各工法による断面の区間図を図一6に示し、その考え方を説明する。

区分I：堤体前面の平均欠損深さ

但し、直立堤のとき：堤体前面の欠損断面が初期断面と交わるところまで





図一六 各工法の断面区分図

傾斜堤および階段堤のとき：沿岸砂州の岸側斜面が初期断面と交わるころまで  
 消波工のとき：消波工の基礎  
 離岸堤のとき：離岸堤の岸側端まで  
 根固工のとき：根固工の基礎

区分Ⅱ：離岸堤基礎の平均欠陥深さ

区分Ⅲ：消波工、離岸堤および根固工の沖側端から沖側欠陥または堆積断面が初めて初期断面と交わるまで

区分Ⅳ：区分Ⅲの沖側端から、沖の堆積が初期断面より堆積し始めるところまで

直立堤の区分断面毎の土量の変化を図一五の下に示す。

堤体前面の平均水深を示す区分Ⅰでは7.5cmであり、堤体脚部の洗掘水深より小さい。これは堤体前面の洗掘がA型に近いものであるため欠陥の平均深さが小さい。また、トラフに相当する区分Ⅱの水深は1.3cm、沖側砂堆部分までの区分Ⅳでは0.3cmの堆積があり、沖浜の欠陥は小さい。

前述の通り、波高6cm、周期1.52sec.の波を初期勾配1:10の海浜断面に15時間作用し正常海浜を作成した。この正常海浜に波高12cm、周期1.52sec.波形勾配0.033の波を作用させた結果、激しい海浜の欠陥がつづいた。この条件による海浜の欠陥を防止するため、直立堤を正常海浜の訂線に設置した。この結果、堤脚部に著るしい洗掘が起り、構造物の推持に重大な影響を与えた。したがって、本実験に於いては前述の波高6cm、周期1.52sec.の波を15時間作用させて出来た平衡海浜の訂線に堤体を設置し、それに種々の対策工を設け、上述の波形勾配の大きい波高12cm、周期1.52sec.の波を作用させて洗掘防止工法の実験を行うこととした。また、以後実験される模型は現地の1:25~1:30の縮尺を想定して模型の大きさを決めた。

### 3. 傾斜法面と階段法面の洗掘防止効果に関する実験

我国の海水浴場の海岸護岸に階段式護岸が多く用いられてきた。しかも、この護岸は洗掘防止にもかなりの効果があると言われている。したがって、この階段護岸が傾斜面に階段を設けたための効果か、堤体自体の傾斜したことによる効果であるかを、同じ護岸斜面に階段をつけた場合と、つけない場合とで効果を調べた。

#### 3-1 実験条件と種類

##### (1) 実験条件

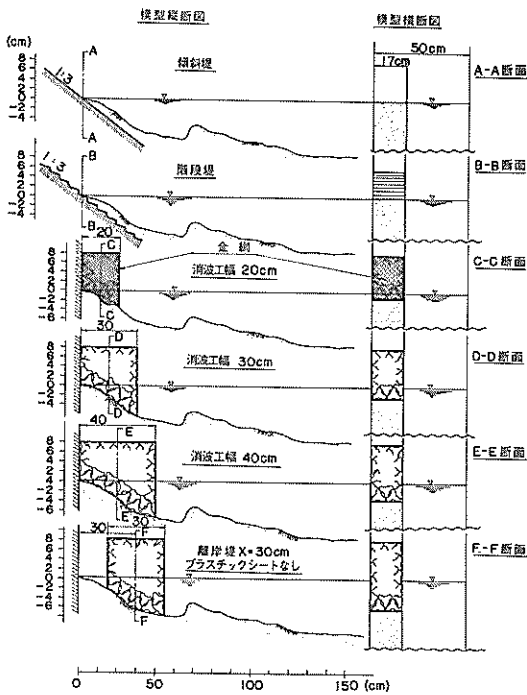
作用波の諸元は2.2.3で述べた通りである。また、傾斜堤と階段堤の模型縦横断面図を図一七の上方と写真一に示す。傾斜法面の場合には勾配を1:3とし、階段法面の場合には、その勾配は同じく1:3とし法面に5cmのステップを設けたものである。

##### (2) 実験の種類

実験の種類を表一に示す。

表一

項目 実験ケース	護岸法面の 状態	法面勾配	備 考
Ⅱ-1	傾斜法面	1:3	
Ⅱ-2	階段法面	1:3	法面に5cmのステップ



図一七 模型縦横断面図(傾斜堤, 階段堤, 消波工幅 20, 30, 40, cm 離岸堤 X = 30 cm プラスチックシートなし)

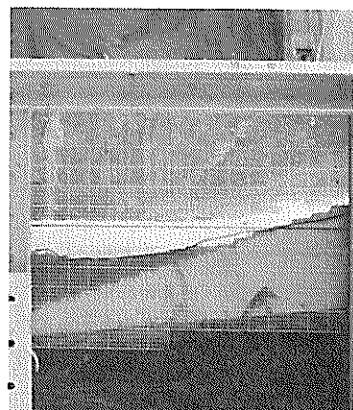
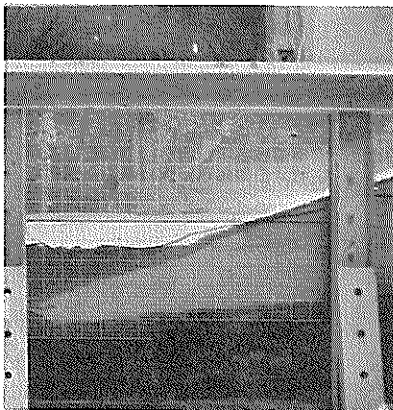
### 3-2 断面の変化

#### (1) 傾斜法面の場合(実験ケースⅡ-1)の断面の変化

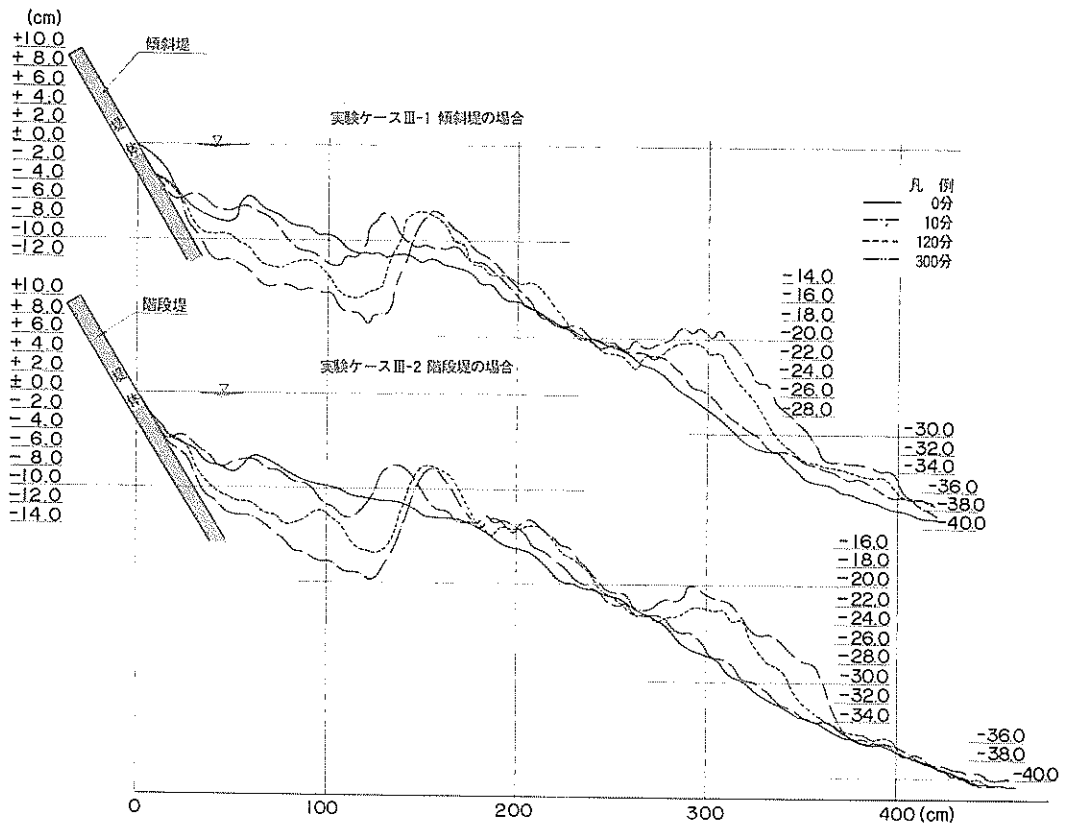
図一八の上方は、波高 12 cm, 周期 1.52 sec の波を 300 分作用させた時の断面の変化を示す。波の作用と共に堤体前面の欠壊が起り、10 分後堤体脚部の洗掘量が 7.0 cm に達した。その後堤体前面の欠壊は増加するが、堤体脚部には埋戻しが働き脚部の洗掘は 4 cm となり 300 分に至っている。一方、10 分後堤体から 131 cm 附近に出来た頂高 5.5 cm の沿岸砂州は発達しながら沖向きに移動し、120 分では堤体から 157 cm 附近に頂高 1.5 cm となった。堤体と沿岸砂州の間が近いため、トラフの水深の増加はただちに堤体前面の欠壊を意味する。300 分後トラフの水深が 19.7 cm もあることから、この断面の欠壊が非常に大きいことを表わす。欠壊した砂は沖に運ばれ堆積した。

#### (2) 階段法面の場合(実験ケースⅡ-2)の断面の変化

図一八の下方は、階段法面の場合の断面の時間的变化を示す。このケースに於ける断面の変化は、傾斜堤の場合と類似である。堤体前の欠壊の様相もほぼ同じである脚部の洗掘に於いて、10 分後 5.5 cm 120 分後 4.8 cm となり、埋戻しが働くが以後増加し、300 分では 6.7 cm となった。



写真一 傾斜堤および階段堤の模型



図一八 傾斜堤および階段堤の断面の変化

### 3-3 傾斜法面と階段法面の効果

#### (1) 堤体脚部の洗掘深さの時間的变化

図一五の上に直立堤、傾斜堤および階段堤の洗掘深さの時間的变化を示した。傾斜堤は初め急激に洗掘され、90分で洗掘深さは7.5cmとなった。しかし、90分後埋戻しが働き120分では4cmの洗掘深さとなり、300分迄そのままの状態がつづいた。このケースの洗掘は図一四に示したⅠ型の性質を持つⅡ型に分類され、最大洗掘は120分で7.5cmであり直立堤のときのその $\frac{1}{2}$ 程度である。一方、階段堤は初めから急激に洗掘され30分で5.5cmとなるが以後埋戻しが起り90分で4.5cmとなった。このケースはⅡ型に分類され、最大洗掘深さと最終洗掘深さは同じで直立堤のその $\frac{1}{2}$ である。

#### (2) 区分断面毎の土量の変化

図一五の下方は、断面区分毎の土量の変化を示す。堤

体前面に相当する区分Ⅰの直立堤の欠損平均深さは、前述の洗掘深さの大きいことからわかるように7.5cmであり、傾斜堤および階段堤のケースより2cm程度大きい。傾斜堤は4.8cmで階段式よりわずかに小さい。沿岸砂州より沖側の区分Ⅳでは傾斜堤、階段堤共に堆積であり、傾斜堤の堆積が0.8cm程度大きい。堤体前面の欠損した砂がこの区間に多く運ばれているためである。

### 4. 消波工の洗掘防止効果に関する実験

堤防および護岸の前面に設けた消波用ブロックは、波の堤体への波力を減小すると共に堤体脚部の洗掘防止にも効果がある。そこで、この消波工の堤体からの幅を二、三、変えてその幅による洗掘防止効果を調べた。

#### 4-1 実験条件と種類

##### (1) 実験条件

作用波の諸元は2.2.3で述べた通りである。消波工の模型は図一七に示す如く網目が5mm矩形の金網の中に、1ヶ30φのテトラポットを入れ堤体前面に設置した。天端高は波が消波工を越えない高さとした。実験中波の作用によりテトラポットが沈下した場合は、沈下した高

さだけテトラポットを補充した。これはテトラポットは消波効果を充分発揮させるためである。テトラポットを入れる金網は、あらかじめ洗掘される深さを見込んで深く埋めた。また、テトラポットは直接砂面上設置した。

##### (2) 実験の種類

実験の種類は表一2に示す。

表一2

項目 実験ケース	堤体から消波工中心までの距離X(cm)	消波工の幅 (cm)	備 考
IV-1	10	20	消波工基礎にプラスチックシートの敷設なし
IV-2	15	30	〃
IV-3	20	40	〃

#### 4-2 断面の変化

##### (1) 幅20cmの場合(実験ケースIV-1)

###### の断面の変化

図一9の上方は、消波工の幅が20cmの場合の断面の時間的変化を示す。波の作用と共に欠壊の速度が増加した。直立堤脚部の洗掘も時間と共に増加している。一方、沖浜には堤体から113cm附近に頂高4cm、66cm附近に1.7cmの2つの沿岸砂州が形成された。この砂州は120分後、125cm附近に頂高5cm、66cm附近に38cmと多小発達した。しかし、300分後には第2砂州は消失し、第1砂州が岸向きに移動し堤体から106cm附近に頂高8cmとなった。この断面の消波工の脚部の洗掘は大きかったが、トラフの水深が8cmであることから比較的欠壊量は少ない。

##### (2) 幅30cm(実験ケースIV-2)の断面の変化

図一9の中央は、幅30cmのときの断面の時間的変化を示す。波の作用と共に消波工脚部に砂の堆積が起る。しかし、これも10分後には欠壊に変わり、直立堤脚部および消波工前面が欠壊される。すなわち、外浜の欠壊が増加するに伴い、直立堤脚部の洗掘も増加する。外浜が堆積すれば直立堤脚部も堆積する。10分後、直立堤脚部には0.5cm堆積するが以後増加し、120分後2.4cm、300分後4.4cmと増加を続ける。また、10分後直立堤から109cm附近に出来た頂高5.5cmの沿岸砂州は発達しながら岸向きに移動し、120分後111cm附近に7.0cm、300分後15.3cmとなっている。消波工の前面がトラフに相当し、この水深の増加は外浜の欠壊の程度を示す。

