

港湾技研資料

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

No. 326

Sept. 1979

養浜工に関する研究 (その2)

— 神戸市須磨海岸における人工海浜の安定に関する

実験およびその一般的考察 —

田 中 則 男

小 山 内 英 雄

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はしがき	3
2. 神戸市須磨海岸における人工海浜造成事業とそれに関連した調査研究	4
2.1 須磨海岸人工海浜造成事業と調査研究の経過	4
2.2 T型堤開口部離岸堤の要否に関する移動床平面実験（昭和51年度実施）	6
2.3 第二期計画における人工砂浜法止工の効果に関する二次元実験 （昭和52年度実施）	13
2.4 第二期計画案に関する平面実験（昭和53年度実施）	18
3. 人工海浜に伴う外郭施設の効果と配置	33
3.1 離岸堤	33
3.2 離岸帯堤	35
3.3 外郭施設配置において試みられた種々の工夫	38
4. 結 論	40
5. 謝 辞	41

The stability of artificail beaches; investigations
on the project of construction of the artificial beach
along Suma Coast by mobile bed model.

Norio TANAKA*

Hideo OSANAI**

Synopsis

Since 1973, a big project of construction of a new beach has been developed along Suma Coast in Kobe City facing to Osaka Bay in Japan. At many steps of the project, the arrangement and the design of structures such as detouched breakwaters, groins, sea dikes and so on were checked by physical model from view points of the stability of beach, of the water pollution in the beach and of the effects of structures for prevention of desasters. Following results of recent three experiments on the stability of beach in these investigations are reported in this paper, that is;

- 1) On the effects of detouched breakwater and other structures added to the plan of the first stage of the project for the stability of new beach.
- 2) On the effects of submerged breakwater for the stability of perched beaches planed in the second stage of the project.
- 3) On the investigations on the arrangement of structures in the second stage of project from the standing point of beach stability.

In the first experiment, the effects of submerged breakwaters set at the mouth between two detouched breakwaters which have been constructed, and the effects of additional detouched breakwaters were tested using a movable bed model of 1/50 in scale. Additional submerged breakwater was profitable to prevent the loss of sand from the land side of detouched breakwaters under vary rare stormy waves. But, for the ordinal storm condition, any additional structures had not effects to increase the stability of the beach. Conversely, all of additional structures gave some bad influences to exchange of water between inside and outside of detouched breakwaters.

In the second experiment, effects of submerged breakwater to the stability of a perched beach using mobil bed model of 1/30 scale in a wave channel. Higher crown elevation of submerged breakwater gave smaller scour at the landside of submerged breakwater, and gave larger erosion near the shore-line.

In the third experiment, two types of arrangement of structure; one of this is construction of isolated three beaches and the other is construction of a series of three beaches where water zones are connected behind detouched breakwaters, were tested by a distorted mobile bed model of scale 1/80 in horizontal and 1/50 in vertical. The latter gave better results for both of the stability of beach and for the exchange of water. Narrow opening at the center of a detouched breakwater was available to prevent excessive deposition of sand behind the detouched breakwater which obstructs the exchange of water between adjacent two beaches and accelerates the erosion at the central part of a beach.

*Chief of littoral drift laboratory, Hydraulic Engineering Division
**Member of littoral drift laboratory, Hydraulic Engineering Division

養浜工に関する研究（その2）

一 神戸市須磨海岸における人工海浜の安定性に関する実験およびその一般的考察 一

田中 則 男*
小山内 英 雄**

要 旨

神戸市須磨海岸は、海岸環境整備事業の一環として進められている人工海浜造成事業の中では、最も事業の進捗が速く、全国的な同事業の先導車的役割を担っている。著者等は、事業開始当初からこれに係わり、現在まで種々の段階で、水理模型実験の実施等、技術的問題の検討に当って来た。

本資料は、須磨海岸における事業の進行に伴う過去の研究の経過を概説し、昭和51年度以降に須磨海岸における人工海浜造成計画に関連して実施した3種の水理実験の結果について述べ、これらの実験の取りまとめとして、人工海浜に伴う外郭施設の機能と配置に関して一般論的に述べている。

本資料第2章に述べられる実験は、1)第一期計画の各浜のT型堤の開口部へ何らかの防波施設を付加すべきか否かの検討、2)第二期計画の技術的主課題となる法止工を有する人工海浜の安定性に関する二次元実験、および3)第二期計画案の検討実験の三種である。

第3章においては、人工海浜に伴う外郭施設の代表的なものとして離岸堤、突堤、離岸潜堤を取り上げ、これらの設置に伴う現象、施設の機能および配置上の配慮事項等について述べている。これに加えて、これらの施設配置上試みられている工夫として、T型堤の離岸堤部と突堤部の間を離すことの効果、離岸堤の中間部に狭い開口部を設けることの効果、突堤先端部の翼堤の効果等について述べている。

1. はしがき

我が国において海岸環境整備事業が発足し、人工海浜造成事業が国の補助事業として開始されたのは昭和48年度である。以来昭和54年度の現在で7年度目を迎えることになるが、多くの事例では、この間に人工海浜を波浪の強襲から防護するための外郭施設の築造が少しづつ進められ、今年度以降砂浜の造成が始められる程度の進捗よく状況に留まっている。

この中であって、神戸市須磨海岸の場合には、きわめて先行的に事業が進められており、48年度に着工した第一期計画に関しては、その80%程度を完成し、現在第二期事業計画立案中である。後述するように、この間著者等は事業担当部局と緊密な連携を保ち、計画における技術的課題の解決に終始参画し続けて来たと自認している。

この事業においては、机上検討、水理模型実験および現地における工事の実施、さらに事後調査が、一環した流れの中で実施されて来ており、工学的な知見の蓄積という観点から見ると、まれに見る好例であると言ってよい。

したがって、須磨海岸における人工海浜の造成計画に関連して行って来た諸々の研究の成果は、須磨海岸という特定点に留まることなく、より広い応用性を持つ多くの事項を含んでいるものと思われる。本報では、これらのうち、人工海浜における外郭施設に視点をおき、その諸元・配置と機能との関係について論じたい。近年著者等が人工海浜造成計画に関して実施した研究は、もちろん須磨海岸に関するもののみではないし、また、著者等によるものほかにも、近年二・三興味ある研究がなされている。したがって、本論においては、須磨海岸の事例に基礎をおきつつも、これら他の事例についても、可能なかぎり言及する。

人工海浜における外郭施設の配置論は、海浜を波浪等の強襲から防護するという観点からは、一般の侵食対策施設と多くの共通点を有している。しかしながら、人工海浜の外郭施設としては、浜の法尻に法止工を有する場合のように、天然海岸の侵食対策工法としては考え得ない特殊な工法もあるし、また、その他の一般的な工法であっても、その機能に関しては、侵食対策として用

* 水工部 漂砂研究室長

** 水工部 漂砂研究室

いられる場合に比して、より多様で高度な配慮が払われなければならないのが普通である。すなわち、当然のことながら、新しい海浜に強い行政需要があつてこそ、人工海浜の造成が計画される。このため、人工海浜に関しては、いきおい造成後の浜の使用目的が明確であり、その目的に最も適した場を造成する努力が要求されることになる。したがって、例えば、海水浴場用の海浜を造成するためには、ただ砂浜の安定のみを考えて外郭施設を計画するのではなく、砂浜の形状や海浜近くの水質の保持等に対する細かい配慮が要求されることになる。このような意味から、人工海浜のための外郭施設に関しては、状況に応じて、簡単であるが巧妙なアイデアが各種試みられている。

本報告においては、第2章において須磨海岸における人工海浜造成事業の経過と、これに関連して実施された研究の経過について述べ、さらに、その内未公開の3種の実験結果を紹介する。さらに第3章においては、第2章に述べた実験のまとめとして離岸堤、離岸潜堤および突堤等基本的な外郭施設の機能と配置等に言及し、さらに、人工海浜における外郭施設の配置に関して試みられた幾つかのアイデアを紹介し、その効果について述べている。

2. 神戸市須磨海岸における人工海浜造成事業とそれに関連した調査研究

2.1 須磨海岸人工海浜造成事業と調査研究の経過

須磨海岸における人工海浜造成計画の発端は、昭和43,44年に遡る。表-1に示すように、この時期から昭和47年度までの4~5年間は、本事業の導入期と言ってよい段階であり、この当時想定されていた人工海浜は、侵食対策事業の一環として築造されていた突堤等を多少改良して、その間に多少の土砂を投入しようとするもので、現在実施中の計画に比べると、その規模は格段に小さい。しかしながら、この時期における昭和44年度、46年度の2度にわたる水理模型実験、および昭和45年から47年にわたる現地実験等は、現行計画立案のための有益なバック・グラウンドであった。特に3か年にわたって実施された現地実験は、人工海浜造成事業のスタートに踏み切るに際しての、諸々の技術的不安の解消に大きな意味を有していたと言つてよい。この間の関連研究に関しては、佐藤・田中および佐々木、³⁾あるいはSATO and TANAKA⁴⁾によって詳述されているが、これらの研究を通じて、T型突堤を基本型とする現計画の外郭施設配置の型が定まっている。

昭和48年、海岸環境整備事業の発足に伴つて、須磨海岸はその対象事業の第1号として採択され、事業推進の先導的な役割をはたすことになる。この時期を画して、過去の研究実績をふまえて計画が改めて立案され、図-1に示すような現計画が成立した。図-1中に点線によって示すように、現計画原案においては、砂浜の安定上相隣るT型堤の中央開口部に離岸堤が必要となる可能性が保留されており、また、図中丸印で示した部分は点線で示されているごとく連結されていた。

海岸環境整備事業としての人工海浜造成計画において、先ず持ち上った技術的問題点は、砂浜背後の護岸形式の選定であり、また、外郭施設内水域における海水交換性である。前者に関する研究成果は佐藤および服部、⁵⁾あるいはSATO and TANAKA⁴⁾によって詳述されており、後者に関しては、佐藤・加藤および木村⁶⁾あるいは佐藤・加藤・木村および高松⁷⁾⁸⁾に詳述されている。

さらに、前述したT型堤開口部中央の離岸堤の要否については、昭和51年度移動床水理模型実験が実施された。その結果は2.2において詳述されている。この実験結果および先の海水交換実験結果に基づいて、開口部離岸堤は計画案から削除されている。

第一期計画施工は順調に推移し、昭和53年度末には海浜造成計画の80%を完了し、背後護岸、遊歩道、緑地等の築造を残すのみとなっている。後述するように、人工海浜は最大有義波高2.0m程度の荒天に襲われているが、ほぼ安定を保ち続けている。また、この間海浜の利用者数は順調に伸び、¹⁰⁾昭和53年度には昭和48年度の80%増に達している。

神戸市当局においては、第一期計画の成功を基に、新海岸整備5か年計画に人工海浜造成第二期計画を組み込むための作業を進めている。第二期計画は、第一期分の西端に続いて須磨市街地のほぼ全面に広がる地域に計画されている。第一期計画の地域の背後が、元来臨海公園であったのに反して、第二期計画対象地域の背後は、国鉄須磨駅を中心とした狭あい化した地域である。したがって、第二期計画においては、人工海浜の造成とともに、これに付随した公園、駐車場等の用地造成が不可欠である。このため、海浜造成線の水深が深くなり、第一期計画と異つた海浜造成方式、すなわち、海浜法尻を法止工によっておさえた工法を採用しなくてはならず、この可否が第二期計画における技術的な中心課題となっている。これに対応して、昭和52年度において水路実験によって、また53年度水槽実験によってこの問題の検討を行い、二期計画における海浜造成計画案を提案している。この研究結果に関しても、2.3および2.4において詳述した。

表-1 須磨海岸における人工海浜造成事業と関連研究の経過一覧表

	年 度	事 業 実 施 の 経 過	港 湾 技 術 研 究 所 に お け る 関 連 し た 調 査 研 究
海 岸 侵 食 対 策 事 業	昭和43年度		事前現地調査の開始
	昭和44年度		養浜を含む海岸侵食対策の実験 文献14, 文献15
	昭和45年度	第一地区第一次試験養浜の実施 (10000m ³)	
	昭和46年度	第二地区第一次試験養浜の実施 (7000m ³)	養浜土砂流失防止工法の実験 文献3, 文献4
	昭和47年度	第二次試験養浜3地区で実施 (6600m ³ +8400m ³ +7300m ³)	遊歩道を有する護岸の越波実験 文献4, 文献5
海 岸 環 境 整 備 事 業	昭和48年度	(海岸環境整備事業の開始) 第一期人工海浜造成計画立案 土砂投入 (20000m ³)	
	昭和49年度	突堤築造 (50m) 離岸堤築造 (90m) 土砂投入 (20000m ³)	海水交換に関する実験 文献6, 文献7
	昭和50年度	突堤延長 (10m) 離岸堤延長 (99m) 土砂投入 (20000m ³)	
	昭和51年度	突堤延長 (10m) 離岸堤延長 (114m) 土砂投入 (25000m ³)	第一期計画外郭施設配置の修正の 可否の実験(本論文の対象) 文献8
	昭和52年度	突堤延長 (10m) 離岸堤延長 (135m) 土砂投入 (80000m ³)	法止工の効果に関する水路実験 (本論文対象)
	昭和53年度	突堤延長 (40m) 離岸堤延長 (89m) 土砂投入 (——)	第二期計画に関する実験 (本論文対象)

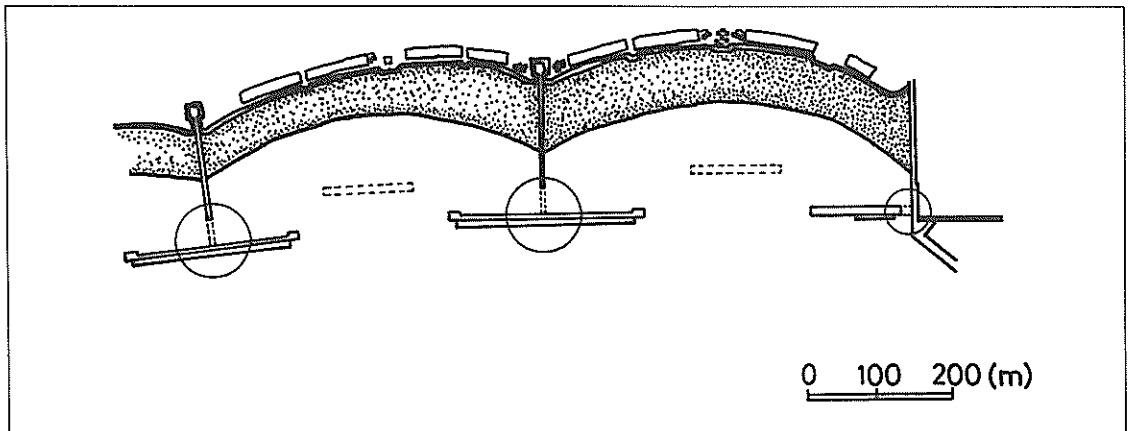


図-1 須磨海岸人工海浜第一期造成計画平面図

2.2 T型堤開口部離岸堤の要否に関する移動床平面実験 (昭和51年度実施)

1) 実験の方法

実験は、第一期計画区域のうち須磨港に近い一区割のみを対象とし、水平・鉛直共1/60の縮尺模型を用いて行われた。水槽および模型平面図は図-2に、また模型断面図は図-3に示すとおりである。