##### (3) 幅40cmの場合(実験ケースIV-3)

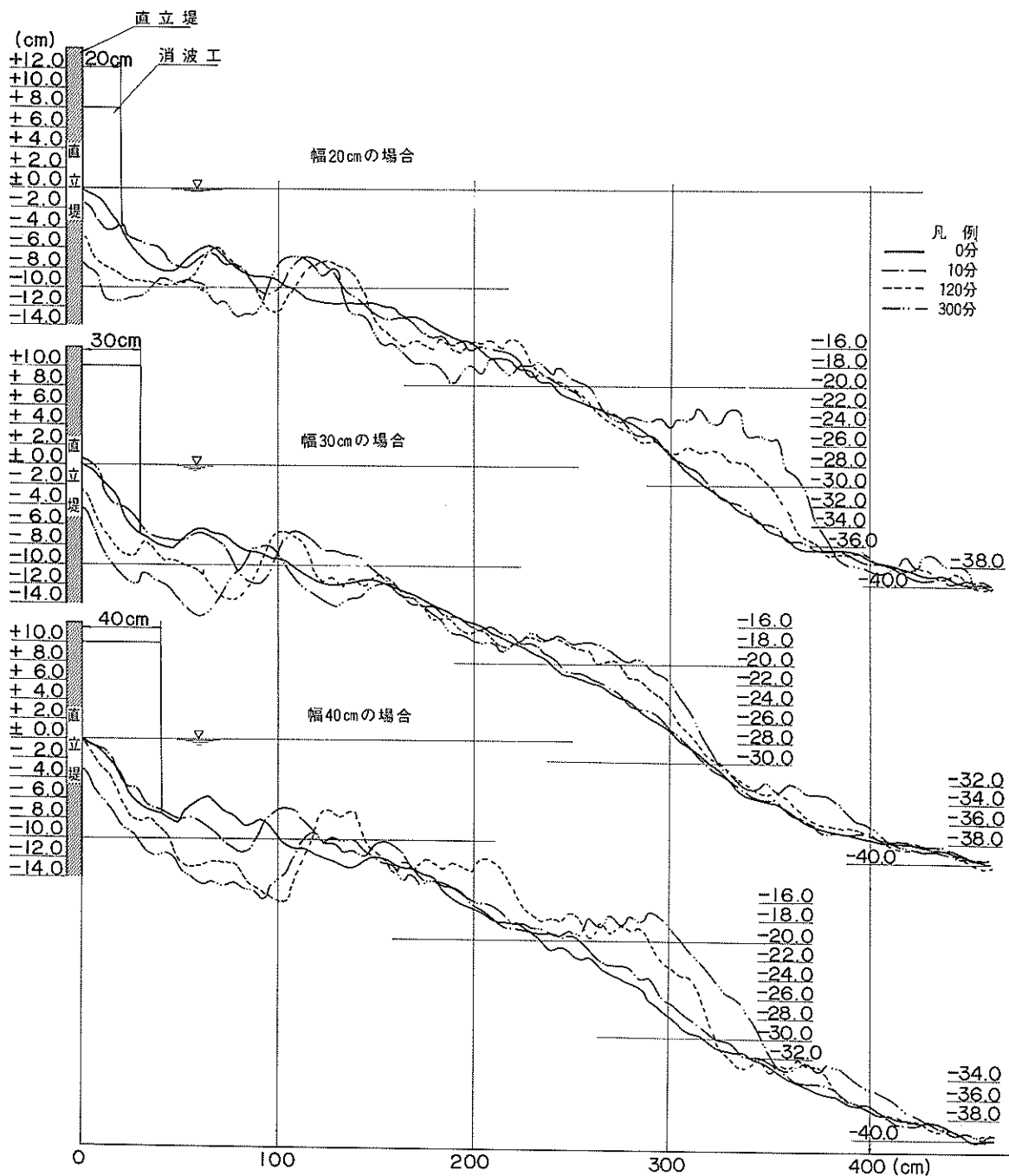
###### の断面の変化

図一9の下方は、消波工の幅を40cmにしたときの断面の時間的変化を示す。波の作用10分後断面は大きく欠壊するが、消波工脚部の欠壊は比較的小さく、直立堤脚部の洗掘も10分以後洗掘現象は見られず、120分後0.3cmであり、この後洗掘量が増し300分に至り2.9cmとなった。しかし、消波工前面で巻波砕波することから、この部分の浜の欠壊は大きく120分迄は急激に増加する。120分後欠壊は増加するが、その量はきわめて小さくなった。一方、直立堤から103cm附近に出来た沿岸砂州は、頂高5.0cmでトラフの水深が1.5cmである。この砂州は時間と共に沖向きに移動し、120分後120cm附近に頂高9.4cm、トラフの水深が16.5cmと大きくなり300分に至った。

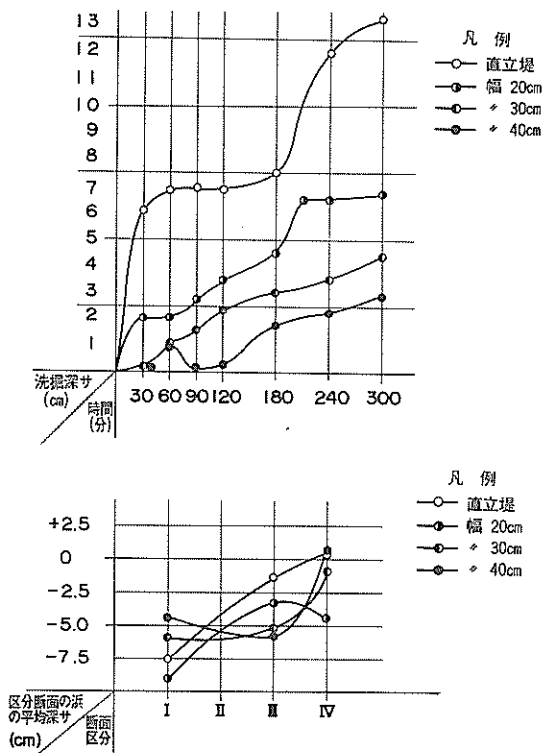
#### 4-3 消波工の幅による洗掘防止効果

##### (1) 堤体脚部の洗掘深さの変化

図一10の上方は、消波工各ケースについての、直立堤脚部の洗掘深さの時間的変化を示す。幅20cmのときは初めから徐々に洗掘され、210分には6.5cmとなった。この後増加の速度はきわめて小さくなり300分で6.7cmとなった。このケースの洗掘はIV型に分類され、最大洗掘深さは最終洗掘深さと一致し、前述の傾斜堤および階段堤とほぼ等しく、直立堤の最大洗掘深さの $\frac{1}{2}$ となっている。幅30cmのときは洗掘量が初めから増加をつづけ300分に至り4.3cmとなった。このケースはIV型であり、最大洗掘深さは幅20cmのときの $\frac{2}{3}$ 程度であり、幅を増した効果が表われている。幅40cmのとき120分迄の洗掘量はほとんどないが以後増加を続け、



図一9 消波工の幅による断面の変化



図一 10 消波工の洗掘深さの時間的变化と  
区分断面毎の浜の平均深さ

300分では2.9cmとなった。このケースも前ケースと同様Ⅳ型であるが、最大洗掘量は幅30cmのときの $\frac{3}{4}$ 程度であり、この場合も幅を増した効果が見られる。300分後の消波工の幅と洗掘深さを比較すると、幅40cmに対し、消波工の幅が $\frac{3}{4}$ 倍である30cmになると、洗掘深さが1.5倍の4.5cmに増加する。また、幅が $\frac{1}{2}$ 倍の20cmのとき洗掘深さは2倍となっている。つまり、幅が2倍になると洗掘深さが $\frac{1}{2}$ 倍となり、幅による効果が大きい事を示している。

(2) 土量の変化

図一10の下方は、図一6に示した区分断面毎の平均欠壊深さを示す。堤体前面、この場合消波工の基礎の欠壊水深は幅が狭くなる程増加している。特に幅20cmが消波工を設けない直立堤のみの場合より大きく9cmにも達している。幅40cmの堤体脚部の洗掘深さは6.7cmであるが、堤体前面の欠壊水深は9cmである。これは直立

堤脚部の沖側が大きく欠壊されていることを意味する。幅が30cmおよび20cmの場合も同様の傾向であり、欠壊の平均水深が堤体脚部の洗掘深さより大きくなっている。しかし、消波工沖側端から沿岸砂州までのトラフに相当する区分Ⅱの欠壊の平均深さは、幅20cmのとき3.5cmで、幅30cm、幅40cmのときより2cm以上小さい。また、沿岸砂州から砂堆までの区分Ⅳでは、幅40cmのとき0.8cm程度の堆積があり、幅30cmで0.9cm欠壊された。そして、幅20cmになると欠壊の平均深さが4.5cmになり、特に大きくなった。ケース別に見ると、幅20cmの場合、消波工基礎の欠壊水深は大きい、その沖側のトラフに相当する部分の欠壊深さは、その半分以上である。しかし、沿岸砂州から砂堆までの区分Ⅳの欠壊深さは大きくなり、全体的に欠壊が大きくなる。消波工30cmの場合、堤体から沖に向う区分Ⅳ欠壊深さが小さくなっている。また、幅40cmのとき消波工基礎の洗掘深さより、トラフ部分の欠壊水深が大きい。しかし、沿岸砂州から砂堆間には初期断面より0.9cm堆積している。これらの3ケースの中で幅20cmの欠壊深さが著しく、幅30cmと40cmの場合、区分別の平均水深は類似の変化曲線を示す。

5. 離岸堤の洗掘防止効果に関する実験

海岸浸食防止工法の1つである離岸堤についてその設置位置、高さ、幅について洗掘防止効果を調べた。

5-1 離岸堤の設置位置による洗掘防止効果に関する実験

(1) 実験条件と種類

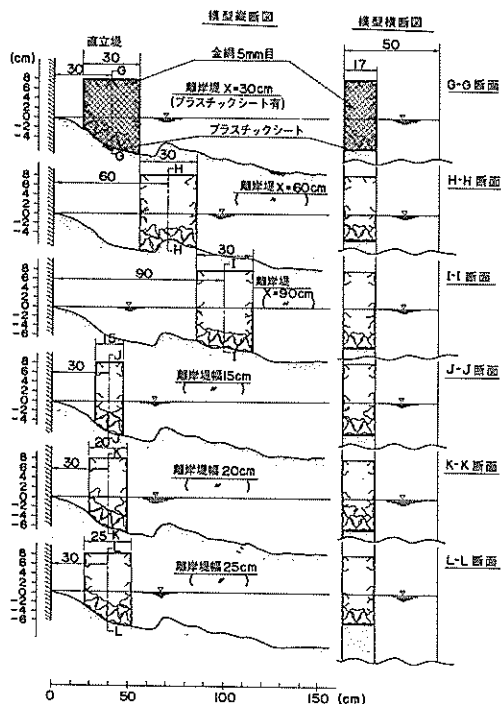
a 実験条件

作用波の諸元は2.2.3に述べた通りである。離岸堤は図一7の下および図一11の上を示す如く幅を30cmとし、金網を堤体から離岸堤の中心までの距離をX=30cm, 60cm, 90cmの位置にそれぞれ設置した。設置した離岸堤は3ケースとも砕波帯内であった。離岸堤の天端高は波が離岸堤を越えないように十分その高さをとった。実験中離岸堤基礎が波によって洗掘され、天端高が低くなった場合はその都度補充した。

b 実験の種類

実験の種類を表一3に示す。表のケースV-1の離岸堤のテトラポットは、直接砂面上に設置したもので、ケースV-2, 3, 4, は砂面上にプラスチックシートを敷設し、その上にテトラポットを設置したものである。

(2) 断面の変化



図一 11 離岸堤の設置位置と幅に関する  
模型縦横断面

表一 3

項 実験 ケース	堤体から離 岸堤中心ま での距離 X (cm)	離岸堤の基 礎の状 態	備 考
V-1	30	砂面上に直 接テトラポ ット設置	プラスチック
V-2	30	基礎にプ ラスチックシ ート敷設	シート の透 水係 数 $1.1 \times 10^{-2}$ cm/sec
V-3	60	〃	
V-4	90	〃	

a 距離  $X=30$  cm でプラスチックシート  
のない場合 (実験ケース V-1) の断  
面の時間的変化

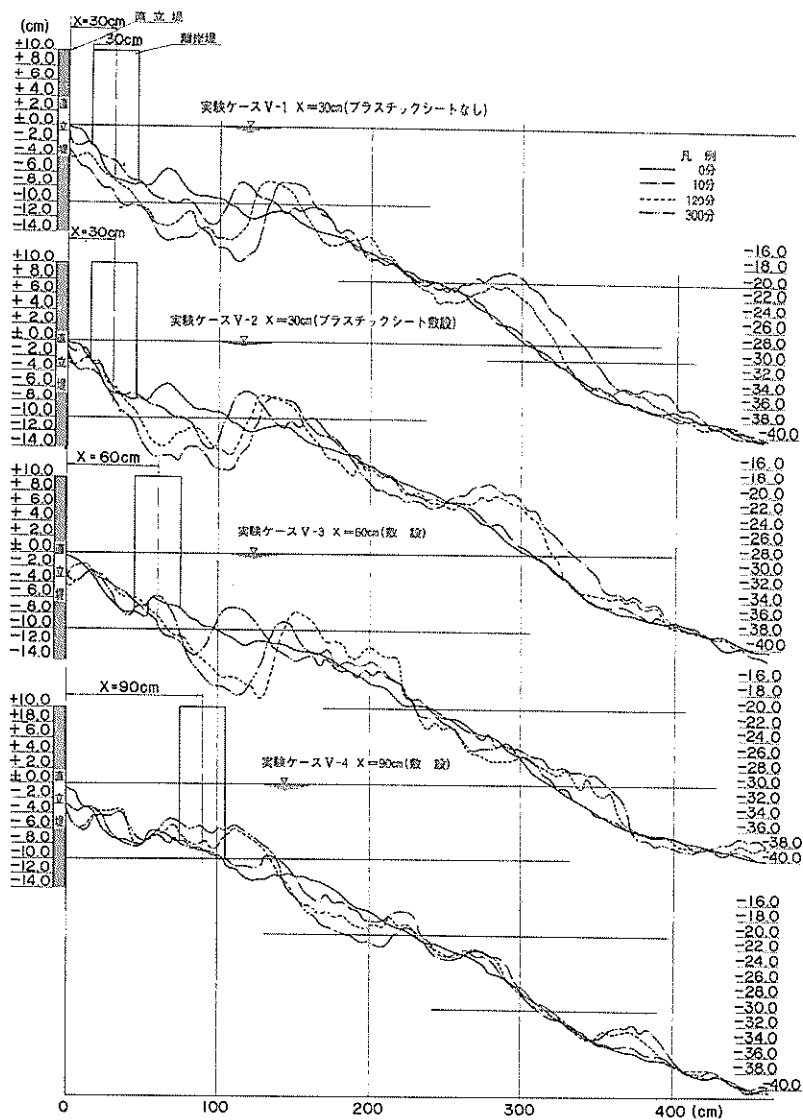
図一 12 の上方は、距離  $X=30$  cm の場合の断面の時  
間的変化を示す。この断面に見られる通り離岸堤の前面  
は洗掘され、沿岸砂州は発達しながら沖向きに移動した。  
また、砕波帯のすこし沖側 (堤体から 300 cm 沖) に新  
らしい砂州が発生した。堤体脚部の洗掘量の程度は初め  
は大きく次第に小さい。すなわち、洗掘量は波作用 10  
分後で 0.4 cm、300 分後で 3.4 cm で小さい。しかし、  
離岸堤の前面の欠壊は大きく時間と共に増加している。  
また、10 分後には 11.5 cm に出来た頂高 6.8 cm の沿岸  
砂州は沖向きに移動し、120 分後には 12.3 cm 附近に  
頂高 8.5 cm、トラフの水深 1.4.8 cm となり、300 分後  
には 14.7 cm 附近に頂高 1.0.8 cm となり、300 分後には  
14.7 cm 附近に頂高 1.0.8 cm、トラフ水深 1.7.8 cm と  
発達した。波は巻波砕波で砕波後乱れの大きい射流とな  
って離岸堤に当たっている。

b 距離  $X=30$  cm でプラスチックシート  
を敷設した場合 (ケース V-2) の断  
面の時間的変化

図一 12 の中央は、距離  $X=30$  cm で離岸堤基礎にプ  
ラスチックシートを敷設した場合の断面の時間的変化を  
示す。離岸堤と直立堤の間の欠壊は、前述のプラスチ  
ックシートのない V-1 よりも欠壊は小さく、離岸堤沖側  
前面の欠壊はそれより大きい。従って、堤体脚部の洗掘  
量も小さく 300 分で 1.3 cm にすぎない。10 分後に堤  
体から 11.7 cm 附近に発生した頂高 7.9 cm の大きな沿岸  
砂州は、300 分では堤体から 13.6 cm 附近に頂高 1.0  
cm となり、トラフの水深が 1.7 cm となった。

c 距離  $X=60$  cm の場合 (ケース V-3)  
の断面の時間的変化

図一 12 の中央は、 $X=60$  cm、プラスチックを敷設  
した場合の断面の時間的変化を示す。堤体と離岸堤の間  
に於いて脚部の洗掘が著るしく、欠壊した砂は離岸堤を  
通過せずそのすぐ沖側に堆積した。堤体脚部の洗掘量は  
10 分後、1.6 cm、120 分で 2.8 cm と増加をつづけ、  
240 分迄増加をつづけるが、その後脚部に埋戻しが働  
き 3.5 cm となった。離岸堤沖側前面は、砕波の落下地点  
であり浜の欠壊が大きい。10 分後、沿岸砂州が堤体か  
ら 11.1 cm 附近に頂高 7.9 cm となり形成されるが、それ  
は次第に沖向きに移動し、120 分後 14.4 cm 附近に頂  
高 1.1 cm となり、300 分後には 15.3 cm 附近に 9.7 cm  
となり、トラフは水深 1.8 cm となった。このトラフの形  
状は実験ケース 1, 2, と異り、V 字型となっているのでト



図一 12 離岸堤の設置位置による断面の変化

ラフの水深が大きい。離岸堤脚部の洗掘は沖側は洗掘であるが岸側脚部は堆積であり、堤外の欠壊の影響が堤内に及んでないことを意味する。しかし、堤体脚部の洗掘量が  $X = 30$  cm の場合と比較して大きいのは、離岸堤が沖に出たことにより碎波した波がすぐ直後にある離岸堤を透過する量が大きくなったためと思われる。

d 距離  $X = 90$  cm の場合 (ケース V-4) の断面の時間的变化

図一 12 の下方は、距離  $X = 90$  cm でプラスチックシートを敷設した場合の断面の時間的变化を示す。堤体と離岸堤の間では断面の変化が著しく、堤体脚部の洗掘量が大きい。しかし、洗掘された砂はすぐ沖側に堆積し

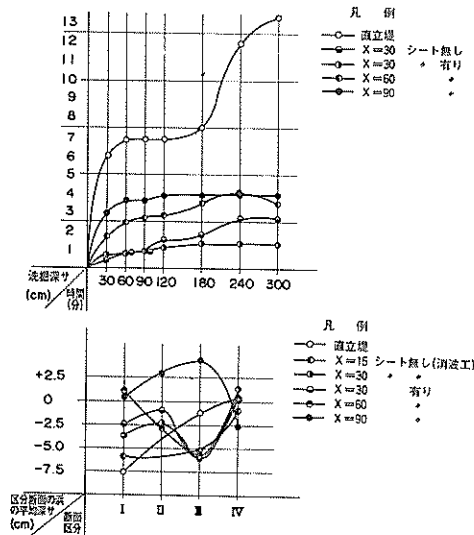


ているため、この間の欠壊と堆積の土量はバランスしている。堤体脚部の洗掘は、10分迄急激で2.4 cmとなり120分迄増加し3.9 cmとなるが、その後洗掘はほとんどなく300分後3.0 cmとなっている。離岸堤の脚部およびその前面は砂の堆積が起り、いままで述べた他と異った現象を示した。特にこのケースでは沿岸砂州の発生はなかった。これは離岸堤が波の砕波点に近く、その巻波が直接離岸堤に当たるためである。堤体脚部の洗掘が大きかったのは、前ケースと同様に直接離岸堤で砕波する波の透過量が大きく、堤体に達するエネルギーが大きい為である。

### (3) 設置位置による効果

#### a 堤体脚部の洗掘深さの変化

図一13の上方は、離岸堤の設置位置による洗掘深さの時間的変化を示す。X=30 cmでプラスチックシートのない時、洗掘量は初めから徐々に増加して、240分で最大洗掘深さを示し2.7 cmとなった。この後、そのままの状態300分迄つき、最終洗掘は最大洗掘と同じ2.7 cmであった。この洗掘はⅣ型の性質を持つⅡ型に分類される。X=30 cmのプラスチックシートのある場合の洗掘量は、初めから徐々に増加し180分で最大洗掘をとり1.3 cmとなった。その後そのままの状態300分まで続き、前ケースと同じく最終洗掘は最大洗掘と同じで1.3 cmであった。このケースはⅣ型の性質を持つⅡ



図一13 離岸堤の設置位置による洗掘深さの時間的変化および区分断面毎の浜の平均深さ

型に分類される。また、X=60 cmのときの洗掘量は初め急激に増加し60分に達するが、以後増加の速度は弱まった後再び増加をつづけ、240分で最大洗掘を示し4.0 cmとなった。しかし、それ以後埋戻しが働き300分での最終洗掘は3.5 cmとなった。このケースはⅡ型の性質を持つⅠ型に分類される。X=90 cmのときの洗掘量は、初め60分迄は急激に掘れ、以後増加の速度を弱めながら120分に達し最大洗掘となり3.9 cmとなった。この後、そのままの状態がつづき300分の最終洗掘は最大洗掘と同じ3.9 cmであった。これはⅡ型に分類される。各ケースの最大洗掘深さを比較すると、X=30 cmのプラスチックシートを敷設したときが、X=60 cm、X=90 cmのときの1/2程度である。また、X=60 cmとX=90 cmでは最大洗掘量がほぼ等しいことから、この間での脚部の洗掘防止効果は同じ程度である。

#### b 区間断面毎の土量の変化

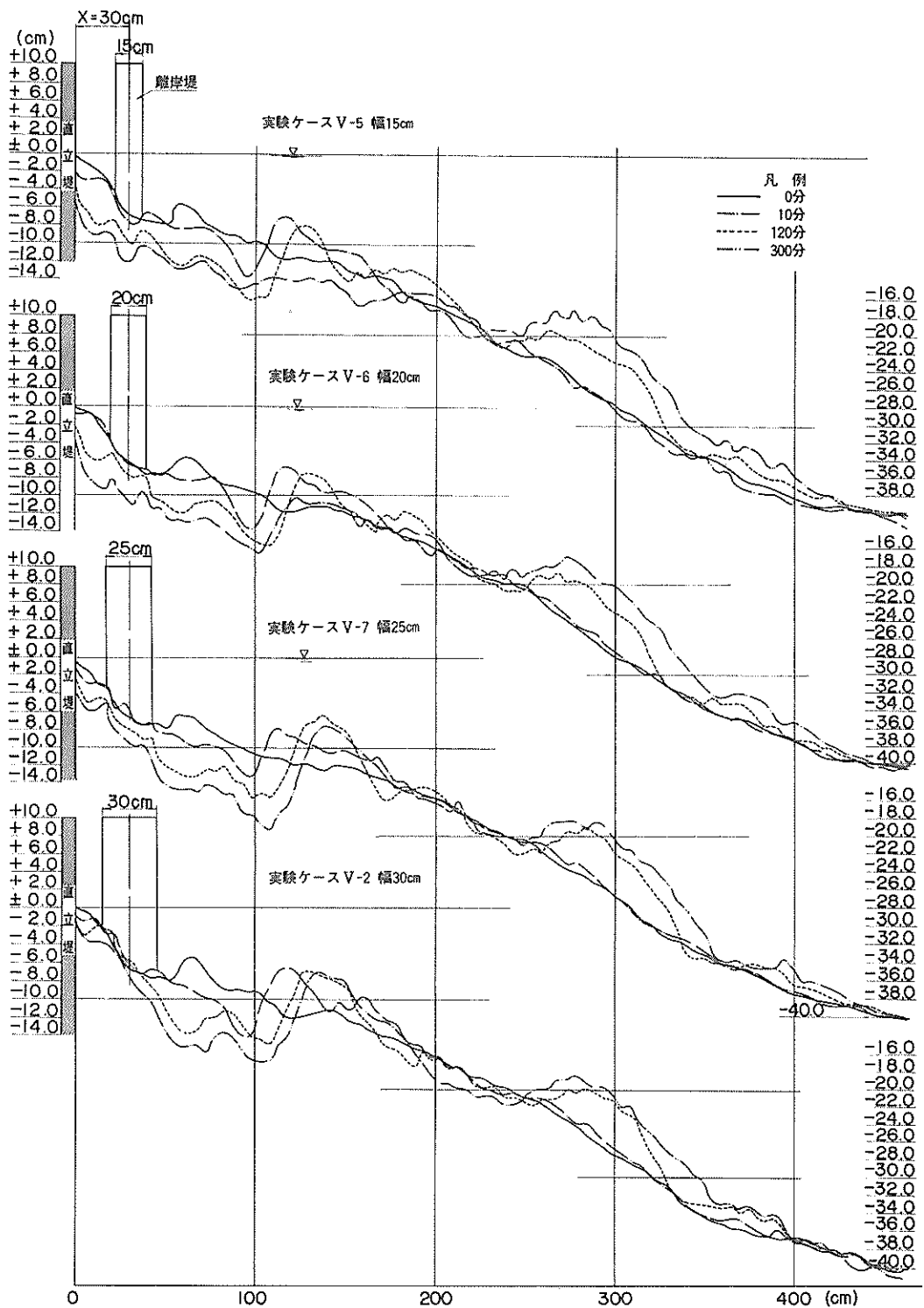
図一13の下方は、離岸堤の設置位置による区分断面毎の土量の変化を示す。区分Ⅰの堤体と離岸堤間の土量は、X=60 cm、X=90 cmのとき堆積であり、X=90が0.3 cm、X=60が1.0 cmになった。X=30 cmのプラスチックシートのあるときが、ないときより欠壊平均深さが小さく、また、X=15 cmのときは洗掘は特に大きくなっている。(X=15 cmのものは消波工のときの図一10を転用した。したがって、離岸堤と堤体の間に隙はない。) 離岸堤基礎の土量もX=90 cmでは堆積であり、X=30 cmのプラスチックシートのないときが、反対にほぼ同じ程度の欠壊で2.7 cm程度であった。また、離岸堤の沖の区分Ⅱでは、X=90のとき大きい堆積が起っている。他のケースでの区分Ⅱはトラフに相当することから、いずれも6 cmに達する大きい欠壊を示した。区分Ⅱの沖側端から砂堆までの区分Ⅳでは、土量はX=90 cmの欠壊が大きく2.5 cmであり、次いでX=15 cmのとき1 cmで、他のケースは堆積となった。ケース別に見るとX=90 cmのとき、区分断面Ⅱまでの堆積があり、X=60 cmのときも離岸堤前までの区分Ⅰで堆積であった。X=30 cmのプラスチックシートのあるときと、ないときの両ケースは類似の変化曲線を示した。

### 5-2 離岸堤の幅による洗掘防止効果に関する実験

#### (1) 実験条件と種類

##### a 実験条件

作用波の諸元は2.2.3で述べた通りである。模型の縦横断面図を図一11の下方に示す。離岸堤の設置位置は、堤体から離岸堤の中心までの距離でX=30 cmとした。



図一14 離岸堤の幅による断面の変化

天端高は前述した5.1の実験と同じく、波の越波を許さない程度の高さとした。離岸堤の基礎にはプラスチックシートを敷設した。

b 実験の種類

実験の種類を表一4に示す。

表一4

項目 実験 ケース	堤体から離岸堤中心までの距離 X (cm)	離岸堤の幅 (cm)	備 考
V-5	30	15	堤体基礎にプラスチックシート敷設
V-6	30	20	〃
V-7	30	25	〃

(2) 断面の変化

a 幅15cmの場合(ケースV-5)

の断面の変化

図一14の上方は、幅15cmの場合の断面の時間的変化を示す。浜の欠壊は著しく離岸堤内外共欠壊が行われた。波の作用と共に直立堤脚部の洗掘量は増加し10分後1.1cm、120分後2.4cmとなり、尚増加を続け300分後4.5cmとなった。離岸堤内外の欠壊も大きくその増加は300分後まで続く。10分後形成された沿岸砂州は、堤体より118cm附近に頂高6.6cm、120分には130cmのところへ8.4cmとなるが、その後次第に小さくなり300分後には消失している。この断面の大きな特徴は120分後沿岸砂州が消失したことである。

b 幅20cmの場合(ケースV-6)

の断面の変化

図一14の中央は、幅20cmの場合の断面の時間的変化を示す。離岸堤基礎の欠壊が大きい。堤体脚部の洗掘も時間と共に増加し、10分後0.9cm、120分後には2.4cmとなり、300分後には2.5cmとなった。離岸堤内の洗掘が大きいのは砕波後のエネルギーの減衰効果が小さく、透過する量が大いいためである。しかし、前述の幅15cmの場合と比較するとより小さい。一方、10分後堤体から118cm附近に出来た頂高7.0cmの砂州は冲向きに移動し、120分後には132cm附近に8.0cmとなる。沿岸砂州はその後場所は同じであるが天端高が低くなり、頂高6.1cmとなった。離岸堤脚部の洗掘も著しく、全体的に欠壊が著しい。

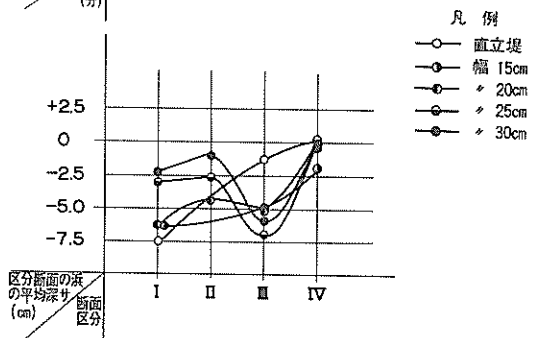
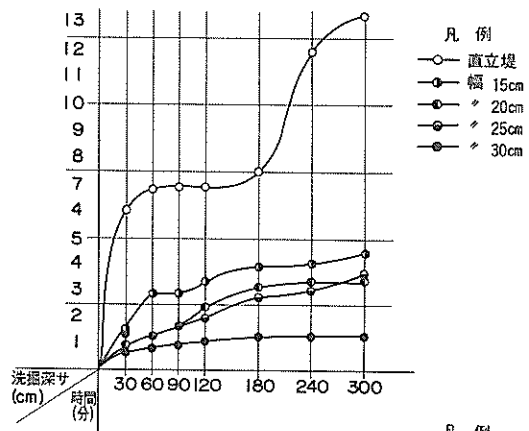
c 幅25cmの場合(ケースV-7)の断面の変化

図一14の下方は、幅25cmの場合の断面の時間的変化を示す。堤体脚部の洗掘は時間と共に増加し、10分後1.0cmで、20分以後増加し120分では深さ2.0cmとなり、300分では3.7cmとなったが幅20cmと比較すれば一層小さくなった。しかし、離岸堤前面の欠壊は幅20cmの場合より大きくなった。一方、沖浜の沿岸砂州は10分後堤体から113cm附近に頂高5.7cmとなり冲向きに移動し、120分後には138cmの位置に頂高9.4cmとなった。その後、砂州の移動はないが頂高が11.8cmと大きくなった。

(3) 幅による効果

a 堤体脚部の洗掘深さの時間的変化

図一15の上方は、離岸堤の幅による洗掘の時間的変化を示す。幅15cmの場合、洗掘は初め急激に起り60分に達し3cmとなるが、後徐々に増加し、300分での最終洗掘深さは4.5cmであった。このケースの洗掘はⅡ



図一15 離岸堤の幅による洗掘深さの時間的変化および区分断面毎の浜の平均深さ

型に分類され、最大洗掘は最終洗掘と同じで、直立堤のときの $\frac{1}{2}$ 程度である。幅20cmのとき、洗掘量は初めから徐々に増加し240分で最大洗掘となり3.4cmとなった。その後、そのままの状態がつづき300分での最終洗掘深さは3.4cmであった。このケースはⅣ型の性質を持つⅡ型に分類され、最大洗掘は幅15cmのときより1cm小さかった。幅25cmのとき、初めから徐々に増加をつづけ300分に至った。このケースはⅣ型に分類され最大洗掘は3.7cmであり、幅20cmのときより0.3cm大きくなった。幅30cmのときは前述の如く最大洗掘は1.3cmであり、幅20cm、および幅25cmのときより2cm以上小さい。このことから離岸堤の幅を増すことによる洗掘防止効果は大きい。幅15cmより広い他のケースは効果はあるが、幅20cmから25cmにした効果はほとんど見られず、幅30cmになると効果が大きい。

b 区分断面毎の土量の変化

図-5.5の下方は、離岸堤の幅による区分断面毎の土量の変化を示す。堤体と離岸堤間の区分Ⅰの平均欠壕深さは、幅15cmおよび幅20cmがほぼ同じ程度で大きく、幅25cm、幅30cmの場合が2.5cm前後で小さい。離岸堤基礎の洗掘量も幅20cmのときが他のケースより大きく、幅25cmが2cm小さく、幅30cmが4cm小さい。しかし、離岸堤の沖側から沿岸砂州までのトラフに相当する区分Ⅱの欠壕水深は、幅15cmと20cmのときが他に比較して小さく、幅30cmがそれより1cm、幅25cmが2cm程度大きくになっている。区分Ⅳの沖の欠壕の平均深さは、離岸堤の幅に関係なくほぼ同じ値を示した。