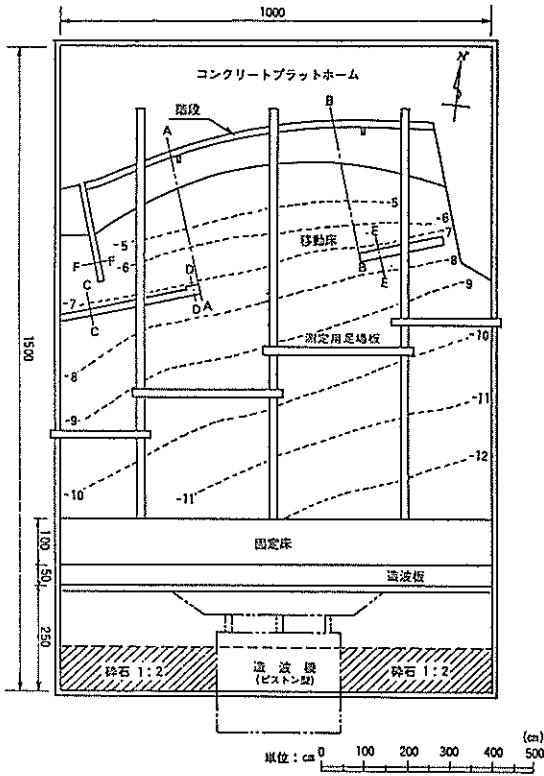


図-2 水槽および模型平面図

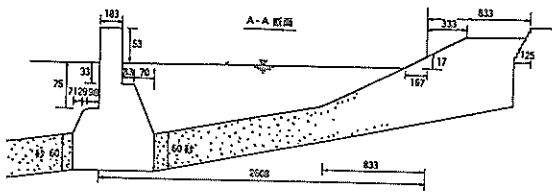


図-3 模型断面図

移動床材料としては、茨城県産の中央粒径0.188 mmの粒度調整された砂が用いられた。

実験に用いられた波は、有義波高4 cm、周期1.03秒および有義波高8 cm、周期1.29秒の不規則波である。これらの値は、単純にフルード則で換算すれば、波高

2.4 m、周期8秒および波高4.8 m、周期10秒の現地波に相当する。波向は、実験装置の制約等もあり、ほぼ海岸に直角なS方向がとられている。

実験水位は模型中で+1.67 cm、現地換算では平均水位に相当する+1.0 mである。

2) 実験ケース

実験ケースおよび各ケースに対応した外郭施設の諸元は、表-2および図-4に示すとおりである。最初のケース1, 2では、先に実施した海水交換実験の結論に従って、開口部離岸堤を削除する等の変更を加えた計画案の安定性を検討し、ケース3~8および10では離岸堤の位置、堤幅、堤長および先端高等の効果を調べ、ケース9, 11, 12では、水面上に先端の出た離岸堤の効果を検討した。

表-2 T型堤開口部における離岸堤の要否に関する実験ケース

実験ケース	波		防護施設形状				
	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	構造	先端高 (m)	先端幅 (m)	堤長 (m)	設置水深 (m)
1	2.4	8					
2	4.6	10					
3	2.4	8	不透過 潜堤	-3	26.6	216.1	両離岸堤 間に設置
4	4.6	10	"	"	"	"	"
5	2.4	8	"	-2	"	113.0	-4.5
6	4.6	10	"	"	"	"	"
7	2.4	8	"	±0	17.4	"	"
8	4.6	10	"	"	"	"	"
9	2.4	8	捨石堤	+2	6.0	169.5	-6.5
10	"	"	捨石 潜堤	-2	"	"	"
11	"	"	捨石堤	+2	"	84.8	"
12	"	"	"	"	"	42.4	-2

注) ただし寸法は現地スケール

3) 実験結果

a) T型開口部に離岸堤がない場合

図-5は、波高が現地で2.4 mに相当する場合と4.6 mに相当する場合の実験継続時間360分後の地形変化を示すものである。波高の相違によって、変形量には大きな差が生じているが、地形変形の傾向は定性的によく似ており、以下に示す特徴を持っている。すなわち、

1. 開口部の正面付近が侵食され、離岸堤の背後に堆積している。
2. 浜の両端部で防波堤あるいは突堤の極く近傍では、防波堤あるいは突堤に沿って侵食気味である。

ハ. 離岸堤背後での等深線の張り出しは、東側で著しく、西側で弱い。これは、東側の狭い開口部から侵入する波による侵食土砂が堆積するためと思われる。

ニ. 開口部正面の後浜にリッジが形成され、天端が高くなっている。

波高の低いケース1では、水深-4m以深に広く堆積が広がり、一見して全体土量の増加が生じていることが明らかであり、事実、土量変化を算定すると、全土量の増加が生じた結果になっている。しかし、この実験のよう

に、閉された水槽中で全土量の増加が生ずることはあり得ないから、何らかの測定誤差が含まれているものと考えられる。測定誤差の生ずる可能性として、砂れんの発生のために、レベル測定の測標の底面が広いと、リップルの上部を測ることになり得ることが考えられる。図-5において、堆積部分の分布を見ると、波が高く砂れんの発達強い程、堆積が広がっている事実は、こうした可能性の強いことを指しているように思われる。

図-6は、昭和53年6月と12月の間の現地での地形変形を示すものである。この間に、この区間には土砂投入

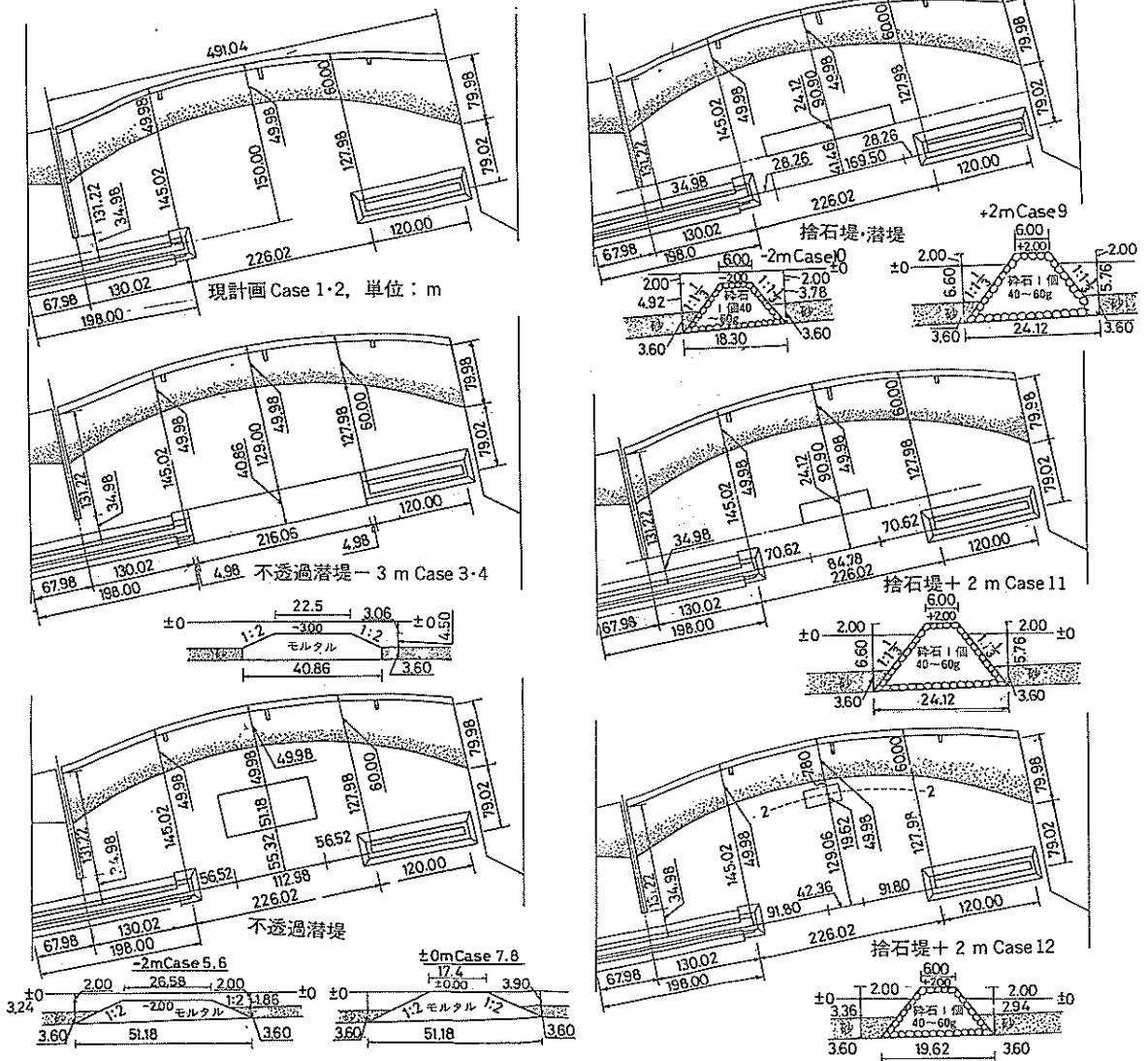


図-4 各実験ケースにおける外郭施設配置

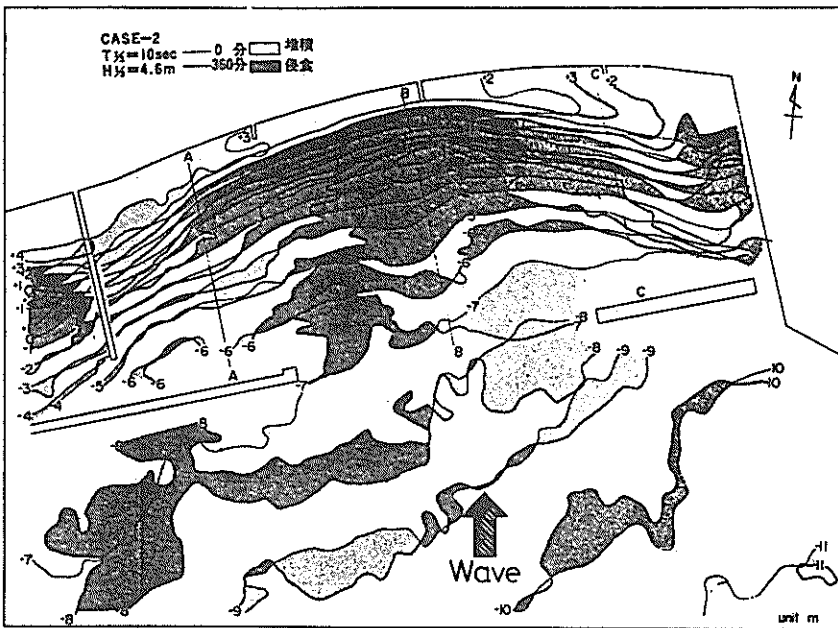
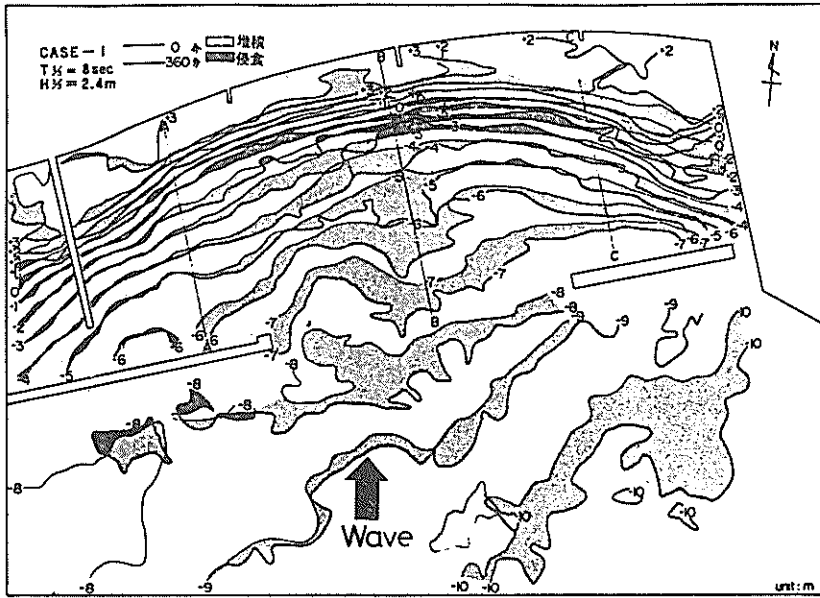


図-5 開口部に離岸堤のない場合の地形変形（ケース1，ケース2）

は行われておらず、また、この期間の6月20日にかけて人工浜造成事業の開始後、最も大きい有義波高2.07mの波に見舞れている。この地形変形は、図-5に示した実験結果について指摘した定性的な特性の多くと一致し、実験における開口部付近の広範な堆積を除いて見ると、波の低い実験結果とよく似ている。ただし、区間の東側、須磨港防波堤と離岸堤との間の狭い開口部

の影響は、実験程強くなく、そのため東側離岸堤背後の等深線の張り出しも弱い。

図-7は、ケース1，2および現地における昭和53年12月の海底断面形状の比較したものである。模型実験の2つのケースの間では、浜の中央の測線において、てい藤から30~100m（現地換算）付近の水深が、波の大きいケース2で深くなっていること、およびケース2の場合