5-3 離岸堤の高さによる洗掘防止効果に関する実験

(1) 実験条件と種類

a 実験条件

作用波の諸元は2.2.3で述べた通りである。模型縦横断面図を図-16に示す。離岸堤を $X=30$ cmの位置に幅30cmとし、その天端高を変化させた。前述した5.1の離岸堤 $X=30$ cmでの、離岸堤への波の遡上高さが静水面上8cmであることが確認された。このことから、この実験の離岸堤の最高天端高を、波が越波しない程度の静水面上8cmとした。

b 実験の種類

実験の種類を表-5に示す。

(2) 断面の変化

a 高さ8cmの場合(ケースV-8)の断面の変化

図-17の上方は、高さが8cmの場合の断面の時間的

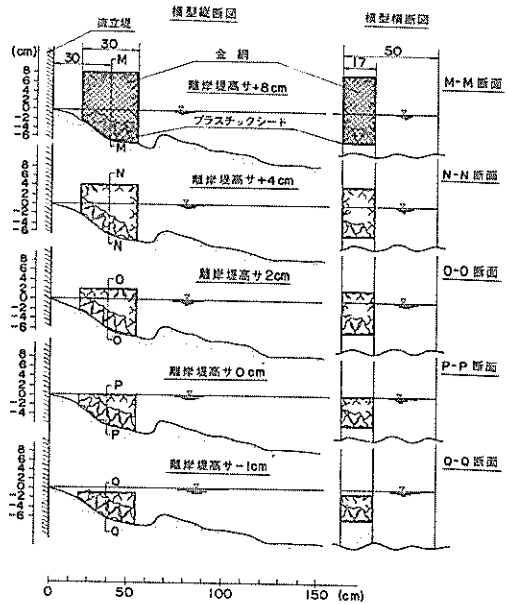
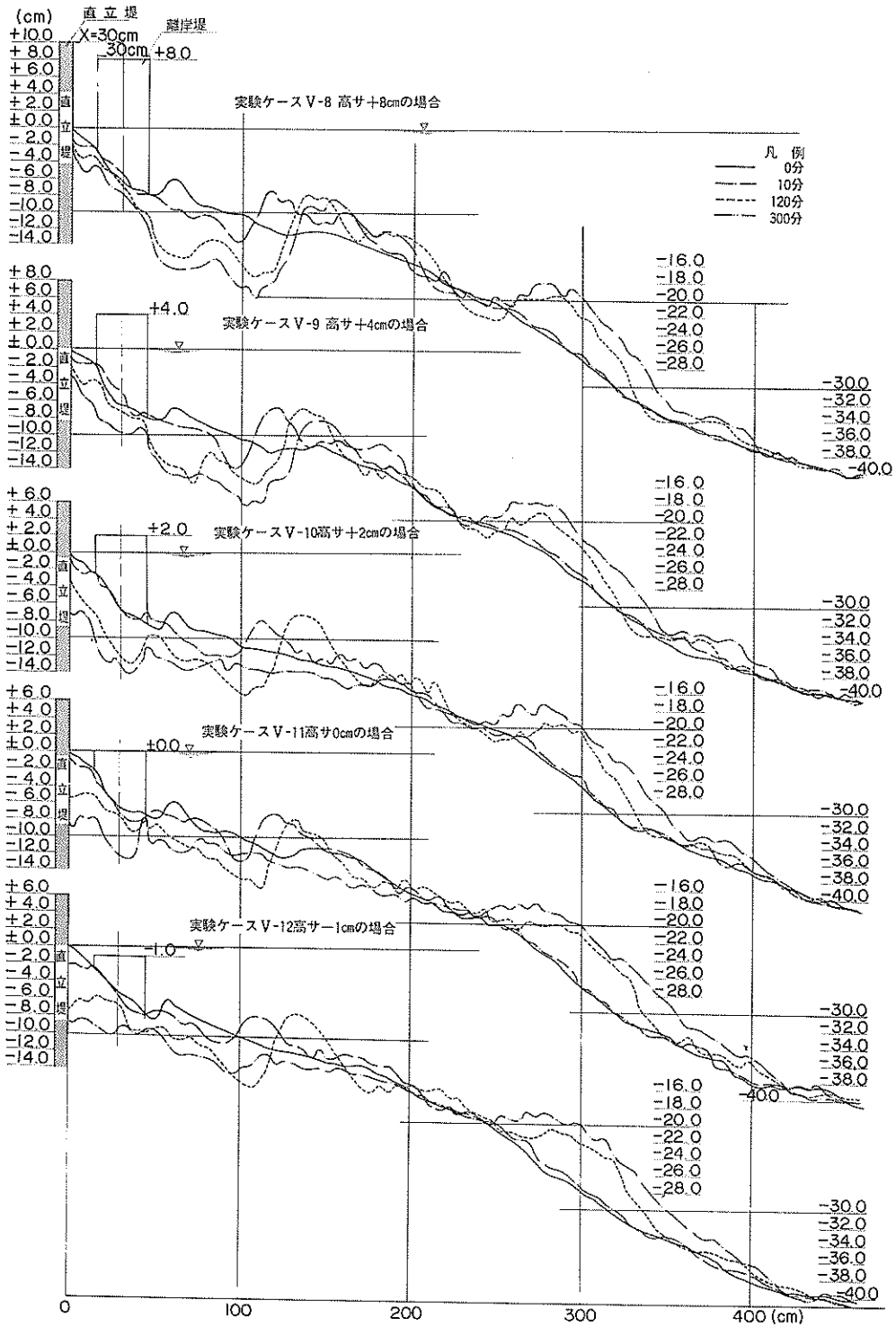


図-16 離岸堤の高さによる模型の縦横断面図

表-5

項目 実験 ケース	天端高 (cm)	天端幅 (cm)	堤体から離 岸堤中心ま での距離 X(cm)	備 考
V-8	+8	30	30	基礎にプラ スチックシ ート敷設
V-9	+4	30	30	〃
V-10	+2	30	30	〃
V-11	±0	30	30	〃
V-12	-1	30	30	〃

変化を示す。堤体脚部の洗掘は比較的小さい。10分後0.9cmであった洗掘深さは、その後増加するがきわめて小さい。120分では1.4cm、300分では1.7cmとなった。離岸堤と堤体の間は凹形の欠壕をした。また、離岸堤脚部の洗掘量は大きく、その断面は深いトラフにつづいている。一方、沖浜の沿岸砂州は10分後堤体より117cmの位置に、頂高6.3cmとなるが沖向きに移動し、



図一 17 離岸堤の高さによる断面の変化

144 cm附近に頂高9.6 cmとなった。300分後砂州の移動はなく、頂高10.8 cm、トラフの水深は2.0 cmであった。

**b 高さが4 cmの場合(ケースV-9)の断面の変化**

図一17の上方は、高さ4 cmの場合の断面の時間的変化を示す。離岸堤前面の洗掘が大きくなると共に、離岸堤内の洗掘も次第に大きくなり、それが堤体脚部の洗掘に影響を及ぼす。堤体脚部の洗掘は10分後0.6 cm、120分後1.5 cm、300分後には3.0 cmとなった。離岸堤の前面欠壊は著しい。沖浜に出来た沿岸砂州は10分後堤体より119 cmに頂高7.4 cmとなるが、時間の経過と共に沖向きに移動し、120分では136 cm附近に頂高9.8 cmとなった。その後も発達した砂州は、300分で堤体から146 cm附近に10.7 cmとなり、トラフの水深も18.6 cmとなった。すなわち、この断面の堤体脚部の洗掘は沿岸砂州より陸側の欠壊に伴った変化であると思われる。

**c 高さが+2 cmの場合(ケースV-10)断面の変化**

図一17の中央は、離岸堤の高さが+2 cmの場合の時間的変化を示す。前述の高さ8 cm、4 cmの場合より堤体脚部および離岸堤基礎の洗掘が大きいが、離岸堤沖側前面の洗掘は小さい。波の作用と共に堤体脚部の洗掘が起り、10分後その深さは0.7 cmとなり、30分迄増加し、その後120分に至り3.9 cmとなった。それ以後300分迄に洗掘量は急激に増加し、7.2 cmとなった。これに対し離岸堤前面の欠壊は始めから増加し、堤体から112 cm附近に出来た頂高4.5 cmの沿岸砂州は沖向きに移動し、120分後136 cmの附近に頂高9.5 cmとなるが、300分後には消失している。

**d 高さが静水面と同じ場合(ケースV-11)の断面変化**

図一17の下方は、高さが静水面と同じ場合の断面の時間的変化を示す。離岸堤の脚部および離岸堤内の洗掘が更に大きい。離岸堤脚部の洗掘は、10分後0.7 cmであったものが、30分後急激に増加し、120分後には4.5 cmとなった。以後240分迄は洗掘の速度は弱まることなく増加をつづけたが、それ以後増加の速度は弱まり、300分後8.3 cmとなった。一方、離岸堤前面の欠壊は比較的小さい。また、10分後沖浜118 cmのところに出来た頂高6.0 cmの沿岸砂州は沖向きに移動し、300分に至り消失している。この断面の特徴は、離岸堤内の欠壊はきわめて大きい、離岸堤附近の欠壊が比較的小さく、300分に至り沿岸砂州が消失していることである。

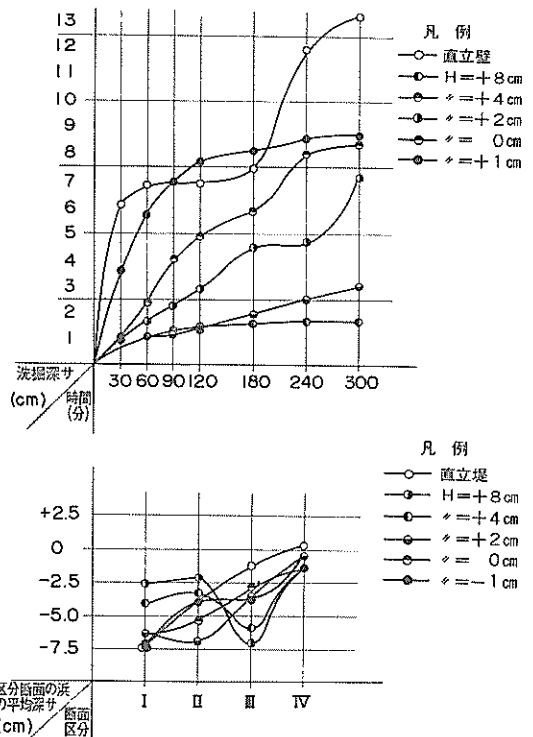
**e 高さが静水面下1 cmの場合(ケースV-12)の断面の変化**

図一17の下方は、高さが静水面下1 cmの場合の断面の時間的変化を示す。堤体脚部および離岸堤基礎の洗掘がきわめて大きい。波の作用と共に堤体脚部の洗掘が急激に増加し、10分後には2.0 cmであった。洗掘量は120分には7.7 cmに達し、以後も増加をつづけ300分では8.3 cmとなった。離岸堤基礎の洗掘も時間と共に大きくなっている。一方、10分後沖浜に堤体から110 cm附近に出来た頂高3.4 cmの沿岸砂州は、120分後133 cmの位置に頂高8.5 cmに達するが、300分に至り前と同様に消失した。すなわち、300分後の断面は全体的に水深8 cm以下となり、前述のケースV-11より欠壊の大きいことがわかる。

**(3) 離岸堤の高さによる効果**

**a 堤体脚部の洗掘深さの変化**

図一18の上方は、離岸堤の高さによる洗掘深さの時

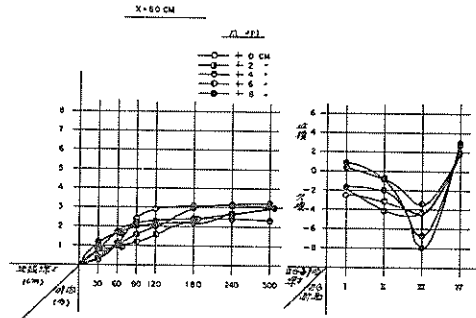


図一18 離岸堤の高さによる洗掘深さの時間的変化および区分断面毎の浜の平均深さ

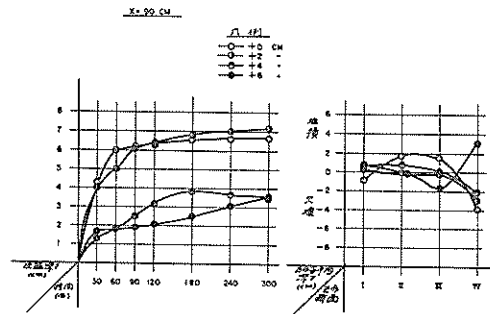
間的变化を示す。高さ-1 cmのとき、洗掘は初め急激に増加し120分迄つづくが、以後増加の速度は弱まるが尚増加をつづけ、300分での最終洗掘深さは8.7 cmとなった。このケースはⅢ型に分類され90~120分の間では、同じ時間で直立堤より洗掘量が大きくなっている。高さが静水面と同じ場合の洗掘量は初めから増加し、300分での最終洗掘は8.3 cmとなった。このケースはⅡ型であり、最大洗掘深さは高さ-1 cmのときと同じ程度の大きい洗掘であった。高さ+2 cmのとき、初めから徐々に洗掘され180分迄続き、4.7 cmとなった。しかし、その後240分まではほとんど増加しないが、それ以後急激に洗掘され、300分での最終洗掘は7.1 cmとなった。このケースはⅣ型に分類され、最大洗掘深さは高さ0 cmのときより1.3 cm小さい。高さ+4 cmのとき、洗掘は初めから徐々に起り300分での最終洗掘深さは3.0 cmになった。このケースはⅣ型であり、最大洗掘深さは+2 cmに比べ小さく以下となった。+8 cmのとき、洗掘深さは初めから少しずつ増加し、180分で1.7 cmになり300分迄そのままの状態がつづいた。したがって、最終洗掘は1.7 cmであり+4 cmのときの約半と、各ケースを通し特に小さかった。

#### b 区分断面毎の土量の変化

図一18の下方は、離岸堤の高さによる区分断面毎の土量の変化を示す。堤体から離岸堤間の区分Ⅰの平均深さは、高さ+8 cm、また+4 cmのケースが、他のケースより2.5 cm以上小さい。特に+8 cmのときが+4 cmのときより1.5 cm小さい。離岸堤基礎の欠壊は+8 cmの時が小さく、+4 cmのときが次に小さい。しかし、堤体脚部の洗掘深さの大きい高さ0 cmと-1 cmのケースよりも+2 cmの場合の平均欠壊深さが大きい。離岸堤の沖側に相当する区分Ⅱは、区分Ⅰとは反対に、高さ8 cmと高さ4 cmの場合が他のケースより2 cm大きく、+8 cmが+4 cmより尚1 cm以上大きい。また、沿岸砂州から沖の区分Ⅳは、各ケース共欠壊量はほぼ等しく小さかった。これをケース別に各区分を通してみると、高さ+8 cmと高さ4 cmが離岸堤から岸側の欠壊が比較的小さく、その沖側で大きく欠壊する類似の変化を示す。また、高さ2 cm, 0 cm, および-1 cmのケースは沖に向う程、欠壊の平均深さが小さくなっている。次に、図一19、および、図一20には、それぞれ離岸堤中心の位置を直立壁から60および90 cmとした場合の高さの効果を示す。これで見ると、X=60 cmの場合には、脚部の洗掘深さは高さが±0 cm以上ならほとんど変化がなく、区間別の欠壊量は、高さが小さい程ⅠおよびⅡ区間で欠壊量が大きく、離岸堤外側では、欠壊量が小さくなっている。一方、X=90 cm

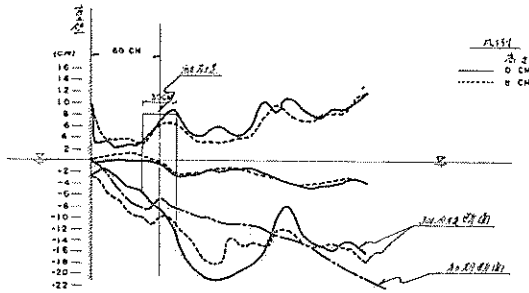


図一19 離岸堤X=60 cmのとき高さによる洗掘深さの時間的変化および区分断面毎の浜の平均深さ



図一20 離岸堤X=90 cmのとき高さによる洗掘深さの時間的変化および区分断面毎の浜の平均深さ

の図一20の場合には、脚部の洗掘深さは高さが+4 cm以上になると常に小さくなり、区間別の欠壊量は、離岸堤内外とも全体的に小さく、他の場合と比較して、離岸堤のすぐ沖側のⅡ区が小さいことが目立つ。X=60の場合、堤脚洗掘量が、高さによってあまり変化がない理由は明らかでないが、図一21に示す波高分布から知られるように、離岸堤内の波高が高さが±0 cmと6 cmとで大きい差がなかったことによるものではなからうか。しかし、X=30 cmと90 cmの各場合に対しては、離岸堤の高さが+4 cm以上になると、その洗掘防止効果は急に大きくなるように思われる。



図一 2 1 離堤 X = 60 cm のとき波高分布

を用いた場合の効果と根固工法先崩壊防止として二・三の工法の効果を調べた。

### 6-1 基礎フィルター層の洗掘防止効果に関する実験

#### (1) 実験条件と種類

##### a 実験条件

作用波の諸元は 2.2.3 で述べた通りである。根固工の基礎の底質の流出防止として、粒径 0.3 ~ 0.5 cm の割石とプラスチックシートを用いた。根固割石は粒径 2 cm を使い、上部の消波ブロックはテトラポットは 1 個 30 g の重さのものを用いた。根固工の断面は、富永らの行った実験断面を参考にした。<sup>2)</sup>

##### b 実験の種類

実験の種類を表一 6 に示す。模型の縦横断面図を図一 2 2 に示し、各ケースの特徴を次に示す。

### 6. 根固工の洗掘防止効果に関する実験

根固工の基礎に割石フィルターとプラスチックシート

表一 6

実験 ケース	フィルター材		消波工としての テトラの重量(g)	備 考 (法先崩壊対策工法の有無)
	第 1 層	第 2 層		
VI-1	粒径 0.3 ~ 0.5 % 割石	粒径 0.2 cm 割石	30 g / 個	無し
VI-2	プラスチックシート	〃	〃	無し

○ケース VI-1 : 堤体から幅 20 cm に 0.3 ~ 0.5 cm 径の割石を 1 cm 厚に敷均し第 1 層とし、その上部に粒径 2 cm の割石を敷均し第 2 層とした。更に、上部に消波工として 30 g / 個のテトラポットを 2 層整積とし、下部割石の先端を被覆する程度まで並べた。

○ケース VI-2 : このケースは上述の第 1 層の割石フィルターの代わりにプラスチックシートを砂面上に敷設しそのシートと造波水路側面との間は、油粘土で固定した。その上部の第 2 層フィルター割石およびテトラポットの模型は 1 と同じである。

#### (2) 断面の変化

##### a 第一層が割石フィルターの場合 (ケース VI-1) の断面の変化

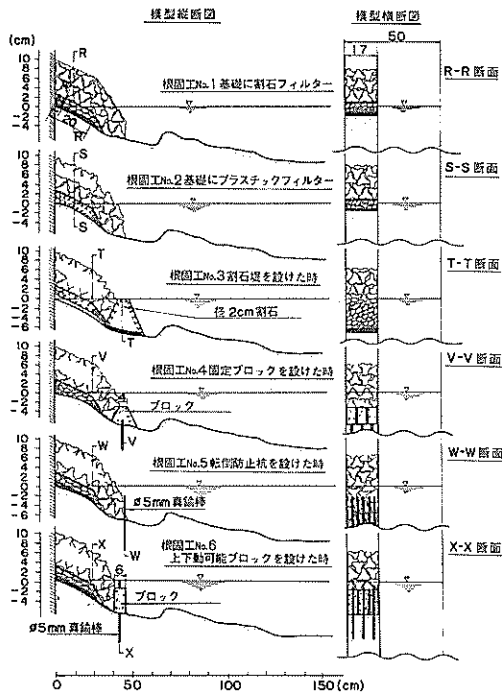
図一 2 3 の上方は、第一層が割石フィルターの場合の断面の時間的変化を示す。ただし、堤体近くにおける断面は根固工の上面、即ちテトラポットの高さを示す。堤体前面の根固工の沈下は 300 分を通じきわめて小さく、根固工で被覆されている堤体脚部の洗掘は全く見られなかった。しかし、根固工法先の洗掘が大きく、根固工破壊の原因となっている。即ち、この根固工法先の洗掘に

ついても考えることにする。根固工法先には、10 分後わずかに 0.4 cm 堆積するが、以後洗掘が起り 120 分では 2.7 cm となり、300 分迄急激に増加し 6.5 cm となる。この法先の洗掘は、堤体より 111 cm 附近に出来た頂高 5.0 cm の沿岸砂州のトラフの部分に相当する。沿岸砂州は 120 分には堤体から 111 cm 附近に頂高 5.3 cm となり、時間と共に岸向きに移動し、300 分では 100 cm の位置に頂高 6.5 cm となった。この砂州のトラフは根固工の法先につづいており、トラフの水深が 16.8 cm であった。また、時間と共に根固工の高さが先端から沈下している状況が図からわかる。

##### b 第一層がプラスチックシートの場合 (ケース VI-2) の断面の変化

図一 2 3 の下方は、第一層にプラスチックシートを用いた場合の断面の変化を示す。根固工上部の消波ブロックの部分の断面が時間と共に下っている。これは、異形ブロック法先の方へくずれ落ちたためである。このケースも、VI-1 と同様に根固工法先の洗掘が大きく、また、沖浜の堤体から 105 cm 附近に出来た沿岸砂州は、波の作用 300 分まで移動しなかった。しかし、砂州の頂高





図一22 根固工の模型縦横断面図

は時間と共に大きくなり、10分では5.8cmであったが120分では5.4cm、300分では8.3cmとなり、そのトラフは根固工の法先でもある。堤体脚部の洗掘はVI-

表一7

項目 実験ケース	フィルター材		消波工としての テトラポットの 重量 (g)	法先崩壊対策工法
	第1層	第2層		
VI-3	粒径0.3~0.5mmの割石	粒径2cmの割石	30g/個	粒径2cmの割石堤
VI-4	プラスチックシート	〃	〃	固定ブロック設置
VI-5	粒径0.3~0.5mmの割石	〃	〃	転倒防止杭設置
VI-6	〃	〃	〃	上下動のみ許すブロック設置

○ケースVI-3：ケースVI-1の根固工の法先にテトラポットの崩壊防止対策として、粒径2cmの割石堤を設

1と同様全くなかった。

(3) 基礎フィルター層の効果

a 堤体脚部の洗掘深さの時間的変化

第一層フィルターに割石を用いた場合も、プラスチックシートを用いた場合も共に堤体脚部の洗掘は起らなかった。

b 区分断面毎の土量の変化

図一24の下方は、基礎フィルター層による区分断面毎の浜の平均深さを示す。根固工の欠損の程度を示す区分Iでは、第一層フィルターに割石フィルターを用いた場合が欠損が小さい。しかし、トラフに相当する区分IIおよび沿岸砂州から沖の区分IVでは、ほぼ同じ程度の欠損があった。このケースは根固工の法先がトラフにつづいており、そのトラフの欠損が進行することは根固工自体の欠損につながり、ひいては堤体の安全性もおびやかすことになる。

6-2 根固工法先崩壊防止工に関する実験

前述した6-1の実験で、根固工法先の崩壊がきわめて大きかった。この法先の崩壊を防止する目的で法先に割石堤を設けた場合、固定ブロックを設けた場合、転倒防止杭を設けた場合、上下動のみ許すブロックを設けた場合の効果調べた。

(1) 実験条件と種類

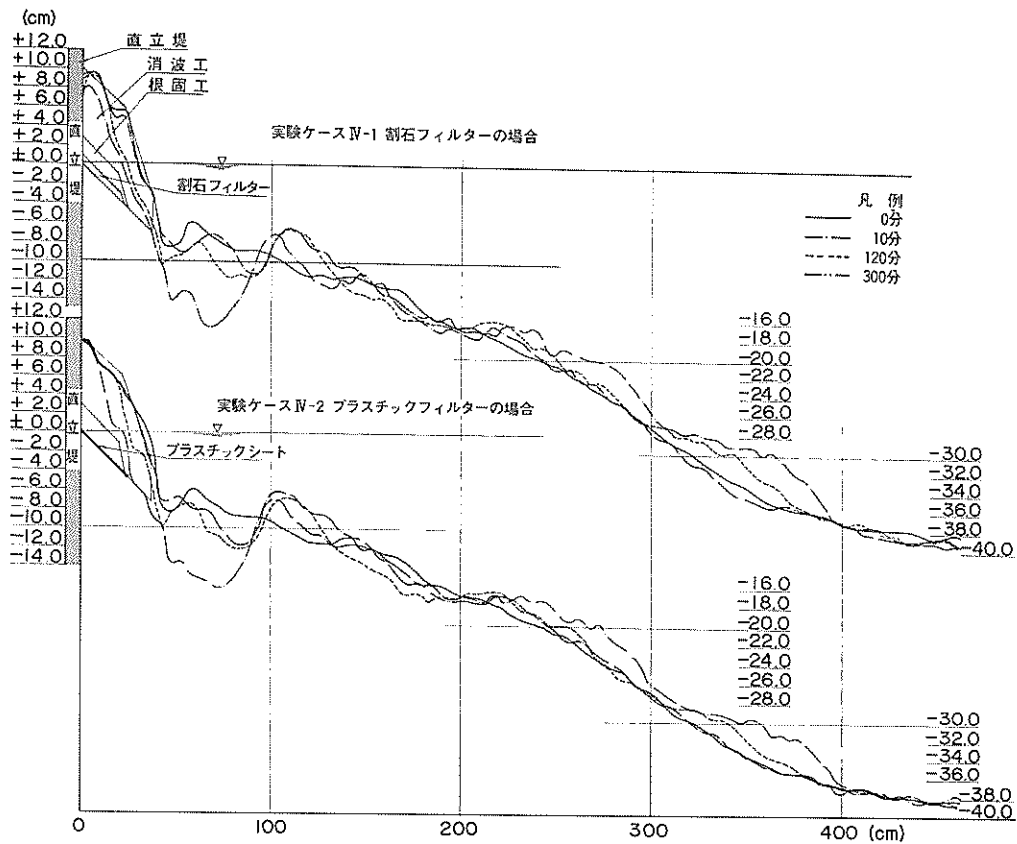
a 実験条件

作用波の諸元は2.2.3で述べた通りである。

b 実験の種類

実験の種類を表一7に示す。模型縦横断面図を図一22に示し、各ケースの特徴を次に示す。

○ケースVI-4：ケースVI-2の根固工の法先に同様の



図一 2 3 根固工基礎フィルター層の断面の変化

目的で固定ブロックを設けた断面である。

- ケースⅥ-5：ケースⅥ-1の根固工の法先にテトラポットの先端に転倒防止杭を打った断面である。
- ケースⅥ-6：ケースⅥ-1の根固工の法先に上下動のみ許すブロックを設けた断面である。

(2) 断面の変化

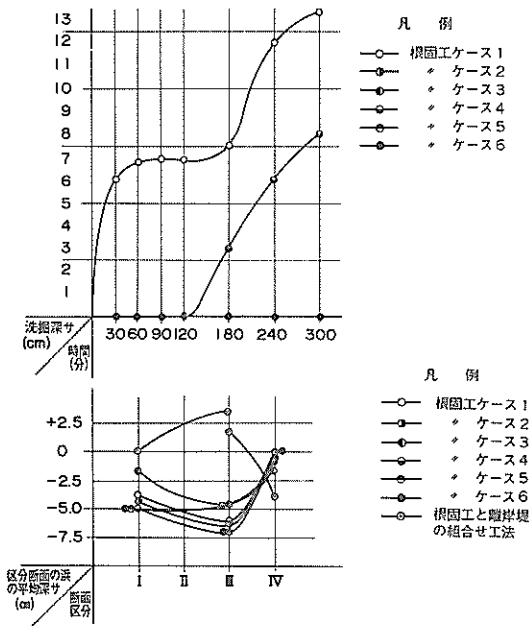
a 法先に割石堤を設けた場合(ケースⅥ-3)の断面の変化

図一 2 5 の上方は、法先に割石堤を設けた場合の断面の時間的変化を示す。根固工自体の欠壊、沈下は波の作用 5 時間迄、わずかに沈下があるのみである。一方、沖浜の 10 分後に堤体から 10.6 cm 附近に出来た頂高 6.2 cm の沿岸砂州は 120 分に至り、その頂高を増し 9.6 cm となった。300 分後には岸向きに移動し 8.3 cm のとこ

ろに、頂高 5.8 cm となった。沿岸砂州のトラフの岸側斜面は根固工法先につづいている。したがって、トラフの水深の増加は、根固工法先の水深の増加を意味する。しかし、写真一 2 に示されるように、この根固工法先の水深増加部分を先端に設けた割石堤がうずめて、上部のテトラの崩壊を小さくしていることがわかる。従って、この場合のテトラポットのすべり出し、沈下は他と比較して小さかった。

b 法先に固定ブロックを用いた場合(ケースⅥ-4)の断面の変化

図一 2 5 の中央は、法先に固定ブロックを設けた場合の断面の時間的変化を示す。法先に固定ブロックを設けたこのケースでは、180 分迄根固工自体の沈下はなく、砕波による根固工法先の洗掘が見られる。しかし、200



図一 2 4 根固工の洗掘深さの時間的変化  
および区分断面毎の浜の平均深さ

分後根固工が急激に 5 cm 程陥没した。これに伴い堤体脚部の洗掘が起り、120 分では 0 であった洗掘量が 300 分では 8.0 cm と急激に増加した。この急激な洗掘が起った原因は次のように考えられる。根固工法先の固定ブロックの基礎は水路床に固定してある。従って、固定ブロックの基礎が洗掘されても固定ブロックは下らない。このため、固定ブロックの基礎の砂が冲向きに吸出されるまでは、根固めのテトラは移動しない。しかし、基礎の砂が或程度まで吸出されたとき、固定ブロックを越波した波の戻り流れが急に固定ブロックの下を流れ出し、同時に根固工の基礎の砂を冲向きに流れ出すためと思われる。一方、沖浜の沿岸砂州は堤体から 100 m 附近に頂高 4.0 cm となり、10 分後に形成された。その後 120 分になって 8.0 cm となるが、その後急激な欠壊が起ると同時に消失した。この場合のトラフは根固工法先につづいている。

c 法先にテトラポットの転落防止杭を設けた場合 (ケース VI-5) の断面の変化

図一 2 5 の中央は、根固工法先にテトラの前面転落を防止する目的で杭を打った場合の断面の時間的変化を示す。この場合も根固工は法先崩壊によって天端が下がっている。これは前述の図に示すように防止杭の間隙から、根固工法先部分下の砂が冲向きに吸出され、そこへテトラがくずれた為である。これを写真一 3 に示す。また、沖浜附近の頂高 2.8 cm の沿岸砂州は 120 分後頂高 6.8 cm に発達するが、この後沿岸砂州の頂部が消失し、トラフ部分の水深が増加する様相を示した。300 分後には、堤体から 58 cm のところに頂高 5.7 cm となり、トラフの水深が 16.2 cm に達し根固工の法先につづいている。

d 法先に上下動のみ許す構造にしたブロックを設置した場合 (ケース VII-6) の断面の変化

図一 2 5 の下方は、根固工法先に上下動のみ許す構造にしたブロックを設置した場合の断面の時間的変化を示す。法先に設置されたブロックは、底面の沈下に伴いブロックも沈下できる構造である。波の作用に伴い根固工上部のテトラポットの沈下が見られるが、これは根固工自体の割石およびブロック間のかみあわせによる体積の減少にもよるが、それよりブロックの沈下に伴って、テトラポットがブロックの近くに移動したためである。ブロックの天端高は 10 分後 0.7 cm、120 分では 3.5 cm、300 分では 5 cm 沈下している。一方、沖浜の沿岸砂州は 110 cm 附近ではほぼ移動せず 300 分に至っている。しかし、砂州の頂高は時間と共に発達し、10 分で 5.0 cm、120 分で 6 cm、300 分で 9.3 cm と急激に発達している。このトラフはすぐ根固工法先につづいており、300 分でのトラフの水深は 16.3 cm であった。