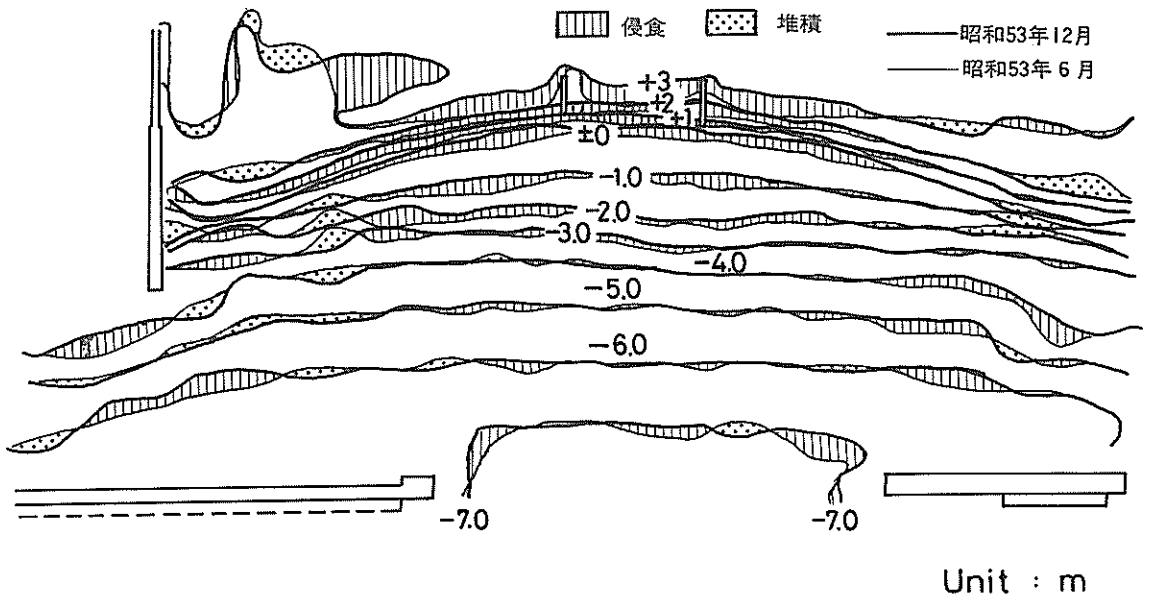


図-6 現地における地形変形

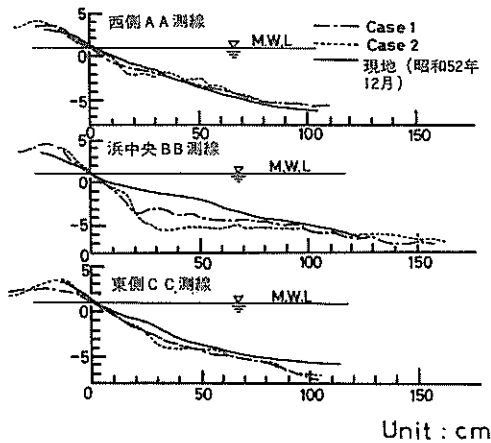


図-7 ケース1, 2および現地における海底勾配の比較

の方が特に浜の両端部で前浜の頂部が多少高い他は大きな差異はない。

また、実験結果と現地を比較すると、浜の両端では両者はほぼ似た形状を取るが、浜の中央部では著しく断面形が異なり、現地の方が、前浜頂部は低く、前浜こう配は緩やかで、かつ浜の直ぐ沖の部分でのこう配がゆるやかである。したがって、現地では、模型実験程には浜に沿った地形の場所的变化が著しくない。

b) 離岸潜堤の効果 (ケース 3, 4, 5, 6, 7, 8 および 10)

各種の離岸潜堤に現地換算 2.4 m の波を作用させた場合の波作用 360 分の間の地形変形の状況を図-8 に示す。

先ず T 型堤開口部に天端高が -3 m の潜堤を設けたケース 3 と、前出図-5 に示すケース 1 を比較すると、開口部正面における侵食部分は、ケース 1 で侵食が -3 m から ±0 m の水深範囲に止まっているのに反して、ケース 3 では -3 m から +1 m に広がっており、一般に離岸潜堤をおいたケース 3 の方が侵食傾向が強まっている。図-9 は、ケース 1 とケース 3 の海浜断面を示すものであるが、これから明らかなように、前浜高さはケース 3 の方が高い。このような結果は、潜堤の存在のために堤内水位が上昇したことに起因するものでありと思われる。

図-8 に示した他の 3 つのケースでは、ケース 10 とケース 5 の間で離岸潜堤の設置位置が岸に近づき、ケース 5 とケース 7 の間では、潜堤の天端高が -2 m から ±0 m に増加している。これらのケース間で指摘される地形変化の特徴は、以下のとおりである。すなわち、

イ. 侵食の生ずる水深範囲は、以下のように順次広がっている。

ケース 1 ; -3 m ~ +1 m

ケース 10 ; -3 m ~ +2 m

ケース 5 ; -3 m ~ +2 m

ケース 7 ; -3 m ~ +3 m

侵食傾向はほぼこの順で強くなる。

ロ. 離岸潜堤を浜に近づけると、潜堤背後は強く侵食され、潜堤の両側から舌状の堆積部分が開口部に向かって伸びるようになる。このため、てい線は曲率半径のより小さい円弧を描くようになる。これは、

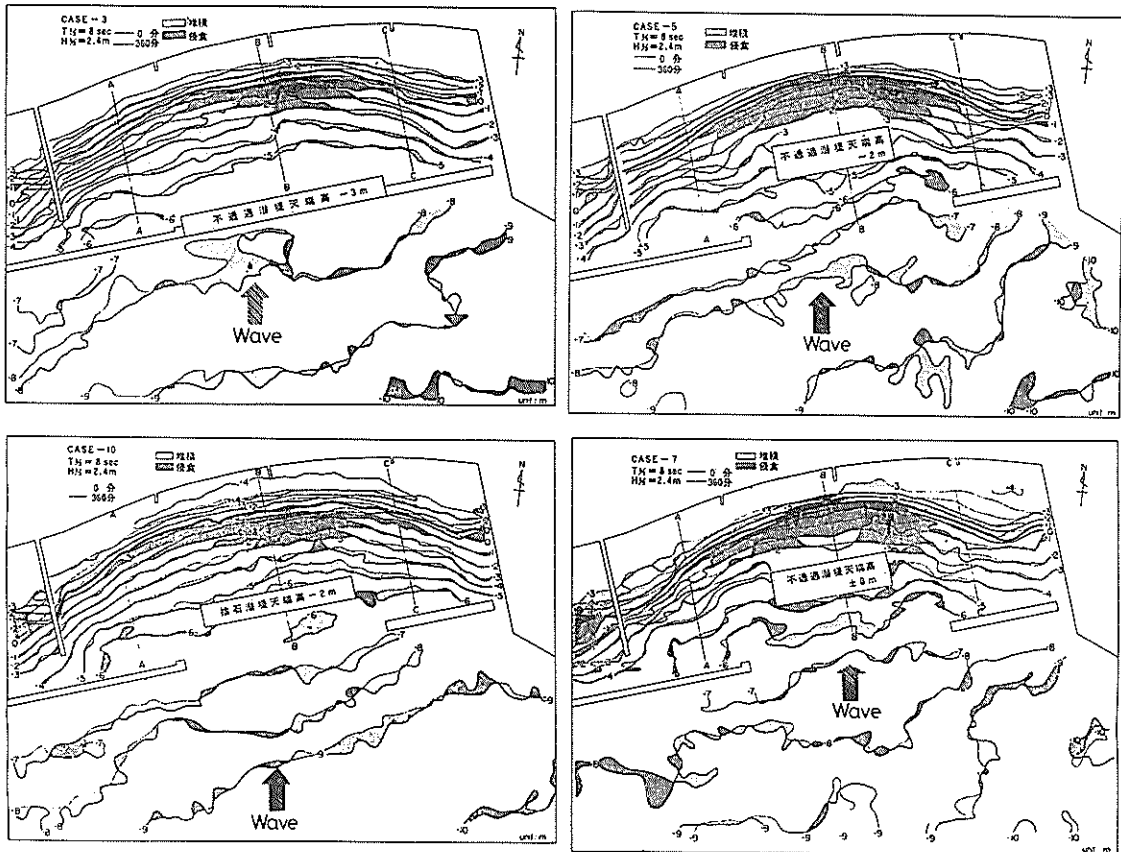


図-8 離岸潜堤による地形変形 (現地換算 $H_{1/3} = 2.4\text{m}$, $T_{1/3} = 8\text{s}$)
(ケース3, ケース5, ケース10およびケース7)

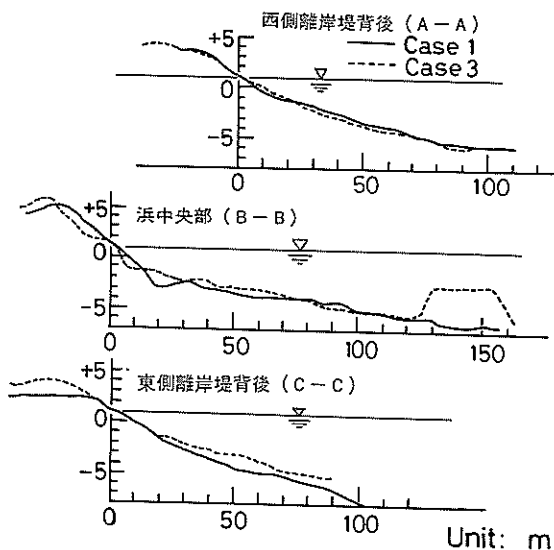


図-9 ケース1とケース3の海浜断面の比較

潜堤の存在による堤背後の水位上昇のため、堤を迂廻して開口部へ向う強い流れを生ずるためである。

ハ、潜堤の天端高さを高くすると、堤背後の水深の比較的深い部分 (-2 m等深線) は沖に張り出し、トンボロのような形状をなすが、これ以浅にはその傾向は見られない。

図-10はケース3, 5および7と同じ構造物の配置に対して、高い波を作用させた結果を示すものである。作用させる波の波高増大によって、前にケース1~7に関して列挙した変形の特徴は、増々強められて来るが、定性的には、開口部付近にまで侵食が生ずる他は、低い波の場合とさ程大きな相違は見られない。

オ) 離岸堤の効果 (ケース9, 11, および12)

図-11は、T型堤によって囲われた水域内に、離岸堤を設けたケースの地形変形のパターンを示すものである。ケース9は前出ケース10 (図-8) の離岸潜堤の天端高

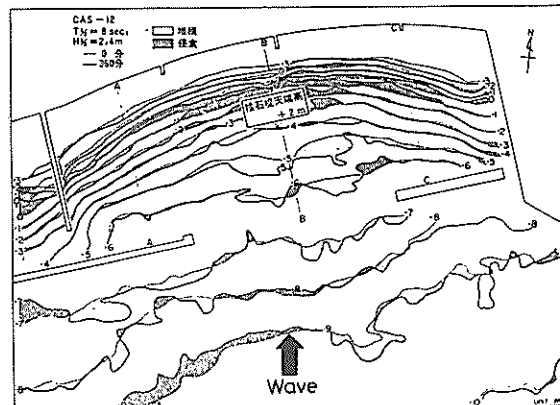
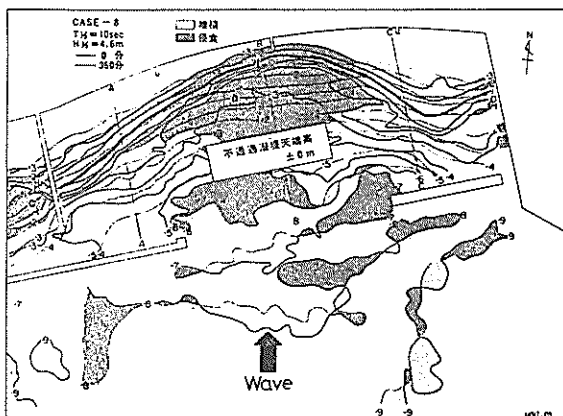
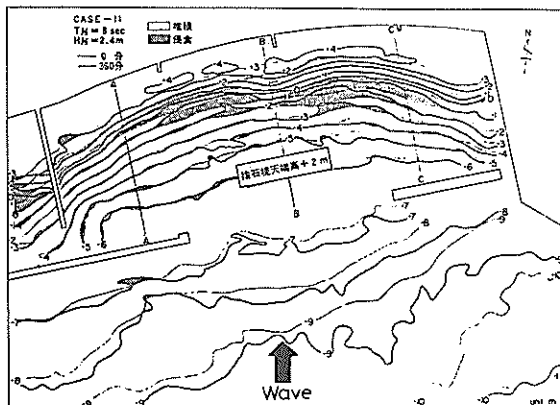
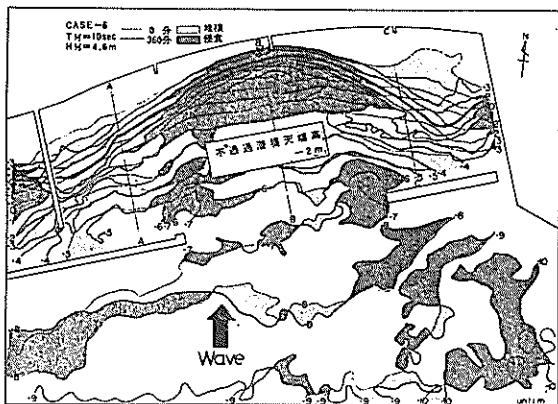
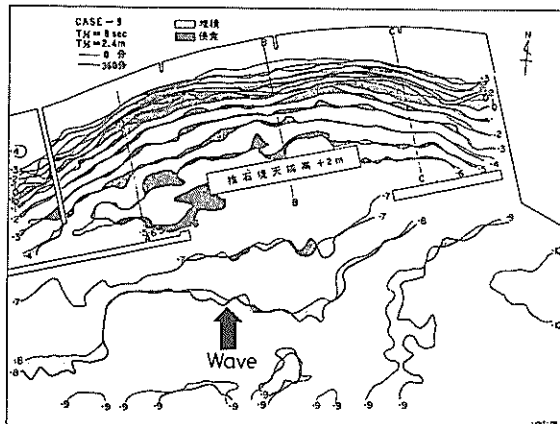
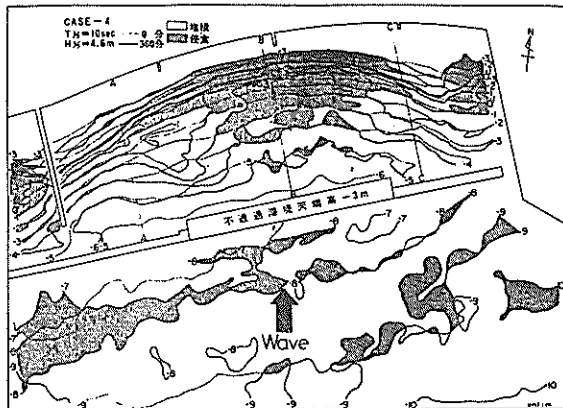


図-10 離岸潜堤による地形変形 (現地換算 $H_{1/3} = 4.6\text{m}$, $T_{1/3} = 10\text{s}$) (ケース4, 6, 8)

図-11 離岸堤の設置による地形変形 (現地換算 $H_{1/3} = 2.4\text{m}$, $T_{1/3} = 8\text{s}$) (ケース9, 11, 12)

さを、+2 mに上げた場合であり、ケース11はケース9の離岸堤延長を2/3に縮めたケースである。

まず図-11のケース9を図-8のケース10と比べると明らかなように、天端高が+2 mになると、離岸堤背後の前浜から水深-1 mまでの間に明瞭にトンボロが形成され、浜は双丘形のい線形状を有するようになる。

しかし、海浜の侵食の傾向は、このトンボロの両側+3 mの等深線以深に広がっている。侵食性は、T型堤開口部に構造物のないケース1よりも、むしろ強くなっている。

離岸堤の延長を縮めたケース11においても、地形変化の定性的な傾向はほとんど変化しない。ただ、侵食を受

ける水深の範囲が、+2~-3 mとやや狭く、後浜へのリッジの形成が目立っている。

離岸堤を浜に寄せたケース12では、堤背後のトンボロの形成は小さく、侵食範囲も多少狭まっている。

図-12は、ケース1,9,11,12のてい線(すなわち+1 m等深線)の形状を比較したものである。

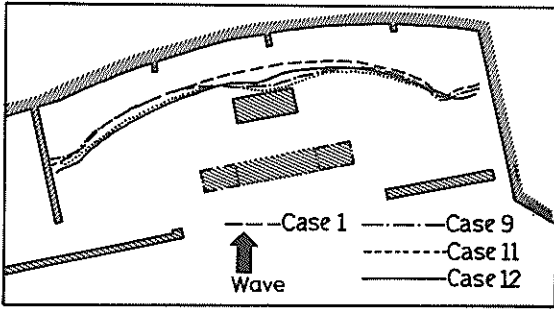


図-12 ケース1,9,11および12における+1 m等深線形状の比較

4) 実験結果の評価

以上の結果を、各種指標について取りまとめると表-3のとおりである。表中において、細粒子堆積部の面積比

とは、堤内で底質移動がほとんど見られず、細泥が堆積している部分の面積の、T型堤堤内全域に対する比を表わしている。また、ここに言う前浜勾配は、+2 m~-2 m間の平均勾配であり、浜沿いの各所でこの値を求めた場合の最大値と最小値が示されている。この2つの値の比 c/d の欄は、浜に沿った地形の均一性を表す指標として求めたもので、この値が1に近い程浜の地形は変化が少ないことを意味している。

この表にも表されているように、波の低いケースでは、T型堤の開口部に何らかの外郭施設を設けることによって、砂浜の安定性を有意に増加させ得る工法は、今回の実験ケース中には見出せず、逆に他の外郭施設の付加によって、かえって砂浜の安定性を減ずる傾向のあることが明らかになった。

ただし、波の大きいケースでは、T型堤開口部に潜堤を設けることによって、砂浜の侵食防止効果を上げることが出来るものと思われる。しかしながら、これによっても波の低い通常時には、砂浜防護能力はあまり期待できず、逆に c/d の増大、堤内細粒子堆積地域の増大等のデメリットも予想される。したがって、海水交換維持上の必要性もあり、当面はT型堤開口部に新たな外郭施設を計画しない方が望ましいものと評価された。

表-3 各 ケース の 比較

ケース	後浜最高高さ (m)	細粒子堆積部の面積比	前浜最急こう配 (c)	前浜最緩こう配 (d)	c/d	てい線最大		てい線		波浪条件	構造物
						後退距離 (m)	前進距離 (m)	形状	曲率半径 (m)		
1	+4.7	0.3	0.175	0.082	2.134	4.8	6.6	円弧	39.0	H = 2.4 m	
3	+5.0	0.6	0.267	0.083	3.217	6.6	10.8	〃	37.6		不透過潜堤 -3 m
5	+5.0	0.3	0.222	0.062	3.581	15.0	12.6	〃	39.3		不透過潜堤 -2 m 設置-4.5m
7	+5.7	0.3	0.191	0.083	2.301	17.4	13.2	〃	37.4		不透過潜堤 ±0 m 設置-4.5m
9	+3.6	0.6	0.202	0.103	1.961	13.8	10.2	捨石堤背後にトンボロ	西側16.5 東側15.1		捨石堤 +2 m 設置-6.5m
10	+5.0	0.4	0.222	0.09	2.467	10.8	4.2	捨石堤背後に弱いトンボロ	33.4		捨石潜堤 -2 m 設置-6.5m
11	+4.6	0.4	0.202	0.103	1.961	10.2	4.8	捨石堤背後にトンボロ	西側18.0 東側14.4	捨石堤 +2 m 設置-6.5m	

※ 長さの単位はすべて現地換算値

潜堤天端高が同一で、洗掘対策用砕石の延長のみが異なるケースであり、ケース4, 7, 8, 10は砕石延長が同一で、潜堤天端高のみが異なるケースである。また、ケース3とケース11およびケース10とケース12は波高の効果を試す実験ケースである。

表-4 実験ケースと条件

テスト ラン	ケース 番号	波 高		潜 堤 天 端 高	砕 石 延 長 ※
		波 高	周 期		
3	3	7.5 (1.5)	2.24 (10.0)	-15 (-3.0)	100 (20)
	4	7.5 (1.5)	2.24 (10.0)	-15 (-3.0)	50 (10)
4	5	7.5 (1.5)	2.24 (10.0)	-15 (-3.0)	33.5 (6.7)
	6	7.5 (1.5)	2.24 (10.0)	-15 (-3.0)	66.5 (13.3)
5	7	7.5 (1.5)	2.24 (10.0)	-10 (-2.0)	50 (10)
	8	7.5 (1.5)	2.24 (10.0)	-5 (-1.0)	50 (10)
6	9	7.5 (1.5)	2.24 (10.0)	-5 (-1.0)	75 (15)
	10	7.5 (1.5)	2.24 (10.0)	± 0 (± 0)	50 (10)
7	11	15.0 (3.0)	2.24 (10.0)	-15 (-3.0)	100 (20)
	12	15.0 (3.0)	2.24 (10.0)	± 0 (± 0)	50 (10)

※ 図-14 に示したDの値

3) 実験結果

a) 洗掘防止用砕石層延長の効果

図-15は、潜堤の天端高が-3 mの場合、砕石層の長さの異なる4つのケースを比較したものであり、また、図-16は、潜堤の天端高が-1 mの場合に、同じく砕石層の長さを比較したものである。これらの図において、細い実線は波作用前の初期地形を、太い実線は波作用480分前後の地形を表わしている。

これらの図に見られる形成地形の相違を列挙すると、以下のとおりである。なお、これらの実験ケースにおいては、潜堤天端高が-1 mのケース8および9において、堤上でわずかに波が砕ける他は、すべてのケースで堤体および砕石層を越えた砂浜上で波が砕けていた。

- イ. 図-15の4ケースを前浜頂部の位置と沿岸砂州の位置に注目してみると、ケース6, 4および5は、きわめて類似した形状を示しているが、ケース3のみが多少異なり、前浜頂部および沿岸砂州共に陸側にずれている。
- ロ. さらに、同様な視点で図-16を見ると、潜堤の高いケース8および9では、ケース3よりさらに前浜頂部および沿岸砂州が岸側にずれているがケース

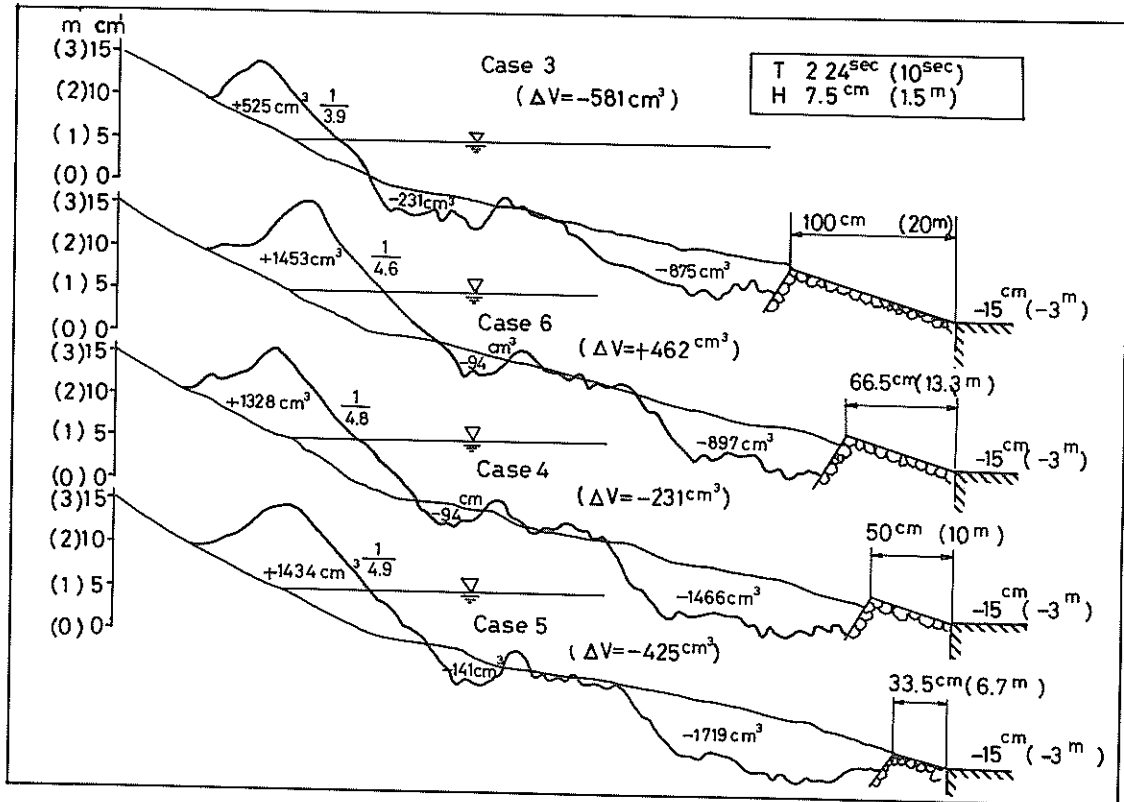


図-15 洗掘対策用砕石層の長さの効果 (天端高-15cm(現地換算-3m))

- 8とケース9の間では、ほとんど相異がない。
- ハ. 図-15において砕石層の岸側の洗掘部分を見ると、ケース3および6の間の差は大きくはないが、砕石層が短くなると共に洗掘の規模が大きくなり、洗掘部分の欠損面積が大きくなり、かつ水深が深くなる。一方図-16においては、ケース8において多少洗掘されているが、ケース9では洗掘がない。
- ニ. 前浜頂部の高さは、最も低いケース3で+13.8cm、最も高いケース4で+15.5cmであり、その差はわずかである。前浜勾配はケース3で1/3.9と急であるが、ケース6、4および5では、1/4.6~1/4.9とほぼ等しく、砕石層の減少と共にわずかにゆるやかになる傾向がある。
- 一方、図-16においては、前浜頂部高さ+13.5~14.0cm前浜こう配1/14.4~1/14.6と両ケースでほとんど差がない。
- ホ. すべてのケースにおいて、前浜に土砂が堆積しているが、その堆積の程度は、ケース3において最も少なく、ケース6、4および5でほぼ同程度であり、図-16のケース8と9でも大差がない。
- ヘ. 以上の各特性を総合すれば、実験ケースは3つのグループに分けられる。すなわち、
- ケース8、9のグループ；地形変化は全体にお

だやかであるが、てい線は欠壊され、潜堤近くでの洗掘はほとんどない。

ケース3のグループ；地形変化の全体の形は、次のグループに似ているが、てい線は欠壊され、前浜頂部が岸側へかなりずれ、前浜への堆積も比較的少ない。

ケース6、4および5のグループ；前浜に多量の土砂が堆積し、てい線が前進する。潜堤近くが著しく洗掘されている。

ト. 砂浜の土砂の減少量を見ると、ケース6、4および5では地形変化が激しいけれども、土砂の流失は少なく、土砂流失量の最も大きいのはケース3であり、次いでケース5、ケース4の順となり、ケース6では流失がほとんどない。(流失土量が正になるのは、水路の幅方向へ地形が均一でないためであろう。)

b) 潜堤天端高の効果

図-17は砕石層長さ50cmで、潜堤の天端高のみが異なる4つのケースを比較したものである。図の表示は、前図-16および15と同様であり、細い実線が初期地形、太い実線が波作用480分後の地形を示している。潜堤の天端高が-2mまでは、潜堤上での砕波は生じず、堤を通過した後砂浜上では波は砕けているが、-1mより浅

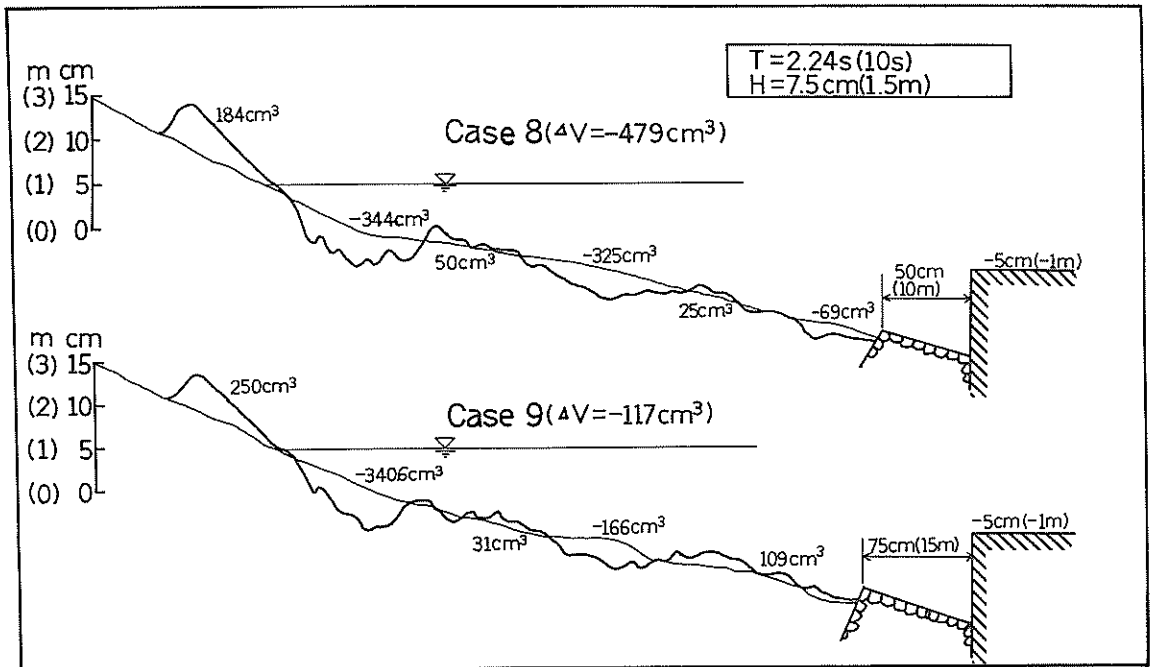


図-16 洗掘対策用砕石層の効果 (潜堤天端高-5cm(現地換算-1m))