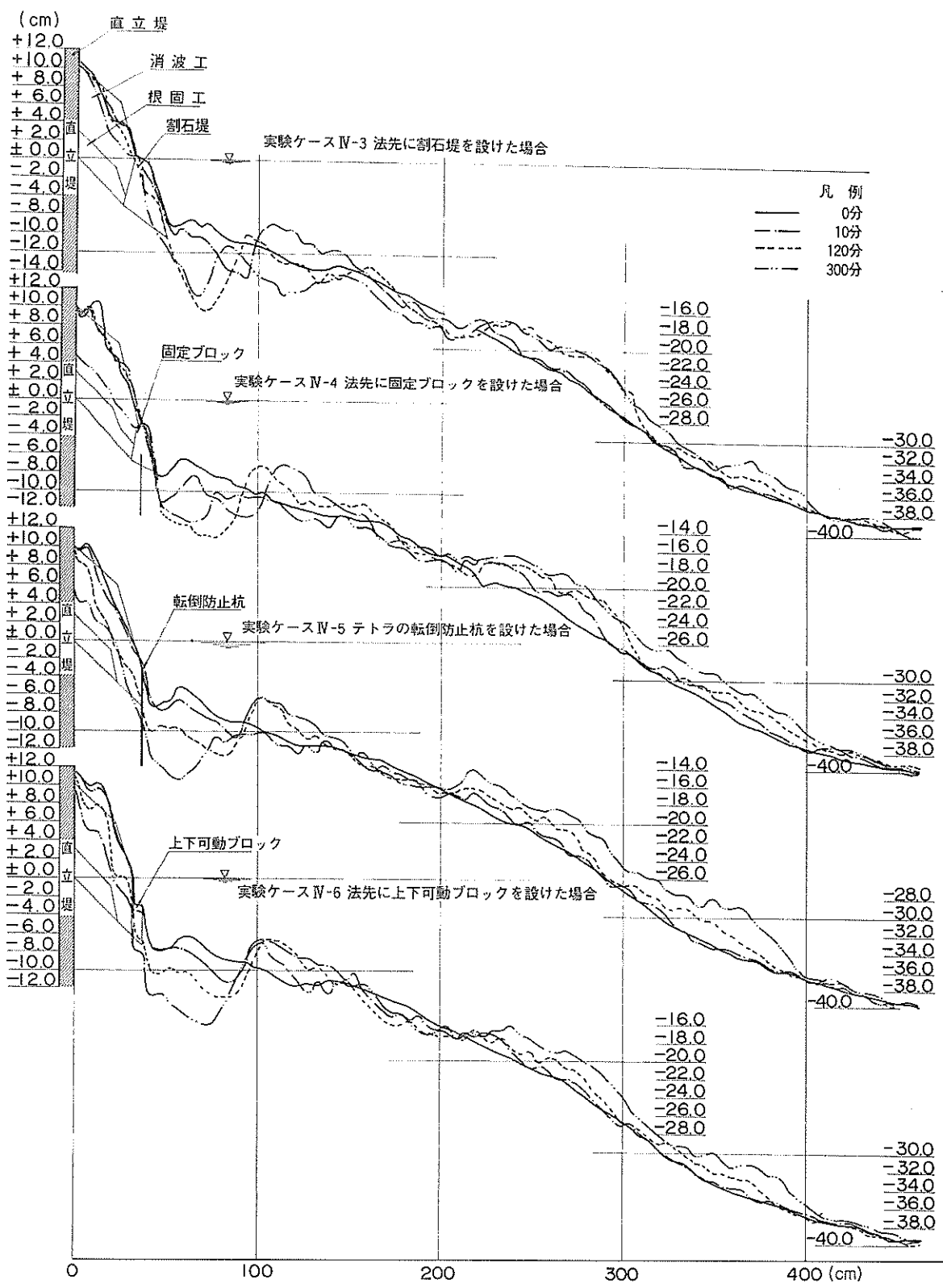
### (3) 根固工法先崩壊対策工の効果

a 堤体脚部の洗掘深さの時間的変化

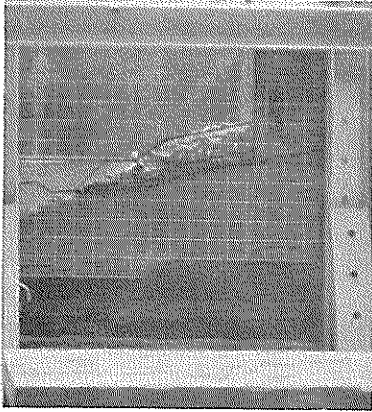
図一 2 4 の上は、法先に固定ブロックを設置したケース 4 の脚部洗掘深さの時間的変化を示す。すなわち、法先に固定ブロックを設置した場合が反って洗掘を促進した事になった。120 分後の急激な変化は 300 分まで続き、最終洗掘深さは 8.0 cm となった。この原因は前述の 6.2.2 の断面の変化で述べてあるので省略する。一方、他のケースでは、堤脚部洗掘は図一 2 3 に示したように全くなかった。

b 区分断面毎の土量の変化

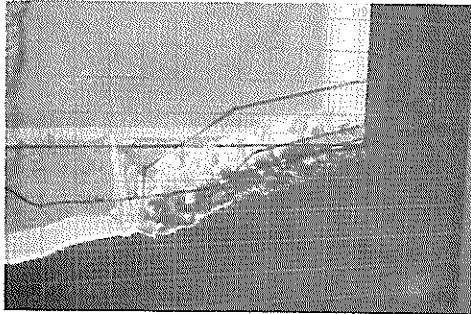
図一 2 4 の下は、各区分断面毎の土量の変化を示す。区分 I の根固工自体の欠壊は、ケース 3 の法先に割石堤を設けた場合が、他のケースより 2.5 cm 以上小さい。また、根固工法先に相当するトラフ部分の欠壊も他のケー



図一25 根固工法先崩壊防止対策に関する断面の変化



写真一 2 根固工法先に割石堤を設けたときの最終断面



写真一 3 根固工法先にテトラポットの転倒防止杭を設けた時の最終断面

スに対して小さい。ケース4,5,6に於いて、ケース4の断面区分Ⅲの平均欠壊深さが、他のケースより1.4cm小さい。しかし、それを除くとケース4,5,6共ほぼ同じ程度の欠壊を示し、法先崩壊の対策効果は全くなかった。むしろ、欠壊の程度がわずかであるが大きくなっている。

## 7. 根固工と離岸堤の組合せによる洗掘防止に関する実験

これまで述べて来たように、消波工および離岸堤のみによっては、完全に直立堤の堤脚部洗掘を防ぐことが出来ないことがわかった。また、基礎フィルターを用いた根固工によっては、堤脚部の洗掘はほとんど起らなかったが、根固工法先の洗掘によって、根固工上部のテトラの崩壊が多かれ少なかれ見られた。このテトラの崩壊は放置しておけば遂には堤脚部の洗掘を招くことになることは十分予想される。そこで、この様な根固工の崩壊を防ぎ、堤脚部洗掘を完全に防ぐ目的で、根固工と離岸堤の組合せによる効果を調べた。

### 7-1 実験の種類

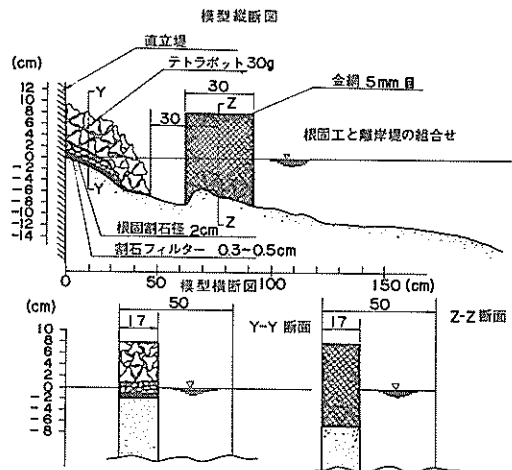
#### (1) 実験条件

作用波の諸元は2.2.3で述べた通りである。模型の縦横断面を図一26に示す。根固工の断面は前述した6の根固工ケースⅦ-1を用いた。また、離岸堤の断面は前述した5の離岸堤ケースⅤ-2を用いた。離岸堤の設置位置は根固工法先から $X=30\text{cm}$ とした。

#### (2) 実験の種類を表一8に示す。

### 7-2 断面の変化

図一27は、根固工と離岸堤を組合せた場合の断面の時間的变化を示す。波の作用10分以後、離岸堤内側に砂の堆積が見られた。120分後には4.8cmとなり、そのままの状態300分に至った。一方、離岸堤の沖側には波の砕波により沿岸砂州が形成され、次第に岸向き



図一 26 根固工と離岸堤の組合せ工法の模型縦横断面図

表-8

項目 実験 ケース	根固工の諸元			離岸堤の諸元			備考
	第1層 フィルター	第2層 フィルター	消波工 ブロック	幅 (cm)	高 (cm)	根固工法先から離岸堤中心までの距離	
Ⅶ-1	粒径 0.3~0.5% 割石	粒径 2cm 割石	30g/個 テトラポット	30cm	静水面上 +8cm	30cm	

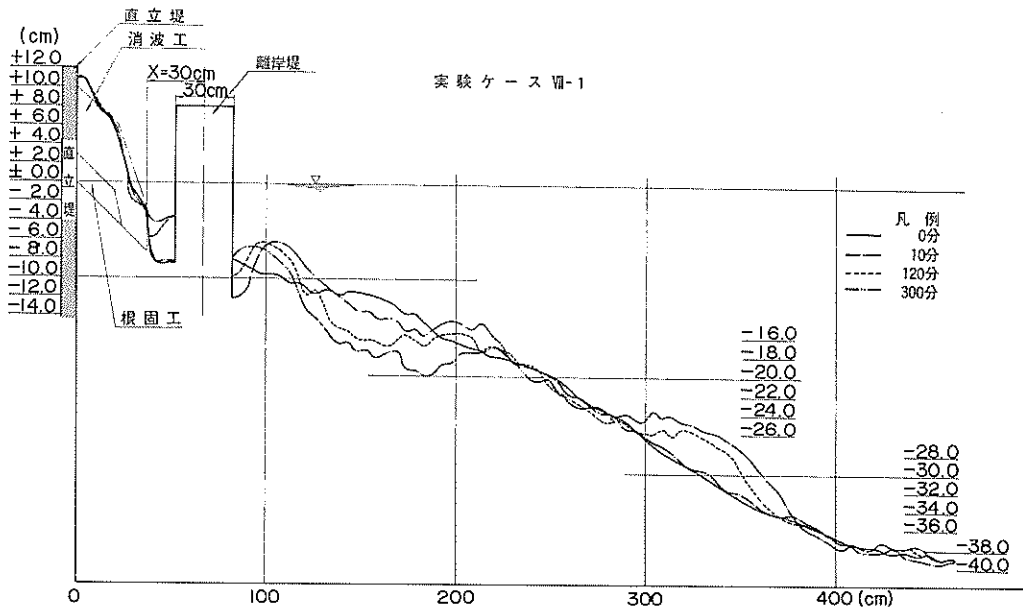


図-27 根固工と離岸堤の組合せ工法の断面の変化

に移動した。この砂州は10分後堤体から104cm附近に6.5cmとなるが、120分後には97cm附近に3.7cmとなり、次第に小さくなり300分後には92cm附近に1.8cmとなった。離岸堤沖側脚部はトラフに相当するが、砂州の岸側移動に伴い埋戻しが働いた。そして、離岸堤と根固工の間は堆積の様相を示した。もちろん、根固工の上部テトラの崩壊は全くなかった。

### 7-3 根固工と離岸堤を組合せた時の効果

(1) 堤体脚部の洗掘深さの変化  
堤体脚部および根固工法先の崩壊は全くなかった。

(2) 区分断面毎の土量の変化

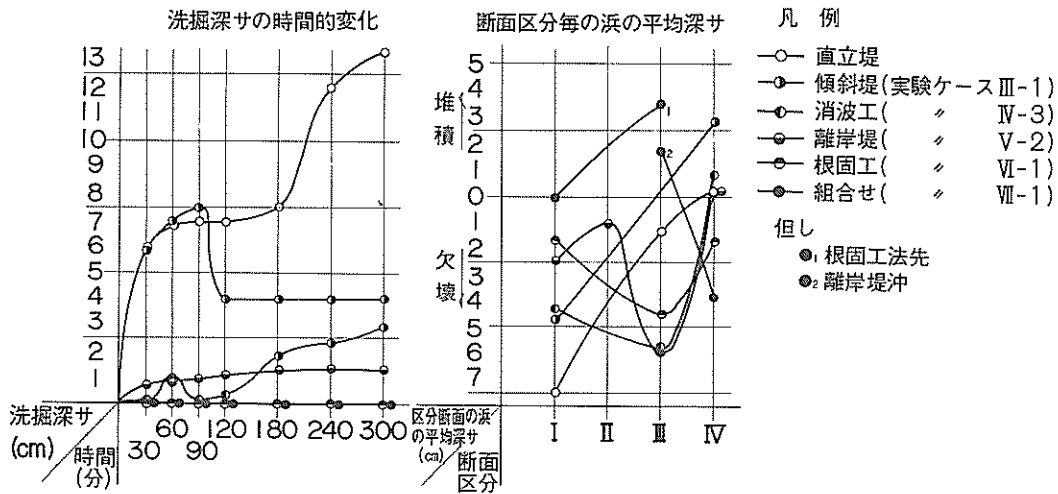
図-28中に、区分断面毎の土量の変化を示す。根固工自体の崩壊は全くなかった。根固工法先に当る離岸堤

との間には3.5cmの砂の堆積があった。同様に離岸堤の沖の区分Ⅱにも2cmの堆積があった。しかし、断面の区分Ⅵに当る土量は、他の離岸堤のどのケースより欠損が大きく、その平均深さは4cmに達した。

## 8. 考察

### 8-1 傾斜法面と階段法面について

前述した3.2および3.3から次のようなことがわかる。直立式護岸から傾斜式および階段式にしたことによる洗掘防止効果は大きい。更に、傾斜式と階段式を比較すると、堤体の安全上最も重要である最大洗掘深さでは、1cm程度階段堤が小さく有利である。しかし、両ケースの最終洗掘に至る過程と、土量の区分断面毎の平均深さで



図一 2 8 各工法の洗掘の時間的变化および区分断面毎の浜の平均深さ

は、傾斜堤が階段堤よりわずかに有利である。このことから、傾斜法面から階段法面にしたことによる洗掘防止効果は見られない。両ケースが直立堤より洗掘防止効果があったのは、護岸が傾斜したことによる効果である。堤体が傾斜することにより、洗掘防止効果が大きくなることはすでに明らかにされている。

### 8-2 消波工について

前述した 4.2 および 4.3 から、直立堤前面に消波工を設置することで、洗掘深さは直立堤のときの  $\frac{1}{2}$  以下となり、洗掘防止効果は大きい。更に、幅について見ると、20 cm のときより 30 cm になると効果が著るしく表われ、40 cm になると尚効果があがった。消波工を設置したための洗掘の過程は、沖浜の欠壊が進行し堤体脚部に影響を及ぼす B 型洗掘である。これは土量の変化に良く表われているように、堤体附近の欠壊平均水深が大きい程、堤体脚部の洗掘も大きくなっている。消波工の幅が狭いと打上げ波に対する消波効果が小さい。そして、その波が消波工基礎の底質の攪乱を激しくし、堤体脚部の洗掘を助長する場合がある。したがって、本実験に於いて幅 30 cm から効果が著るしく表われたことから、消波工の幅は少なくとも沖波波長の  $\frac{1}{2}$  以上にしなければならない。

### 8-3 離岸堤について

#### (1) 設置位置に関して

堤体脚部の洗掘深さについては、脚部から或程度離れば離岸堤の位置が汀線に近い程効果があり、 $X=30$  cm で、沖波波長の  $\frac{1}{2}$  程度の位置で特に著るしい。しかし、 $X=60$  cm、 $X=90$  cm のときでも洗掘深さは直立堤のときの  $\frac{1}{2}$  以下で小さかった。この両ケースの区分断面毎の浜の平均深さで、区分Ⅰの堤体から離岸堤の間に砂が堆積している。しかも、 $X=90$  cm の場合、区分Ⅱの離岸堤の基礎、および沖側にも砂が堆積している。このことから、 $X=90$  cm つまり沖波波長の  $\frac{1}{2}$  程度の位置にすると、浜の堆積土量が大きく、海岸保全上有利である。

#### (2) 幅に関して

堤体脚部の洗掘深さでは、幅 30 cm の場合が他のケースより小さく  $\frac{1}{2}$  以下となっている。また、区分断面毎の土量の変化の区分Ⅰ・Ⅱでは、幅 25 cm と 30 cm の場合が他のケースより欠壊が小さく  $\frac{1}{2}$  以下となっている。このことから幅が 30 cm になるとその効果が著るしく表われている。これは、離岸堤を透過する波の量が、幅が広くなることにより小さくなるための効果である。したがって、離岸堤の幅は 30 cm 以上、すなわち、沖波波長の  $\frac{1}{2}$  以上とするのがぞましい。