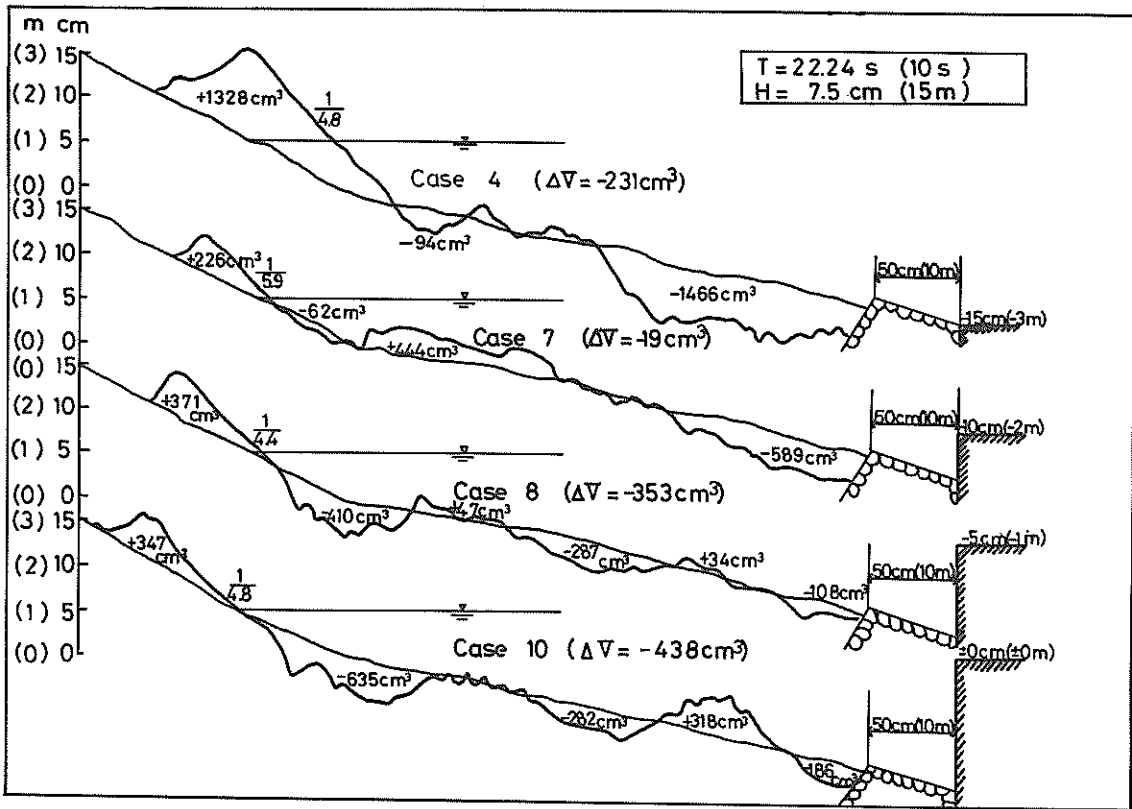


図-17 潜堤天端高の効果 (碎石層延長50 cm (10 cm))

くなると、堤上で砕波が生じている。図によって明らか各ケースの地形の特徴は、以下のとおりである。

- イ. 前浜頂部の位置に注目して見ると、天端高の増大に伴って、明らかに前浜頂部が岸側に移り、これによって、てい線付近の侵食が著しくなって行く傾向がある。
- ロ. ケース4およびケース7では、1つの沿岸砂州が形成されているが、ケース8および10では二段の砂州が形成され、これら2つの砂州はてい線と潜堤の港内側の面の間の距離を、ほぼ3等分する位置に発生している。
- ハ. 前浜頂部の高さは、ケース4で最も高いが、ケース7~10の間では潜堤の天端高と共に高くなる。
- ニ. 碎石層の岸側の洗掘は、潜堤の天端高の増大と共に急激に弱くなる。
- ホ. 浜の地形の変化量は、潜堤の天端高の増大と共に減少して行くように見える。しかし、流失土砂量は潜堤の天端高が-2m以浅では天端高の増大と共に大きくなり、天端高-2m程度で最少値を取る。
- オ) 砂浜安定性に対する波高の効果

図-18は、同一の砂浜模型に対して、波高の異なる2

種の波を作用させた場合の砂浜地形を比較したものである。上の図は、潜堤の天端高が-3mで碎石層の長さが20mの原計画断面であり、下図は潜堤天端高が±0mの断面である。

ケース3(波高1.5m)とケース11(波高3.0m)との比較図において先ず目を引くのは、ケース11における碎石層岸側での激しい洗掘である。洗掘溝の最深部は-19.5cm程度に達している。さらにてい線付近の侵食が激しく前浜上には多量の土砂が押し上げられ、浜頂部の高さは+16.3cmに達している。

土砂流失量は、波高1.5mのケース3で $-581 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ($23.24 \text{ m}^3/\text{m}$)であったのに対して、波高3.0mのケース11では $-2244 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ($89.76 \text{ m}^3/\text{m}$)に達するようになる。

潜堤天端高が±0mのケース10と12の地形においては、てい線付近の侵食が著しくてい線は大幅に後退し、前浜の天端高は+18.6cmにも達している。一方沖合の部分では、波高が高くなったことによる効果は少ない。土砂流失量はケース10で $438 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ($17.52 \text{ m}^3/\text{m}$)ケース12で $1277 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ($51.08 \text{ m}^3/\text{m}$)である。

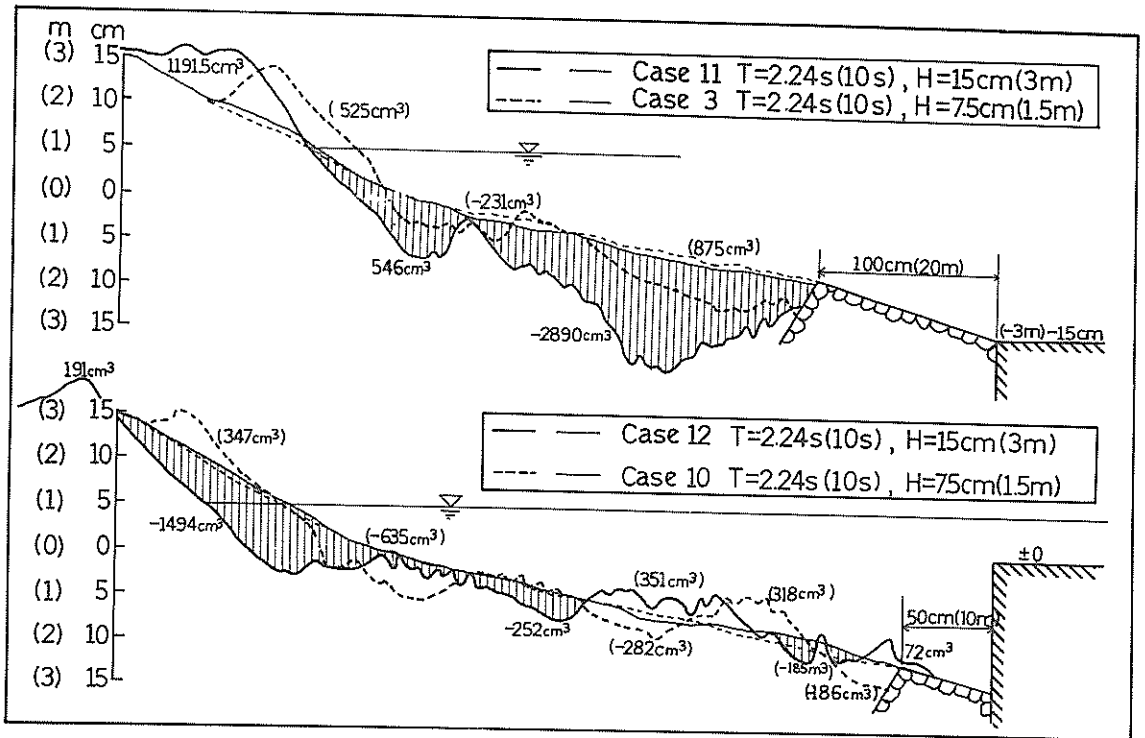


図-18 砂浜の安定に対する波高の効果

4) 実験結果の評価

潜堤の岸側における洗掘は、潜堤天端高が-2 mより深い場合に大きく、-1 mより浅いと小さい。洗掘が大きい天端の場合には、砕石層の効果は大きく、砕石層が66.5 cm以下であれば、砕石層が長いほどこの部分の洗掘量が小さくなる。しかし、砕石層が高くなり、砕石層の岸側肩の水深が-2 m程度に近づけば、砕石層が波浪特性に影響し、あたかも潜堤のような効果を持つようになる。

潜堤の天端高が-3 mでは、海浜断面形状に潜堤の効果は見られない。潜堤の天端高が-2 m以上になると、砕石層岸側の洗掘が減少し始め、それにかわってい線の近くの侵食が目立ち始め、次第に大きくなる。この結果

てい線は後退し、波の這い上り高が増加して、前浜頂部の高さが高くなる。これは、潜堤が高くなるにつれて堤内水位が上昇するためである。さらに、潜堤天端高が-1.0 m以上になると、堤内の浜と潜堤の間に弱い定常波が形成され、海底は波状を呈するようになる。

潜堤の岸側部分で洗掘された土砂は、岸向きに移動し前浜に積み上げられるが、潜堤の天端高の増大と共にこの傾向が弱まって来る。

表-5は今回の結果を取りまとめたものである。表中の括弧内の数値は、現地への換算値を示している。地形の安定性および流失土砂量を考慮すれば、ケース7の断面が最も好ましい断面形状であろうと思われる。

表-5 実験結果の評価

ケース番号	潜堤天端高	砕石層の長さ	波高	前浜頂部高	前浜勾配	てい線変化	流失土砂量
3	-15 cm (-3 m)	100 cm (20 m)	7.5 cm (1.5 m)	+13.8 cm (+2.76 m)	1/3.9	-7.5 cm (-1.5 m)	-581 cm ³ /cm (-23.24 m ³ /m)
4	-15 cm (-3 m)	50 cm (10 m)	7.5 cm (1.5 m)	+15.5 cm (+3.1 m)	1/4.8	+27.5 cm (+5.25 m)	-231 cm ³ /cm (-9.24 m ³ /m)

ケース番号	潜堤天端高	砕石層の長さ	波高	前浜頂部高	前浜勾配	てい線変化	流失土砂量
5	-15 cm (- 3 m)	33.5 cm (6.7 m)	7.5 cm (1.5 m)	+15.5 cm (+3.1 m)	1/4.9	+2.75 cm (+ 5.25 m)	- 425cm ³ /cm (-17 m ³ /m)
6	-15 cm (- 3 m)	66.5 cm (13.3 m)	7.5 cm (1.5 m)	+15.3 cm (-3.6 m)	1/4.6	+23 cm (+ 4.6 m)	+ 467cm ³ /cm (18.68m ³ /m)
7	-10 cm (- 2 m)	50 cm (10 m)	7.5 cm (1.5 m)	+12.2 cm (+2.44 m)	1/5.9	- 5 cm (- 1 m)	- 19cm ³ /cm (- 0.76m ³ /m)
8	- 5 cm (- 1 m)	50 cm (10 m)	7.5 cm (1.5 m)	+14 cm (+2.8 m)	1/4.4	-30 cm (- 6 m)	- 479 cm ³ /cm (-19.16m ³ /m)
9	- 5 cm (- 1 m)	75 cm (15 m)	7.5 cm (1.5 m)	+13.5 cm (+2.7 m)	1/4.6	-35 cm (- 7 m)	- 116cm ³ /cm (- 6.64m ³ /m)
10	0 cm (0 m)	50 cm (10 m)	7.5 cm (1.5 m)	+15.2 cm (+3.4 m)	1/4.8	-37.5 cm (- 7.5 m)	- 438cm ³ /cm (-17.52m ³ /m)
11	-15 cm (- 3 m)	100 cm (20 m)	15 cm (3.0 m)	+16.3 cm (+3.26 m)	.	-30 cm (- 6 m)	-2244cm ³ /cm (-89.76m ³ /m)
12	0 cm (0 m)	50 cm (10 m)	15 cm (3.0 m)	+15.2 cm (+3.04 m)	.	-75 cm (-15 m)	-1277cm ³ /cm (-51.08m ³ /m)

2.4 第二期計画案に関する平面実験 (昭和53年度実施)

1) 実験の方法と実験条件

既に施工中の第一期計画部分の西側に続く第二期計画の区域の模型が、図-19に示したように水槽中に配置された。模型の縮尺は水平方向1/80、鉛直方向1/50で

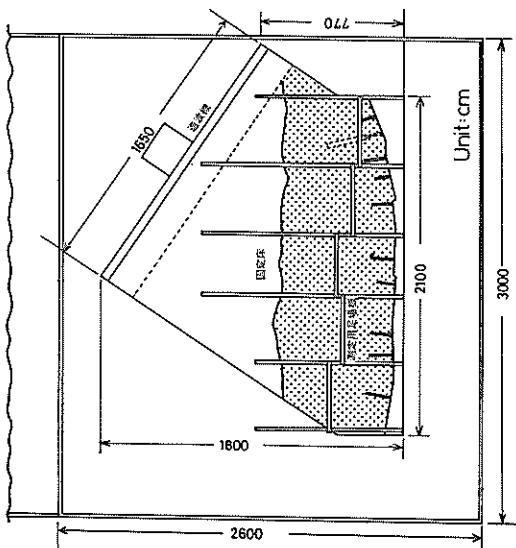


図-19 模型水槽平面図

あり、1.6のひずみ模型である。底質には中央粒径0.29mmの細砂を用いた。

本実験の実施に先立って、第二期計画部の現況の模型に対して2種類の実験波がかけられ、現況地形をできるだけ乱さず、しかも現地水深-7~-8mに相当する水深まで底質が動くような波が選ばれた。この結果選択された実験波は波高5cm、周期0.85秒(フルード則換算で現地スケールに直すと2.5m、6秒となる)であった。本実験においては、この実験波を中心に用い、これに加えて異常時の波として波高8cm、1.41秒(現地換算波高4m、周期10秒)の波を用いた。波向は現地での卓越方向であるSSW方向とSSE方向を使用した。実験水位は平均水位に相当する一定水位を用いることとし、その値は+2cm(現地換算値+1m)である。なお、この実験は規則波を用いて行っている。

2) 実験ケース

第二期計画に関しては、神戸市と協議の結果2種類のタイプの計画案が検討されることになった。その1つは第一期計画における西側の浜とつながった一区割の浜と、各々独立した2つの浜を造成する計画であり、他の1つは、第一期計画の西側の浜につながった3つの浜を造成する計画である。いずれの計画案においても、造成され

る浜の背後に多少の埋立が考えられており、このため海浜造成部分の現水深が深くなるために、浜の法尻部分には法止工が設けられている。

実験ケースおよび各ケースにおける施設配置は、表-6および図-20, 21に示されており、また、浜の断面形状は、図-22, 23に示されている。

表-6 実験ケース一覽

実験ケース	周期	波高	波向	潜堤天端高			外郭施設配置	図番
				A浜	B浜	C浜		
予備ケース 1	7.0 ^s	2.5 ^m	SSW	$\frac{m}{-}$	$\frac{m}{-}$	$\frac{m}{-}$	現況	図-20
2	6.0	"	"	-	-	-	"	"
3	6.0	"	"	-	-	-	"	"
4	7.0	"	"	-	-	-	"	"
本ケース 1	6.0	"	"	-	-3m	-3m	平面計画案 1	"
2	"	"	"	-	-2	-2	潜堤天端高を上げる。	"
3	"	"	"	-	"	"	A浜に突堤追加, B・C浜開口部を広げる。	"
4	10.0	4.0	"	-	-3	-2	平面計画案 1 の A 浜に突堤のみ追加	"
5	6.0	2.5	"	-4	"	"	平面計画案 2	図-21
6	"	"	"	"	"	"	C浜に第二の開口部を設け, -3m 潜堤をおく。	"
7	10.0	4.0	"	"	"	"	"	"
8	6.0	2.5	SSE	"	"	"	"	"
9	"	"	"	"	"	"	"	"
10	10.0	4.0	"	"	"	"	A・B浜間, B・C浜間の離岸堤の一部に ±0 cm の狭い開口部を設けた。	"

※ 値は現地換算値

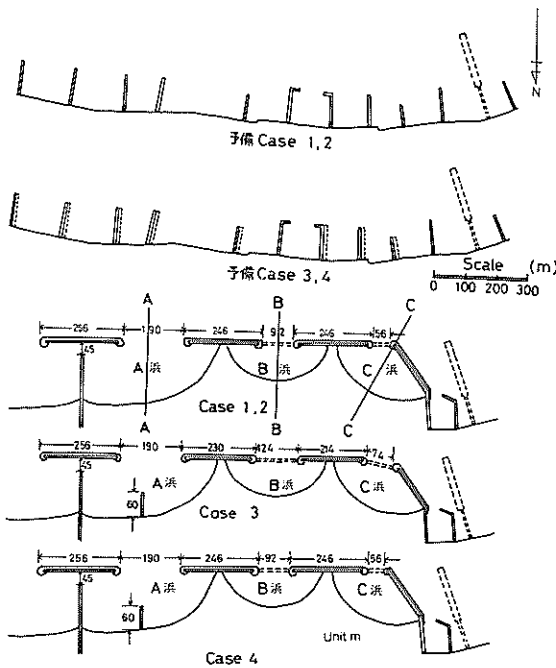


図-20 ケース 1~4 (計画案 1) および予備ケース外郭施設配置

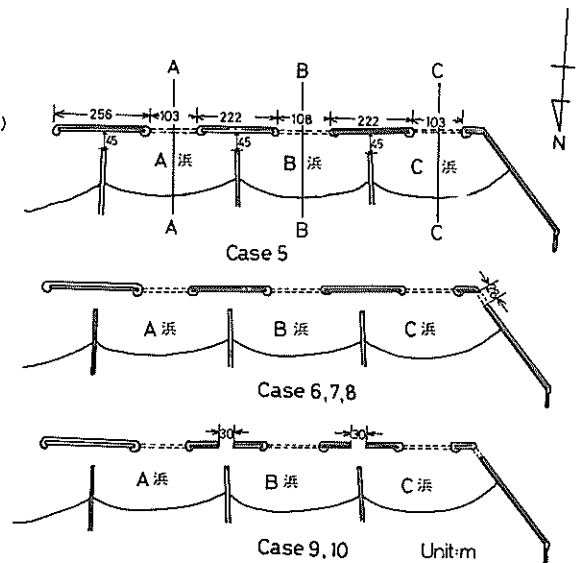


図-21 ケース 5~10 (計画案 2) 外郭施設配置

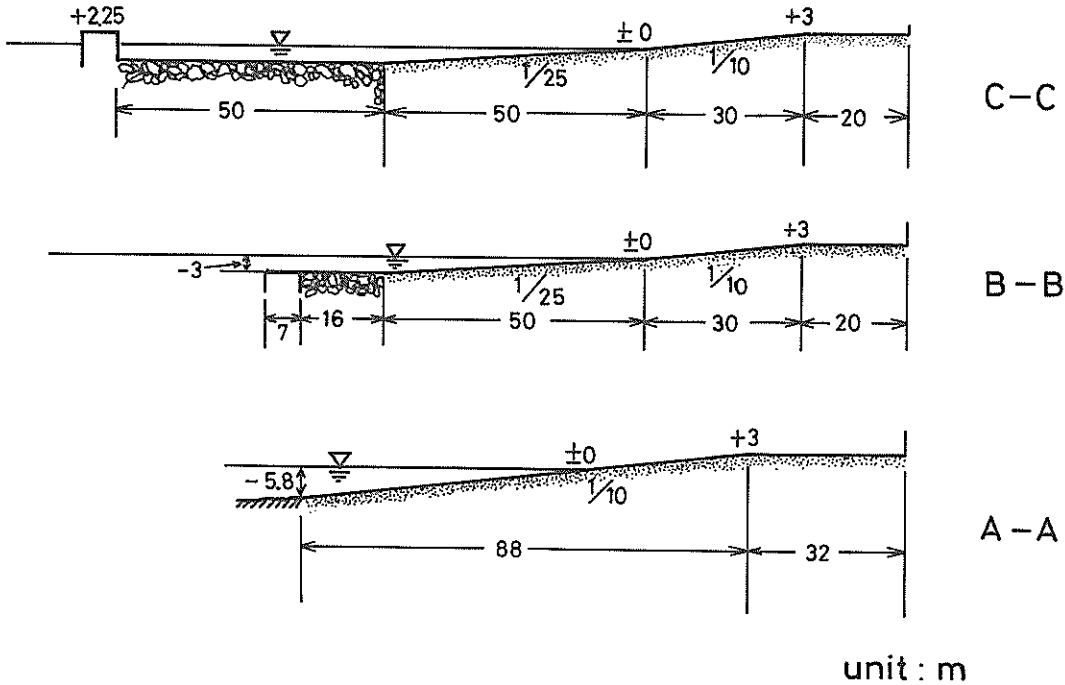


図-22 計画案1の浜の断面図

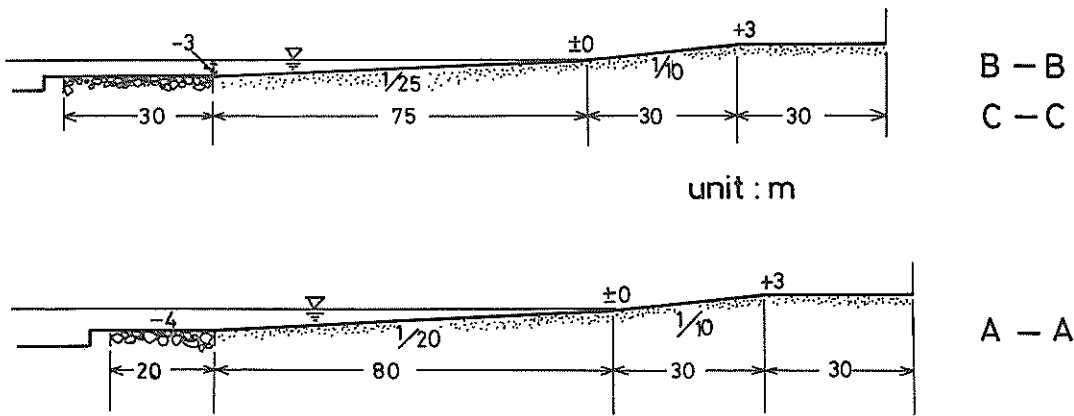


図-23 計画案2の浜の断面図

3) 実験結果

a) 計画案1に関する実験結果

a)-1 離岸堤開口部における潜堤の効果

計画案1における西側の2つの浜(図-20, 21中に示すように東側からA, BおよびC浜と呼ぶ)すなわちB浜とC浜の開口部には、潜堤が設けられている。実験ケース1では、この潜堤の天端高が-6 cm(現地換算-3 m)であり、ケース2では-4 cm(現地-2 m)である。実験結果から潜堤天端高の効果を見ると次のとおりである。

図-24は、ケース1および2における波作用前と波作用360分後の水深変化量の分布を示すものである。B浜、C浜共に、浜の西側(図で右側)の離岸堤背後に著しい堆積が生じ、波向に対して開口部の正面付近が侵食されている。浜の東側離岸堤背後にも、わずかに堆積の部分がある。図において、ケース1と2を比べて見ると、先ず目を引くのは、潜堤の天端の高いケース2で堆積部分が潜堤が低いケース1より著しく狭くなり、逆に侵食部分が広がっていることである。これに対応して、堤外への

流失土量もケース2の方が多し。しかし、侵食あるいは堆積部分の最大水深変化量あるいは綫の最大変化量を比べると、表-7のとおりとなり、C浜の綫変化量を除いて天端高の高いケース2の方が、激しい変化部分が弱まり多少地形変化が穏やかである。

また、最大の堆積や侵食の生じている位置は、ケース2の場合、ケース1に比べて多少西側にシフトされており、浜の平均的方向が多少東向きに変化していることがわかる。

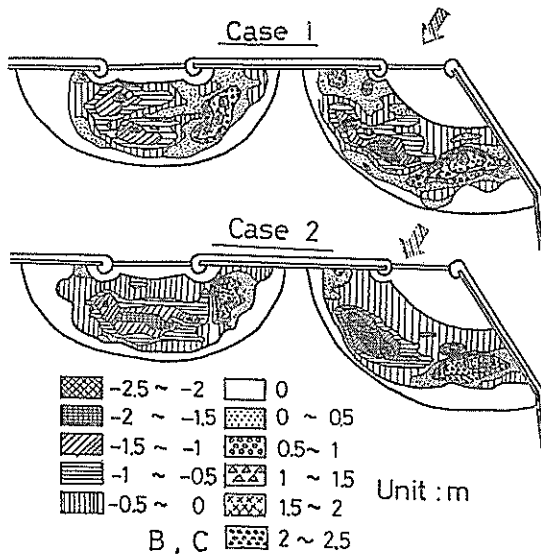


図-24 ケース1とケース2のB,C浜の水深差分図

表-7 計画案1における潜堤天端高の綫変化に対する効果
最大水深変化量

	ケース1 (潜堤-6 cm)	ケース2 (潜堤-4 cm)
B 浜	3~4 cm	3~4 cm
C 浜	4~5 cm	3~4 cm

最大綫変化量

	ケース1 (潜堤-4 cm)	ケース2 (潜堤-4 cm)
B 浜	25 cm	18 cm
C 浜	28 cm	32 cm

図-25, 26は、ケース1, 2における海浜流および波高の分布を示している。海浜流について見ると、B浜では、ケース1で開口部の西側から堤内に入り、堤内で時計廻りに流れて堤外に流出する流れがあるように見える

が、堤内の流れは複雑であり、これと明瞭ではない。C浜に関しては、明らかに堤内で反時計まわりの流れが認められ、これが西側離岸堤背後へ土砂を輸送し堆積させる外力であったことがわかる。潜堤の天端高を高くしたケースにおいても、こうした海浜流のパターンに大差なく、ただC浜において流れが強くなり、反時計まわりの環流が明瞭になっている。

堤内の波浪分布を図-26によって見ると、一般に開口幅の広いB浜がC浜に比べて波高が高い。また、潜堤天端高を高くしたケース2では、B浜ではケース1に比べて相当波が小さくなるが、C浜では波高に大きい変化はない。ただ、波高の分布形状を見ると、ケース2の方がケース1に比べて堤内の西側へ波高分布がずれており、西側の離岸堤背後の波高が増大している。これは、天端高の増大によって潜堤の位置で波向が開口部に直角にな

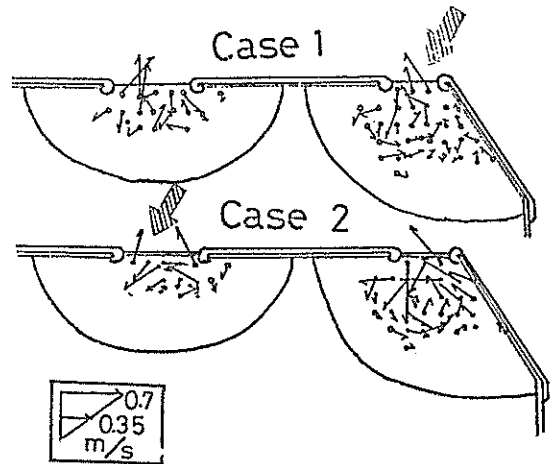


図-25 ケース1とケース2のB, C浜の流況図

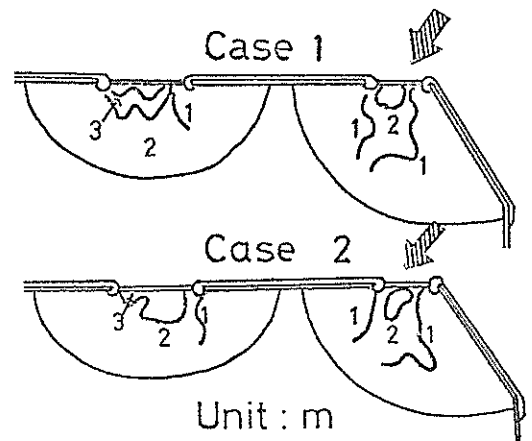


図-26 ケース1とケース2のB, C浜の波高分布図

るように変化するためであり、地形変化の分布(図-24)において、侵食・堆積位置がケース2で西にシフトしていたことに対応しているものと思われる。

a)-2 離岸堤開口部の幅の効果

実験ケース2と3とでは、他の諸元はすべて同じであり、離岸堤開口幅のみが異っている。海浜の利用上の観点からは、浜からの眺望を妨げる離岸堤の存在は嫌われる場合が多い。このため、ケース3では開口幅を多少広くし、B浜に対して115 cmから155 cm(現地92 mから124 mへ)、C浜について70 cmから92.5 cm(現地56 mから74 mへ)変えた。

ケース2および3に対する水深差分布図を図-27に示した。開口幅の広いケース3においては、侵食も堆積も激しく、例えば、最大水深変化量がB浜で侵食部4~5 cm(現地2~2.5 m)、堆積部5~6 cm(現地2.5~3 m)に達するが、開口部の狭いケース2では、前述した表-7に示したようにこれらの値が3~4 cm(現地1.5~2 m)である。しかし、ケース3においては、侵食部分の面積と同程度あるいはそれ以上に堆積部分が広がっており、堤内からの流失土砂量はむしろケース2よりも少ない。

図-28, 29には、両ケースの海浜流および波高の変化を示している。ケース3ではケース2に比べて、一般に海浜流が強く、堤内における反時計まわりの環流が一層明瞭である。これは、開口部を広げることによって開口部正面で堤内深く波高の高い波が侵入し、てい線に近い部分での波高の沿岸方向分布に高低差のコントラストが著しく現われているためである。

このような海浜流および波浪分布の傾向が、侵食・堆積のコントラストの大きい地形が形成される原因であると言って良い。

開口部の幅を広げたケース2と3の比較においても、潜堤の天端高の効果と比較したケース1と2の間においても、堤内の海浜流の強さと堤内の波の大きさは、堤外へ流失する土砂の量と比例していない。土砂の堤外への流失量に関しては、著者の一人は堤内へ侵入する波のエネルギーと比例すると述べているが、¹⁾これらのケースに関しては、これと明らかに整合しない。堤外への流出は、堤内での土砂の移動量のみでなく、堤外へ向う流れの特性や堤端のきわめて近傍での土砂移動に支配されているはずである。したがって、少なくとも実験値については、全ての実験結果を堤内に侵入するエネルギーと単純に結び付け得ると考えるのは、明らかに問題である。勿論、流失土砂と波による侵入エネルギーを関連付け得るケース群があるであろうが、共通的議論をする場合には、これらのケース群の条件の特性に関する一層の解析が必要