#### (3) 高さに関して

高さが +4 cm 以上になると効果が大きく、特に 8 cm での効果は著るしい。高さが静水面以下では、洗掘防止効果が著るしく減小する。沖波波高の  $\frac{1}{3}$  の高さを静水面上に持つ天端高  $h_c = 8$  cm の離岸堤は、波の越波がなく、

しかも消波効果も大きい。また、沖波波高の $\frac{1}{2}$ である  $h_c = 4$  cm の場合は、離岸堤を越波する量が大きく、 $h_c = 8$  cm より効果は小さい。更に、沖波波高の $\frac{1}{2}$ に当る  $h_c = 2$  cm の場合は  $h_c = 4$  cm に比べ離岸堤を越波する量も大きく、洗掘防止効果は著しく減じた。離岸堤附近の水深は、この実験では沖波波高より小さかったので、離岸堤に作用する波の高さは、水深によって制限されたと考えられる。したがって水深との関係で有効な離岸堤の高さを表わすと、高さは+4 cm は離岸堤沖側の水深 $\frac{1}{2}$ の高さに相当し、この高さ以上を静水面上にとる必要があるように思われる。

#### (4) まとめ

離岸堤の洗掘防止効果を大きくするためには、離岸堤を透過又は越波して堤体に達する波のエネルギーを小さくすることである。しかし、消波工の場合に見られるように堤体に直接設置することは、底質の攪乱を助長することから、前述の如く沖波波長の $\frac{1}{2}$ 以上は離す必要がある。幅については、離岸堤の幅が広い程消波効果および反射が大きくなり、波の透過量は小さくなる。本実験の場合、沖波波長の $\frac{1}{2}$ の幅 30 cm になると効果が著しく大きくなった。高さについては、波の越波量の多小による効果が主で、静水面上設置水深の $\frac{1}{2}$ に相当する 4 cm にした場合効果が急に増し、静水面上 8 cm、つまり越波を許さない高さに於いて効果は著しい。これらのことから離岸堤は出来るだけ砕波点より岸側に設置し、幅を増加するよりも、越波を許さない高さとする方が有利である。

#### 8-4 根固工について

堤体脚部の洗掘は全くなく、その効果はきわめて大きい。更に第一層フィルター材料による効果を比較すると、割石の場合もプラスチックシートの場合も、ほぼ同じ程度である。しかし、いずれのケースも根固工法先の崩壊が激しかったので、それを防ぐために二・三の工法を行った。この中で、法先に固定ブロックを設置すると、反って崩壊が大きくなることがわかった。法先に割石堤を設置したケースが比較的効果があった。これは、法先の洗掘された断面に割石が落ち込み、テトラポットの崩壊を小さくしたためである。一般に、根固工の設置は堤脚部の洗掘は全くなく、効果はきわめて大きかった。しかし、法先の崩壊は防止出来なかった。

#### 8-5 根固工と離岸堤の組合せについて

前述の如く、傾斜堤、階段堤、消波工および種々の離岸堤について洗掘防止効果を調べた。この結果、直立堤

の場合よりはるかに洗掘防止効果はあったが、これらのいずれのケースも洗掘を完全に防止出来なかった。次に根固工の洗掘防止効果を調べた結果、堤体脚部の洗掘は完全に防止出来た。しかし、根固工法先の崩壊が大きく、崩壊の進行については堤体脚部に及ぶと見られた。したがって、根固工法先の崩壊防止のため、根固工先端から  $X = 30$  cm の位置に幅 30 cm の離岸堤を設け、その効果を調べた。その結果、根固工法先の崩壊は完全に防止できた。むしろ区分断面毎の土量の変化に示された様に、離岸堤との間に当る根固工法先には平均 3.5 cm の砂が堆積した。これは、打上げ波が離岸堤を透過する際、相当のエネルギーを失って根固工に達する。この波も根固工上部の消波用テトラポットにより完全に消波される。このため離岸堤を透過すると、波により離岸堤内に運ばれた砂は、離岸堤内に透過した波の戻り流れがきわめて小さいため、堤内の砂を堤外に運び出すには至らない。したがって、わずかずつではあるが始めから堤内には砂の堆積が行われ、300分では平均 3.5 cm にもなったものである。また、離岸堤の沖側にも砂が堆積し、洗掘防止および海岸保全の面からも、大きな効果が見られた。なお、実験での根固工と離岸堤などの配置の沖波波高に対する相対位置を示したのが図-29である。

#### 8-6 各工法の比較

前述した各工法を比較するため、夫々の工法の中で最も効果のあったケースを挙げ、堤体脚部の洗掘深さ、土量の変化について検討する。

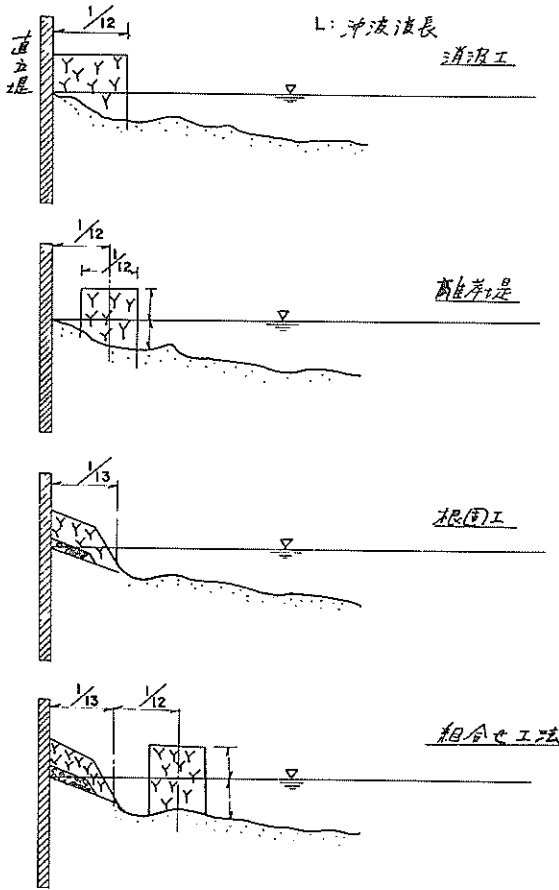
##### (1) 洗掘深さの時間的变化

図-28の右は、各工法の洗掘深さの時間的变化を示す。最終洗掘深さは 4.0 cm である傾斜堤は、堤体の安全上考慮しなければならない最大洗掘深さが 7.5 cm であり、他の工法の2倍以上である。したがって、他の工法と比較すると効果は特に小さい。また、消波工の場合、最終洗掘に至る過程を考えると、洗掘深さは尚増加する様相を呈している。離岸堤の場合、最終洗掘に至る2時間前から 1.3 cm の深さで平衡状態となり、前に述べた傾斜堤、消波工の各工法より効果は著しい。しかし、根固工、および根固工と離岸堤を組合せた工法のと看、堤体脚部の洗掘は完全に防止出来、離岸堤のみの場合より効果があった。

##### (2) 土量の変化

図-28の左は、各工法の区分断面毎の浜の平均欠損深さを示す。堤体前面に相当する区分 I の平均深さは、堤体脚部の洗掘深さの大きい程、大きくなっている。ただし、根固工は、それ自体の崩壊の程度を表わしている。





図一 2 9 各工法の堤体と沖波波長との関係

したがって、法先崩壊の著しい根固工の場合、欠壊の平均深さは 1.7 cm となった。また、トラフに相当する区分Ⅱでも欠壊は著しいが、組合せ工法のみ堆積を示した。特に根固工法先のⅡ<sub>1</sub>の堆積は大きく、離岸堤の沖側Ⅱ<sub>2</sub>にも同様に堆積した。沿岸砂州から沖の砂堆までの区分Ⅳには、根固工、組合せ工法の外は堆積した。特にこの区分での組合せ工法の欠壊が大きい。しかし、区分Ⅳは沖浜に相当するからこれを除き、海岸の保全上最も重要な区分Ⅱまでについて各工法を比較すると、組合せ工法以外は欠壊量の多寡はあるが、すべて欠壊である。また、根固工は、傾斜堤、消波工、および離岸堤の工法より欠壊量が小さいが、区分Ⅰ・Ⅱ・Ⅲとも堆積してい

る根固工と離岸堤の組合せ工法が、他の工法より特に有利である。

## 9. 結 論

まず実験を始めるに当り、実験条件として次のことを行った。初期勾配 $1/6$ の模型断面に沖波相当波工 6 cm、周期 1.5 2 sec. の波を 15 時間作用させ、平衡勾配の断面を作った。この正常海浜に暴風海浜の波を作用させた時の欠壊の状況を調べた。この時、暴風海浜に相当する波は、沖波波高 1 2 cm、周期 1.5 2 sec、波形勾配 0.0 33 を用いた。この結果浜は大きく欠壊された。したがって、本実験ではこの波による海浜の欠壊を防止する目的から、初期断面の汀線に直立壁を設置し波を作用させた。この結果、堤体脚部に大きな洗掘が起り、堤体の維持に重大な影響を与えた。そこで、この堤体脚部の洗掘を防止する工法を実験的に試みた。実験のまず初めは、最近海水浴場等の海岸護岸に用いられる、階段法面を持つ護岸の洗掘防止効果を、それと同じ傾きをもつ、傾斜式護岸と比較した。その結果、堤体脚部の洗掘量、沖浜までの土量の変化を比較して、特に階段法面としたための効果は見とめられなかった。階段式法面と傾斜法面を持つ護岸が、直立堤より堤体脚部の洗掘量が小さかったのは、護岸の傾斜による効果である。この傾斜による効果に関しては既に明らかなように、傾斜角がゆるやかになると洗掘防止効果が大きい。そして、その傾斜が 3 0 度に到ると堤脚部には、初めから砂が堆積する第 V の洗掘の型（図一 4）を示す場合もある。次に直立堤前面にテトラポットを用いた消波工を設置し、その幅による効果を調べた。堤体脚部の洗掘は、その幅が 2 0 cm、3 0 cm、および 4 0 cm と広くなる程、その効果が顕著に見られた。消波工を設置したことによる浜の欠壊の型は、沖浜の欠壊が進行して脚部までおよび洗掘が起る B 型である。これは、幅が広くなる程消波工に打上げた波が、テトラポットの中を通り堤体に達する間に、波のエネルギーを分散、減衰させる。したがって、堤体に達する波は相当のエネルギーを失い、堤体脚部の底質を移動する量が小さい。しかし、消波工の幅が 2 0 cm の場合、その洗掘量が消波工のないときより、時間的に大きくなるときもあった。これは消波工の幅が十分に広くないため、堤体前面に設置したテトラポットによる波のエネルギーの分散は、反ってテトラポット基礎の底質の攪乱を招き、堤体附近の洗掘を促進する恐れがある。このことから、消波工の幅は沖波波長の $1/6$ 以上にするとう効果が大きくなる。次に離岸堤による洗掘防止効果を調べた。まず天端幅が 3 0

cmの離岸堤の設置位置による効果を調べた。この結果、離岸堤の位置が遠くなる程、その効果が減小し、洗掘量が増加した。これは、沖に離岸堤を出す程砕波点に近くなり、 $X=90$  cmの場合、巻波砕波の一部が直接離岸堤に当たる。このため離岸堤を透過する波のエネルギーが大きく、波は乱れながら堤体に達する。一方、 $X=30$  cmの場合、波は沖で砕波し、相当のエネルギーを失った波が、海底の摩擦の影響を受けてエネルギーを失い、離岸堤を透過するときは波のエネルギーはきわめて小さくなる。これから、離岸堤の設置位置は波の砕波点より岸側に設け、出来るだけ汀線に近ざると効果が大きい。しかし、海浜断面の土量の変化から見ると、 $X=90$  cm ( $X/L_0=3/10$ )  $X=60$  cm ( $X/L_0=2/10$ ) のとき、離岸堤から岸側には砂の堆積が起った。特に $X=90$  cmのときは、離岸堤の沖側にも砂の堆積が起った。海岸の保全という面から考えるとこれは重要な意味を持つ。次に、離岸堤の高さの効果を調べた。この結果、離岸堤の高さが増す程効果が大きく、離岸堤の静水面上の高さが、設置水深の $1/2$ 以上になったとき、その効果が顕著にあらわれた。また、高さが静水面と同じか、静水面以下ではその効果は十分でない。高さの効果は、打上げ波の越波をどの程度防止できるかによるものである。故に、離岸堤の天端が高い程その効果は大きい。

離岸堤の高さは沖波波高にも関連するが、設置が砕波帯内では設置水深に密接な関係がある。次に幅による効果を調べた。この場合、幅が広がる程離岸堤の反射が大きくなること、且つ、消波効果が大きくなるため、波の透過量が小さくなるためである。この実験では幅 $30$  cm、すなわち、沖波波長の $1/2$ 以上にすると顕著である。

次に根固工の洗掘防止効果を調べた。この結果、洗掘防止効果はきわめて高く、法先に基礎杭で沈下を防止した固定ブロックを設置したケース4を除き、洗掘は全くなかった。基礎フィルターに割石とプラスチックシートを用いた場合、わずかに割石フィルター層の場合が有利であった。ケース4で法先に固定ブロックを設置することは、打上げ波で根固工内に達した波の戻り流れの障害となる。その後ブロックの間に戻り流れを生ずると、根固工底部の洗掘が急激に行われた。このことから、根固工法先に固定ブロックを設置することは、反って洗掘および根固工自体の破壊を促進する結果となる。また、法先の崩壊が激しかったので、この対策工法を二・三試みた。この結果、法先に割石堤を設けたとき、他のケースに比べわずかに効果が見られたが、この場合も崩壊を防止する迄には至らなかった。法先に割石を設けた場合に効果があったのは、法先の欠壊断面に割石が崩れ落ち、

トラフの欠壊を小さくしたためである。これらのことから、根固工法先の崩壊防止としては、根固工法先砂面の変動に適応性の大きいもので、波によって直接散乱しないもの、つまり、固定より可動であること、且つ、可動を促進するために1ケの重量が或程度まで小さいブロックを用いると良い。また、根固工は先端部分がくずれても、その影響が堤体まで達しない程度まで巾を広くとらねばならない。

前述の通り、洗掘防止対策工法を実験した。その結果、傾斜堤、消波工、離岸堤等は直立堤に比べ、洗掘防止効果は大きかった。しかし、洗掘を完全に防止するには至らなかった。次の根固工では、堤体脚部の洗掘は完全に防止出来たが、法先の崩壊が激しかった。この法先崩壊の対策工法を防止し、且つ、根固工法先の崩壊を防止する目的で、根固工と離岸堤の組合せによる実験を行った。この結果、堤体脚部の洗掘及び根固工法先の崩壊は完全に防止できた。むしろ、根固工法先には堆積が起り、離岸堤の沖側にも砂が堆積した。このことは海岸保全という面から考えても、きわめて効果が大きい。しかし、前述した通り、根固工と離岸堤の組合せであるので、工費が高く、必ずしも有利とは言えないが、海岸浸食の激しいところで用いると効果が大きい。

以上、本実験は断面実験であり、平面の効果、すなわち、波向き、沿岸流の効果が入っていない。したがって、現実には浜の欠壊はもっと大きくなるものと考えられるが、各工法の定性的効果はこの結果から判る。この様に、一つの特性を持つ波に対する各工法の効果を調べたことで、現場で海岸浸食防止工法の採用、設計する際の1つの指針を与えるものと思う。なお、実験は底質の移動に関して、現地との普遍的相似法則がなりたたず、1種類の波についての実験であり、波の条件を変えた場合の効果、また、洗掘防止効果に関する更に詳細な水理学的解析、定量的解析は今後の研究に待ちたい。しかし、現地の欠壊性の海岸において、海岸堤防や護岸前面に十分な幅を持たずに消波工を設けた場合、堤防脚部の洗掘は防止できず反って助長されることもあり、消波工の沈下が激しいこと、また根固工などの場合一般に、その法先から沈下して行く傾向があること、堤防の前面に十分な根固工や前浜もない場合に離岸堤をその前面に設置しても、離岸堤内に十分な砂の堆積が得られないこと、などは現地でしばしば見聞することであり、この実験が現地の定性的特性を相当よく再現し得たものと思われる。