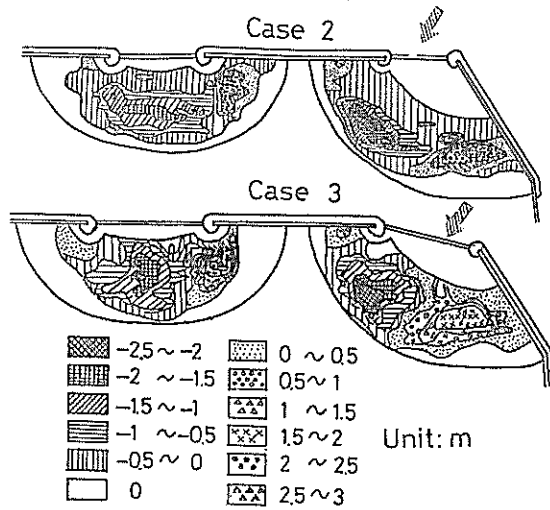


図-27 ケース2とケース3のB,C浜の水深差分布図

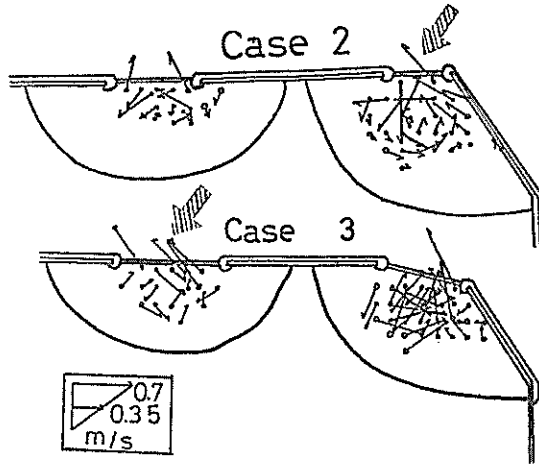


図-28 ケース2とケース3のB,C浜の流況図

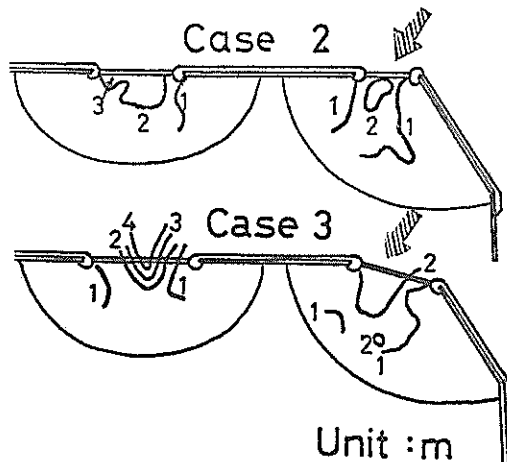


図-29 ケース2とケース3のB,C浜の波高分布図

のように思われる。

a)-3 A浜の中央に設けた突堤の効果

計画案1には、開口部前面に潜堤を設置しない浜がある。図-20Cに示すA浜がそれにあたる。実験ではケース1と2ではA浜に関しては構造物等の変更はなく、実験条件も同じであるために、ケース2ではA浜についての測定は行っていない。しかし、ケース3では堤内土砂の西から東への移動を減じるために、浜の中央部付近に突堤を設け、その効果を検討した。

浜に突堤がない時には、A浜は図-30(a)に波作用360分間の水深変化として示されるような変化を示す。すなわち、侵食は東側突堤背後を除き、浜の中央部と西側全域で生じ、特に浜の中央部よりやや西側よりの波作用前の+3mのコンタライン付近で最も著しく、その侵食厚さは、最大8~10cm(現地4~5m)である。侵食された砂は、主に東側離岸堤背後の突堤周辺に堆積している。堆積が特に著しいのは、突堤先端部西側であり、そこでは最大10~12cm(現地5~6m)の堆積がみられる。

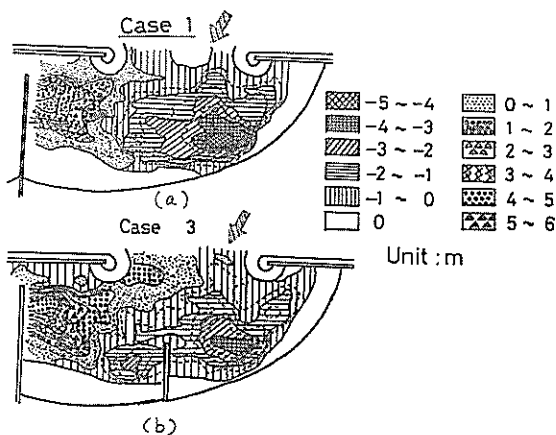


図-30 ケース1とケース3のA浜の水深差分図

これに対して、浜の中央部に突堤を設けたケース3に対する水深差分布(図-30(b))では、侵食地域が東側に拡がり、突堤の東側にも相当量の侵食が生じている。一方、堆積部は、突堤のないケースに比べて、沖合で離岸堤開口部に向けて舌状に伸びるようになっている。しかしながら、変化量は突堤の設置によって減少し、い線の変化で比較するとケース1が最大前進約100cm(現地80m)、最大後退約85cm(現地70m)であるのに対し、ケース3では、最大前進約85cm、最大後退約68.5cmにとどめられる。また、堆積厚、侵食厚の最大

値について見るとケース3ではケース1に比べて2~4cm(現地換算1~2m)小さくなっている。

図-31は、ケース1とケース3におけるA浜での海浜流の分布を示したものである。まず、海浜流について見ると、流れのパターンそれ自体に大きな変化はなく、時計まわりの環流が見られ、これが東側離岸堤背後への土砂堆積の原因となっているが、ケース1と3を比較すると、この環流の中心がケース3で多少西にシフトされているようであり、これが、突堤を出したケース3で沖での堆積が開口部にまで伸長した原因であろうと思われる。

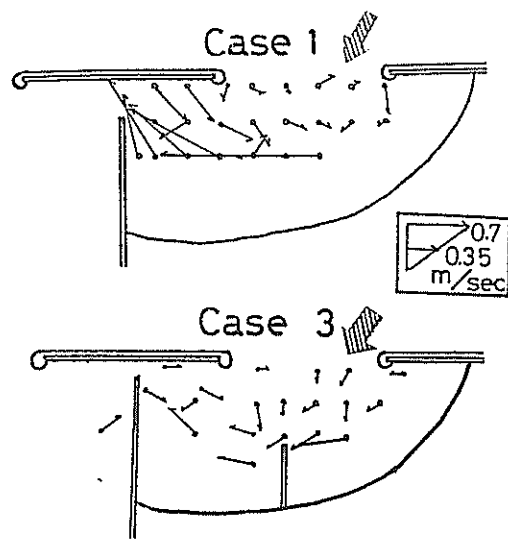


図-31 ケース1とケース3のA浜の流況図

a)-4 実験波高の相違の効果

実験ケース4は、異常時の波浪条件を用い、地形変化および浜内の流れがどのようになるか検討したものである。このケースでは、A浜にはケース3と同様に突堤を設置し、B、C浜はケース1と同じ外郭施設を用いている。

図-32はA浜についてはケース3、B・C浜についてはケース1の組合せに対してケース4の水深変化量の分布を比較したものである。

まず、波の大きいケース4についてA浜では、東側離岸堤からその背後の後浜まで最も堆積が大きく、最大堆積厚10~12cm(現地5~6m)にも達している。ここ以外にも、堆積は浜の中央部突堤の東側の後浜帯にも生じているが、西側に比較してその量はわずかである。堆積に対して侵食は浜のほぼ全域にわたっているが、著しい侵食は二箇所を中心として生じている。その一つは、中央部突堤先端の東側であり、他方は、やや沖側の

開口部西側付近である。後者の侵食位置は、ケース2～3における侵食位置よりやや沖側に移動している。突堤の先端東側での侵食は、突堤の東側に波がまわり込むことによるものであり、沖側の侵食位置は、波の砕波位置に対応しているものと考えられ、他のケースに比べてこれが沖側に位置するのは、波高が高いために砕波水深が深くなっているためと考えられる。また、侵食量は両侵食位置共に最大6～8 cm（現地3～4 m）程度である。西側の防波堤背後の一部が大きく侵食しているが、これは、波高が高いため多少越波していたためである。以上のように、波浪条件が大きいために砂の移動量が大きくなっている。

汀線変化量については、中央部突堤の東側で約88 cm（現地70 m）の汀線の後退を生じ、堆積の多い東側突堤の周辺では、てい線の前進が約150 cm（現地120 m）にも達しており、地形は初期地形から大きく変化している。

B浜では、堆積は2地域に見られる。その内堆積量の多いのは西側防波堤背後であり、最大堆積厚6～8 cm（現地3～4 m）である。また、他の堆積地域は、浜の東側の後浜一帯に見られるが、その量は少ない。侵食地域は、浜の沖側を中心として広がっていて、最も量の多い所では6～8 cm（現地3～4 m）である。てい線変化

量は、前進・後退とも約25 cm（現地20 m）程度であり、波高が高いことや堆積あるいは侵食がてい線付近を中心に生じていることを考えると、割合小さな変化と言えるであろう。また、浜の西側の後浜が侵食しているのは、波高が高いため起った越波によって起因するものであり、浜内の砂移動と直接には関係はない。

C浜では、侵食は浜の中央部の初期地形のコンタイン+2 m付近で最も激しく、東側防波堤背後から潜堤の背後にかけて広がっている。堆積は、主に浜の中央から西側防波堤背後に生じ、最大堆積厚は10～12 cm（現地5～6 m）に達している。また、わずかではあるが浜の東側の後浜でも堆積している。てい線変化を見ると、侵食あるいは堆積のために最大37 cm（現地約30 m）前後の変動がある。

図-33は、図-32と同様なケースの組合せに対して実験波高5 cmのケースと8 cmのケース4の海浜流の分布を比較したものである。ケース4でのA浜に於る流れは、中央の突堤を境に東西で2つに分れ、突堤の西側には時計廻りにまわって突堤沿いに強い離岸流となって沖へ向う流れがある。一方、突堤の東側では、岸から東側突堤と離岸堤の間を抜ける東向きの流れが生じている。その結果、東向きの流れによって砂は静穏な東側離岸堤背後に運ばれている。

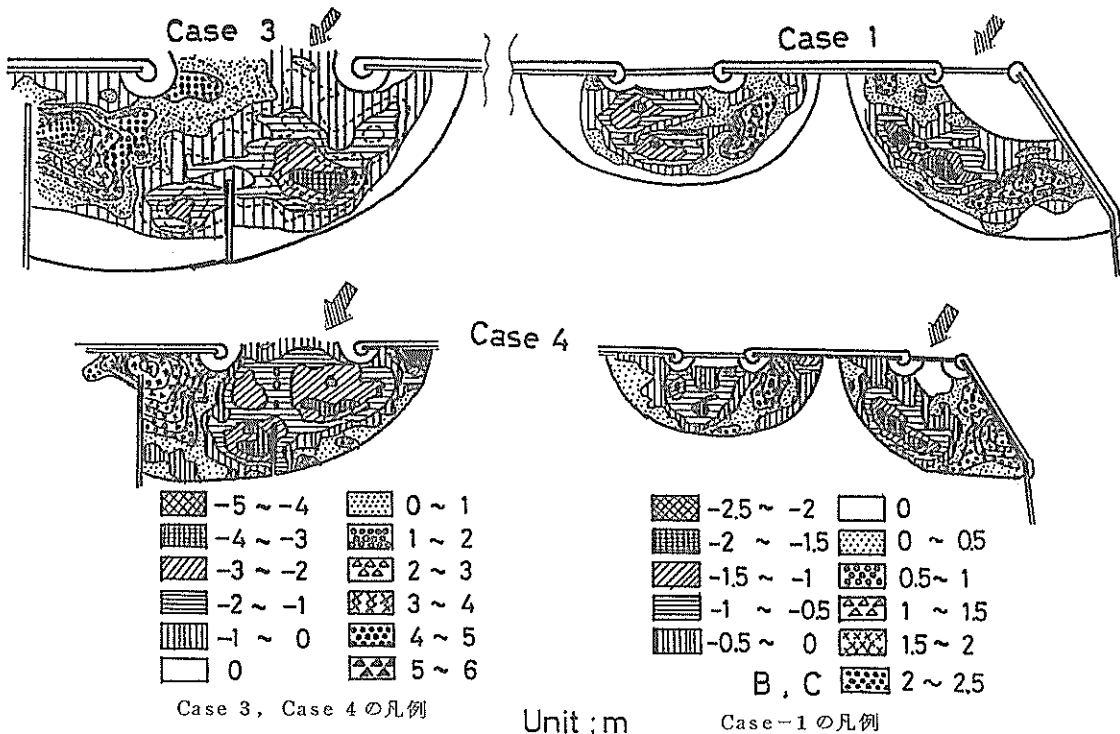


図-32 ケース3, 4のA浜およびケース1, 4のB, C浜の水深差分図

ケース4でのB浜における流れは、図から一見してわかるように潜堤東側から岸向きに流れ、浜の東側から西側に向い、そして潜堤西側から沖へ抜ける反時計回りのパターンである。西側防波堤背後への堆積はこの流れの向きと波高が低いことによるものと考えられる。

C浜における流れは、潜堤の東側から岸方向に向い浜の東側から西側へ流れ、潜堤の西側より沖へ向う反時計

回りのパターンであり、侵食地域から堆積地域に向っている。

以上のように、変化量は波浪条件の大きい程大きくなるが、一般的な地形変化のパターンは同じであった。多少現象を異にする点を上げるとすれば、各浜共に侵食および堆積の中心が多少移動することと、後浜に堆積が見られることの二点であろう。

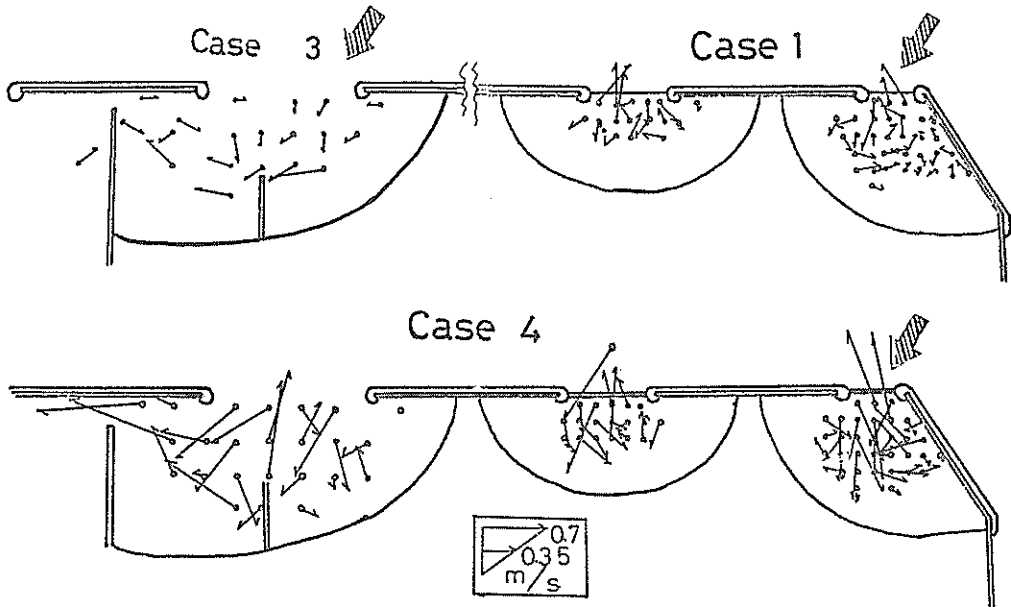


図-33 ケース3, 4のA浜およびケース1, 4のB, C浜の流況図

b) 計画案2に関する実験結果

b)-1 計画案2の検討と異った波向の効果

図-34は、計画案2の平面配置に対して、SSW方向から5cmの波を作用させたケース6と、同じ波高の波をSSE方向から作用させたケース8の水深変化量分布図を示している。