なお、この実験は2次元実験であり沿岸流の効果は水路側壁によって阻止していることになるので、現地で離

岸堤を設ける場合には、この沿岸流を阻止するために、不透過突堤を設けると附近の汀線を欠壞することなしに

本実験におけるような効果が明瞭に表われる筈である。

### 参 考 文 献

- (1) Masashi Homma and Kiyoshi Horikawa : A study of submerged breakwaters, Coastal Engineering in Japan, Vol. 4 1961
- (2) 富永正照・坂本忠彦：海岸堤防の根固工について，第16回海岸工学講演集，土木学会，1969年12月，PP269~276
- (3) 豊島修：離岸堤の統計的考察，第17回海岸工学講演集，土木学会，1970年12月，PP323~330
- (4) 新潟県土木部：新潟海岸の欠濱について，昭和35年3月
- (5) 佐藤昭二・田中則男・入江功：海岸構造物の堤脚部洗掘に関する研究（第1報）—直立壁堤脚部の波による二次元的洗掘実験—，港湾技術研究所報告，Vol. 5, No. 11
- (6) Shoji Sato, Norio Tanaka and Isao Irie : Study on scouring at the foot of coastal structures, Coastal Eng. in Japan, Vol. 12, 1969, PP83~98
- (7) 佐藤昭二・田中則男・浅川昭：重複波による防波堤脚部の洗掘実験，第4回港研発表会講演概要1966年
- (8) 入江功・杉山茂信・浅川昭：洗掘防止へのプラスチックフィルターの利用について，第5回港研発表会講演概要，1967年

( 附 録 ) 傾斜堤の法先洗掘

1. 実験施設と実験方法

実験施設および方法は、前述した本文の洗掘防止工法に関する実験と同様である。

2. 実験条件と実験の種類

実験に用いた波と底質の諸元を表一A. 1に示し、実験の種類を表一A. 2に示す。ただし、図一A. 2の傾斜角は図一A. 1の上に示す如く、水平面からの角度を表わす。

表一A. 1

平 諸元 衡勾配	$H_o/L_o$	$H_o$ (cm)	$T$ (sec)	$d$ (mm)	$dm/H_o$	$H_o/dm$	備 考
正常海浜	0.0062	8.7	3.0	0.38	0.0044	$2.3 \times 10^2$	
暴風海浜	0.033	8.7	1.3	0.38	0.0044	$2.3 \times 10^2$	

表一A. 2

正 常 海 浜			暴 風 海 浜		
実験 項目 ケース	$X/X_b$	傾 斜 角	実験 項目 ケース	$X/X_b$	傾 斜 角
ケースⅠ	0	30°	ケースⅠ	0	30°
		45°			60°
		60°			90°
		90°			30°
ケースⅡ	0.37	30°	ケースⅡ	0.40	60°
		45°			90°
		60°			30°
		90°			60°
ケースⅢ	0.64	30°	ケースⅢ	0.76	90°
		45°			30°
		60°			60°
		90°			90°
			ケースⅣ	0.96	30°
					60°
					90°
					30°
			ケースⅤ	1.10	60°
					90°
					30°

3. 実験の結果

3-1 正常海浜における洗掘

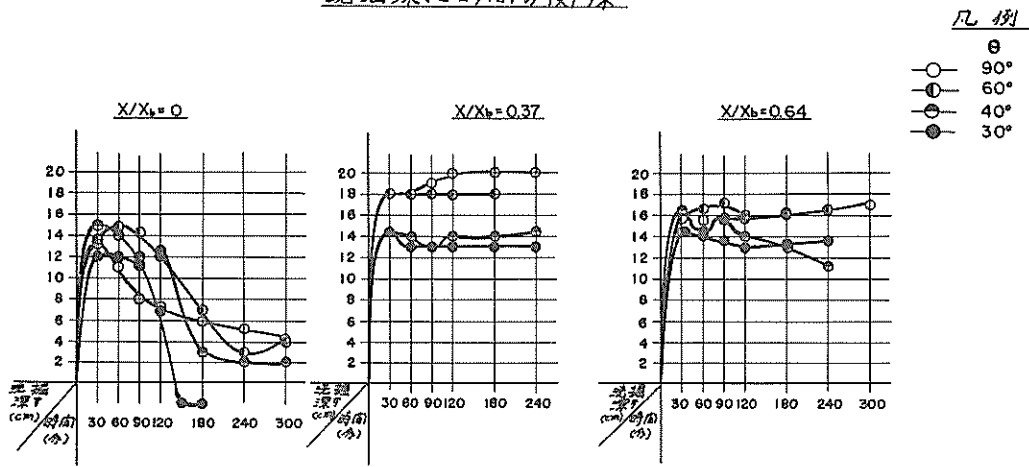
(1) 洗掘深さと時間の関係

図一A. 1は、 $X/X_b = 0 \cdot 0.37$ および $0.64$ の場合の、洗掘深さと時間の関係を示す。 $X/X_b = 0$ のときは、傾斜角に関係なく本文2.2.2.bに示した、I型の洗掘である。中でも角度が30°のとき堤脚部への埋戻し量は、角度の大きい場合より特に大きかった。また、 $X/X_b = 0.37$ のとき、 $X/X_b = 0$ と同様に傾斜角に関係なくII型を示した。このとき、ほぼ平衡状態に達した洗掘深さは90°と60°、または45°と30°はそれぞれ

ほぼ同じ程度であり、角度の小さい45°と30°の方が洗掘が小さい。特に、最終洗掘は30°のときが90°より7cm小さい。つぎに、 $X/X_b = 0.67$ のとき、30°のI型の洗掘を除き他の角度ではII型の洗掘である。これら3つのケースについての共通性は、初期状態の洗掘深さはいずれも14cm前後である。また、 $X/X_b = 0$ および $X/X_b = 0.37$ の場合、角度を90°から30°になったことによる洗掘深さの変化は見られるが、 $X/X_b = 0.67$ の場合、堤体が傾斜したことによる変化はほとんど見られない。

(2) 浜形状に沿う最大洗掘と最終洗掘

洗掘深と時間の関係



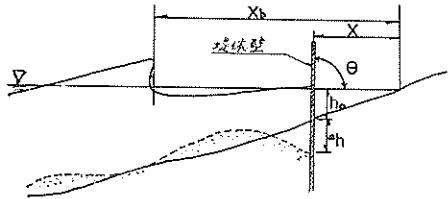
図一A. 1 正常海浜での洗掘深さと時間の関係

図一A. 2は、浜形状に沿う最大洗掘と最終洗掘を示す。いずれも沖波波高との関係で表わし、図中のギリシヤ文字は前述した各ケースの洗掘の型を示したものである。図の上側は、洗掘深さと法面傾斜角との関係を示したもので、各ケース共角度が小さくなったことによる最大洗掘の変化はわずかである。同じように最終洗掘での変化は、 $X/X_b = 0$  および  $X/X_b = 0.37$  のときわずかに見られるが、 $X/X_b = 0.64$  ではほとんど見られない。また、図の下側は浜形状に沿う最大洗掘と最終洗掘を示したもので、最終洗掘は  $X/X_b = 0$  でわずかに小さいが、3ケース共大きな違いはない。最終洗掘は埋戻しの大きかった  $X/X_b = 0$  を除いて、 $X/X_b = 0.37$  および  $X/X_b = 0.64$  の場合はほとんど同じであった。 $X/X_b = 0$  の埋戻しの大きかったのは前浜領域に堤体を設置することにより波の反射が急激に増し、無堤時と比べて全体としての離岸流は増加するが、その流速分布は無堤時と比較して表面に集中するので、底に沿う戻り流れが小さくなる。このため汀線近くではある程度洗掘された後埋戻しが起る。しかし、堤体が沖に出る程前面の水深が深くなり、波も重複波の要素を持ってくるため、洗掘形状は重複波に対する平衡断面に近づいて行くので、埋戻しは行われにくい。

以上の正常海浜における実験の結果、堤脚部洗掘に対する傾斜角の効果は、沖浜部をのぞいてわずかにみとめられる。

3-2 暴風海浜における洗掘

図一A. 3は、図一A. 2と同様に  $X/X_b = 0, 0.4, 0.76, 0.96, 1.10$  の浜形状に於て最大洗掘と最終洗掘を示した。図の上側は、洗掘深さと法面傾斜角との関係を示す。 $X/X_b = 0$  では、角度によらず洗掘はⅠ型で埋戻しが大きい。角度が大きくなると洗掘も大きくなるが埋戻しも大きく、いずれも初期断面以上に堆積した。ここでは角度による洗掘防止効果が見られる。 $X/X_b = 0.4$  では、角度が大きい90°と60°のときⅠ型の洗掘を示し、角度が小さくなるとⅡ型の性質を持った。特に60°と90°での埋戻しが大きい、角度が小さくⅡ型の性質を持つⅠ型である30°のときでも埋戻しがきわめて小さい。最終洗掘では60°と90°のとき、初期断面以上に堆積した。角度が小さい30°ではかえって洗掘が大きい。 $X/X_b = 0.76$  のとき、30°ではⅠ型、60°と90°ではⅡ型の洗掘であった。Ⅰ型の洗掘である30°とⅡ型の90°を比較すると、30°の最大洗掘は90°のときよりわずかに大きいのはほぼ同じである。しかし、90°と同じでⅡ型の洗掘である60°は、30°およ

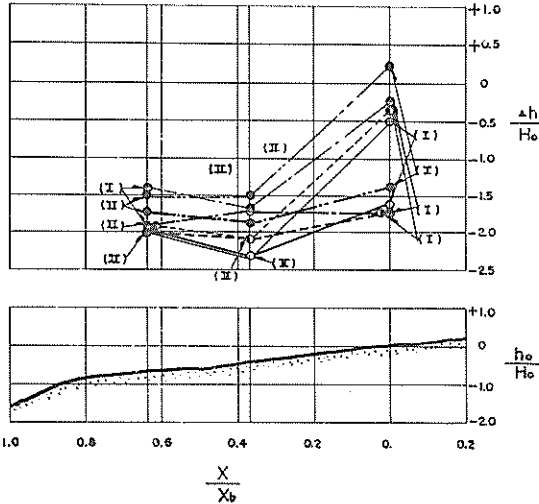
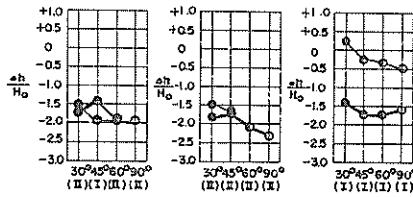


図の記号説明

- $X_b$ : 汀線から防波堤趾までの距離
- $X$ : 堤体幅
- $h_o$ : 堤体趾の設置水深
- $ah$ : 最大洗掘水深
- $\theta$ : 水平面からの海面傾角

凡例

- 最大洗掘深
- 最終洗掘深
- 90° 堤体壁
- 60°
- 45°
- 30°

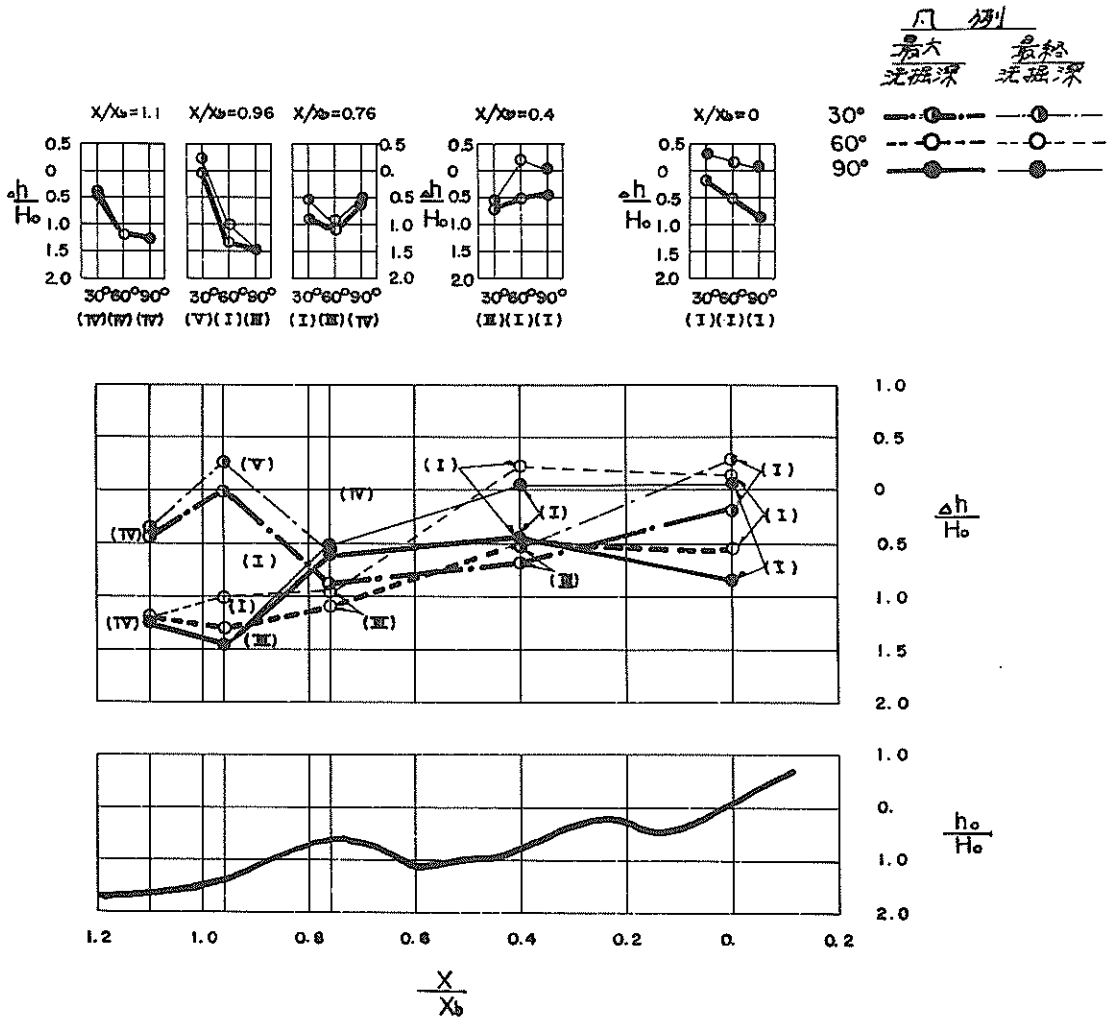


図一A. 2 正常海浜での浜に沿う洗掘深さの関係

び90°のときより洗掘は大きくなった。 $X/X_b=0.96$ での30°のとき、前述した4つの型の洗掘とは異なる初めから堆積が起る現象を示した。これをV型の洗掘と定義した。初めから堆積が起る30°は60°と比較すると角度による効果は大きい。しかし、最大洗掘では角度を90°から60°にしたことによる効果は小さい。II型の洗掘を示す90°は、他のケースに比べても最大、最終洗掘共に特に大きい。 $X/X_b=1.10$ のとき、IV型の洗掘を示す30°は60°より効果は大きい、90°から60°にしたことによる効果はほとんどない。図の下側は、浜形状に沿う最大洗掘と最終洗掘を示す。最大洗掘について見ると、角度が30°のとき $X/X_b=1.10, 0.96, 0$ での $\Delta h/H_o$ は-0.5より大きい。すなわち、沿岸砂州およびトラフを除く砕波点より沖側と、前浜の汀線附近より岸側での

角度の効果は大きい。角度が60°になると、 $X/X_b=0, 0.4$ での $\Delta h/H_o$ は-0.5程度であるが、 $X/X_b=0.76, 0.96, 1.10$ での $\Delta h/H_o$ は-1.0以下と洗掘は小さい。角度が90°のときは、沿岸砂州およびトラフに相当する外浜ではその洗掘は他のケースと同じ程度かそれより小さい。

以上の暴風海浜における実験の結果、外浜に相当する部分では角度による効果は全く見られないが、前浜附近および砕波点から沖側では堤体の傾斜による効果が顕著に見られた。しかし、 $X/X_b=0$ の汀線のときを除き、角度が90°から60°になったことによる効果は30°と比較するときわめて小さい。



図一A. 3 暴風海浜での浜に沿う洗掘深さの関係

港湾技研資料 No.117

1971・6

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 日本青写真株式会社  
東京都内神田2-5-6

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