これによれば、波向SSWのケース6では、砂浜中央部で侵食された土砂は各浜の東側突堤周辺に移動している。また、侵食域は堆積域に比べて広く浅く分布し、堆積は集中して生じている。これに対応しててい線は堆積部で50~60cm(現地40~50m)前進しているのに対して、侵食部では25cm(現地20m)程の後退であった。このケースでは、沖へ土砂が流出しているような傾向はほとんどなく、全侵食量と全堆積量が堤内でバランスしているものと考えられる。

一方波向がSSEのケース8では、各浜の中央部一帯で侵食し、各突堤の周辺を中心とした離岸堤背後に堆積しており、ケース6と同じである。しかし、各浜共、浜の東側における堆積位置がケース6の場合に比較して西に

ずれ、またA浜、B浜における最大の堆積は、浜の東側突堤の西側にあり、ケース6とは逆になっている。各浜を比較すると地形の変化はA浜において最も大きく、C浜において最も小さい。

A浜では、浜の東西でてい線が37.5~50cm(現地30~40m)前進し、中央部で32cm(現地25m)程度後退し、結果的に初期のてい線形状に比較して円弧の半径が小さくなっている、A浜の円弧の半径は3つの浜の内最小である。またB浜においても、傾向としてはA浜と同じであり、浜の東側と西側の突堤の周囲に堆積している。この現象に伴い、浜の東側ではてい線が前進している。浜の中央部は侵食を生じ、てい線が後退している。しかし、A浜と比較した場合、てい線の前進量や後退量は少なく、円弧の半径も初期に比べると縮まっているが、A浜程の変化はない。一方、C浜においては、てい線の変化はあまり見られず、最大でも25cm(現地20m)以下の前進あるいは後退量であり、浜は安定している。堆積は浜の東側で主に生じている。これに対し、侵食は浜の中央部から西側にかけて生じている。

図-35は、ケース6およびケース8に対する各浜での海浜流を示している。波向SSWのケース6においては、西側の浜から東側の浜へ連続した流れが見られる。各浜で突堤の東側に土砂が移動していることは前に述べたが、流れの主方向が東向きであることがこうした土砂移動を引き起しているものと考えられる。

このように土砂移動により浜が不安定になることを防止するためと、海水交換を考えて提案された計画案2の実験は、海水交換の点では比較的よい結果をもたらした。しかしながら、突堤周辺に土砂が過度に集中して堆積し、突堤と離岸堤の間を埋没する可能性があり、その点は好ましいとはいえない。

一方、波向がSSEのケース8の流れは、ケース6に比

べて波が浜にほぼ直角に入射するためか、波向がSSW方向の時に見られた西から東に向うような大きなパターンはない。しかしながら、A浜とB浜間、B浜とC浜間の離岸堤と突堤間の水域には、東から西に向いA浜からB浜に、B浜からC浜に抜ける流れが見られ、この流れはそれぞれB浜およびC浜の開口部から沖に流出する。B浜においては浜の東側浜近くはこの流れに対する二次流として時計まわりの渦流が生じており、C浜では浜全体の大きいスケールの時計まわりの渦流が生じている。このような流れの方向は、砂の移動方向と相互関係があり、堆積の多い所は流れの下手側であり、突堤のように流れを阻止した所である。

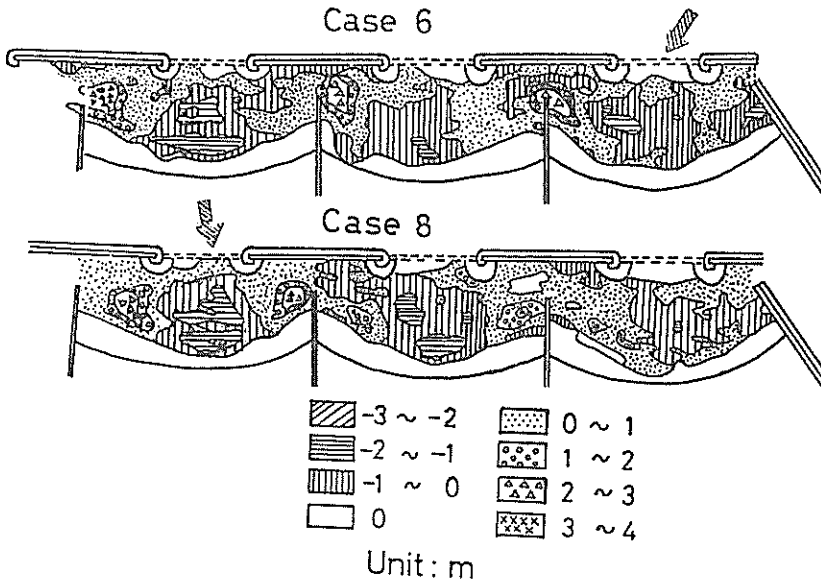


図-34 ケース6とケース8の水深差分図

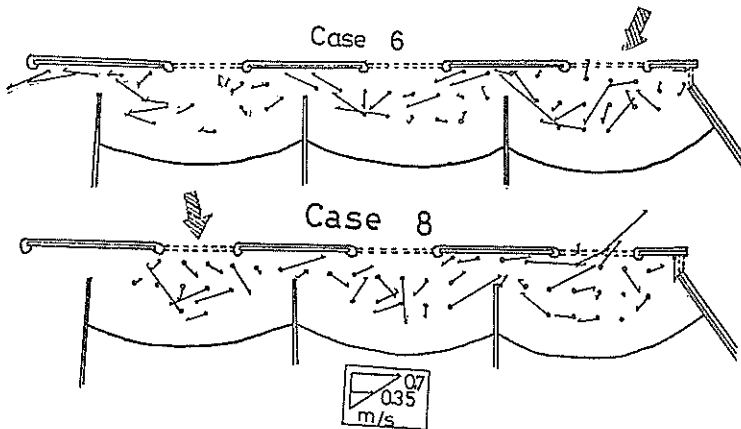


図-35 ケース6とケース8の流況図

b) - 2 離岸堤中央部に狭い開口部を設けた効果

計画案2の外郭施設の配置案とほぼ等しいケース6や8では、波向のいかんにかかわらず、侵食は浜の中央部で生じ、そこから移動した土砂は浜を区割するための突堤周辺に堆積している。そして、侵食は比較的広く浅く分布しているのに対し、堆積は狭い範囲に集中しており、ややもすれば離岸堤と突堤の間に設けた各浜を結ぶ通水路をふさぐことにもなりかねない程になっている。そこで、ケース9として、離岸堤の中央部の一部を潜堤とし、そこから入射する波でここへの土砂堆積を抑制しようと試みた。

図-36は、狭い開口部を設けたケース9と、この開口部のないケース8とに関して、水深変化量の分布図を示すものである。この図によれば、ケース6や8で堆積が見られていた突堤先端部が、ある程度の侵食を見せており、しかも、各浜の中央部の侵食は、波向の同じケース8と比べて小さくなっている。各浜ごとに変化を考えると、

A浜、B浜、C浜の順に地形変化が小さく、特にC浜では初期の地形に近い地形が得られている。したがって、開口部を設ければ、他のケースに比較して地形変化が少なく、初期地形に比較的近いままで地形が保たれるということを意味し、外郭施設配置はこれまでのケース中でケース9が最良といえるであろう。

流れの基本パターンは図-37に示されているように、ケース8に似かよっている。すなわち、A浜において浜の東側に時計まわりの環流があり、A浜からB浜に抜ける流れがある。この流れはB浜の開口部から沖へ流出し、B浜の東側にもまた、時計まわりの環流がある。C浜においては、浜の中央部に時計まわりの環流があり、その沖でB浜から流入し、C浜の開口部に抜ける流れによって各浜間を繋ぐ流れが強められている。このように流れのパターンは、ケース8と似ているため、地形変化のパターンも突堤周辺の侵食を除いてほぼ同じである。

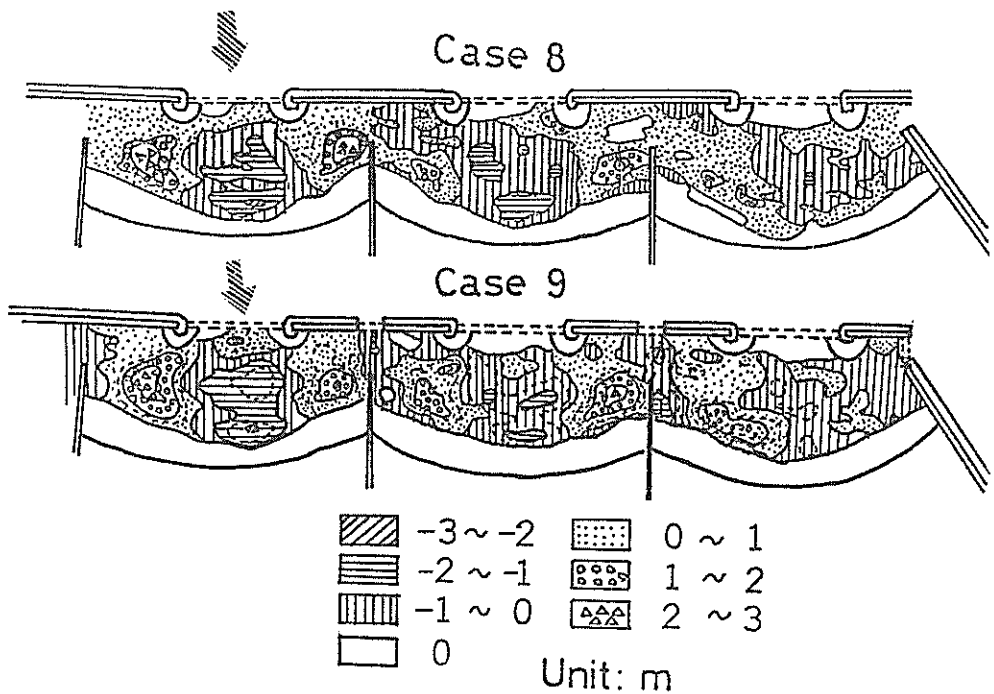


図-36 ケース8とケース9の水深差分図

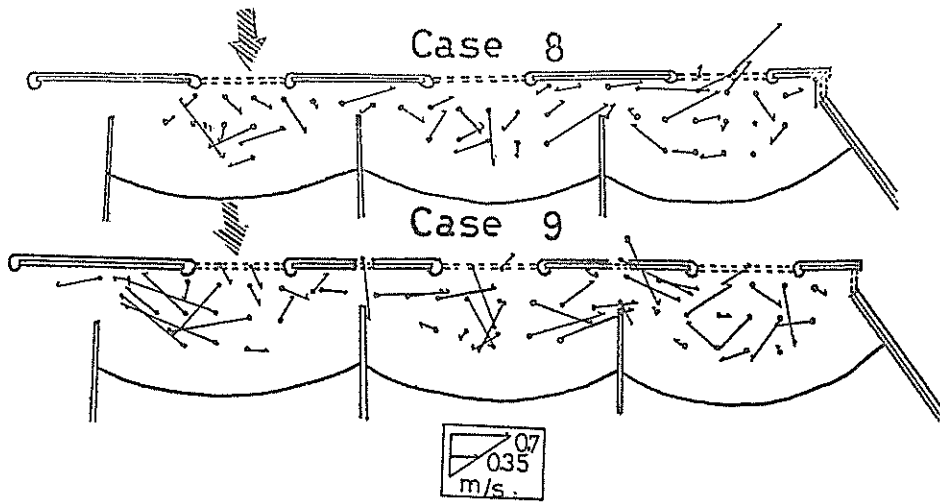


図-37 ケース8とケース9の流況図

b) -3 実験波高の相違の効果

異常時の波浪に関しては、波向SSWとSSEの双方についてチェックした。波向SSWに対して異常時波浪8cmを作用させたケース7に対する水深変化量分布図を、同一の施設配置、波向で波高5cmのケース6のそれと共に図-38に示す。

ケース7では底質の移動量が大きく、各浜の堆積・侵食とも最大値が大きい。波の小さいケースで突堤の西側にあった最大の堆積位置は、突堤の東側に移っているが、このケースでも主たる堆積は各突堤の周辺を中心とした離岸堤背後で、侵食は浜の中央部を中心として生じている。しかし、詳細に見ると、地形変化のパターンには、各浜で多少の相違がある。

A浜は浜の中央部での侵食が後浜にまで達しており、最大の侵食位置が初期のてい線より後浜側であって、その侵食厚は8~10cm(現地4~5m)である。一方、堆積は浜の東側と西側では大きく、特に西側では波作用6時間後にはてい線が離岸堤に達するほどであり、その地域において最大の堆積厚が8~10cm(現地4~5m)である。こうした砂移動によって、浜は円弧の半径が初期に比べて小さくなっている。B浜でも同じようにてい線は浜の東側と西側で大きく前進し、波作用6時間後には前進量が80~100cm(現地64~80m)にも達している。しかし、浜の中央部でのてい線の後退量は25cm(現地20m)程度と、A浜のそれに比べ小さい。このため、B浜の円弧の半径は、A浜の円弧の半径より大きいように見える。B浜で侵食量が最も多かった地域は、浜の中央よりやや東寄りの波作用前のてい線付近であり、その背後の後浜には、リッジが形成されている。B浜におけるこの

リッジの形成は、後浜が最も侵食したA浜との最も著しい相違点である。C浜では、A浜やB浜に比べて堆積は少ない。後浜には、B浜と同じくリッジが形成され、西側の開口部背後にも多少の堆積が見られる。侵食は、浜の中央部全域に広がっているが、最も激しい箇所は蓄堤背後である。浜の西側の後浜で著しく侵食しているのは、越波によるものであり、他の地形変化とは性質の異なるものである。

ケース7における海浜流の状況は、同じく波高の効果と比較するためにケース6のそれとともに図-39に示した。

浜の流れは、A浜とB浜間ではB浜の西側からA浜の東側まで東向きの流れである。また、C浜では西側蓄堤付近から浜を西側から東側に流れ沖へ抜ける流れのパターンであり、ケース5や6のようなB浜に向う流れは見られない。

以上のように、ケース7では波の小さい時にくらべ、各浜の形状や位置的な条件の違いが地形変化に大いに影響しているように思われる。

さらに、SSE方向の波のうち、他の条件が同じで波高のみ異なるケース10とケース9とにおける水深変化量分布図を図-40に示す。これによると、A浜においては、浜の東側に堆積が集中し、浜の中央部および西側の突堤周辺において侵食が激しい。西側突堤周辺の侵食は、ケース9の場合と異なり、突堤の東西両側に生じているが、東側の侵食の方がやや激しい。また、浜の中央部を境に、汀線が東側で約75cm(現地60m)前進、西側で平均約25cm(現地20m)後退し、この結果、浜は多少西向きにその平均方向を変えている。また、量は少ないが、西側の突堤のすぐ近くを除いて、浜全体の後浜に堆積が

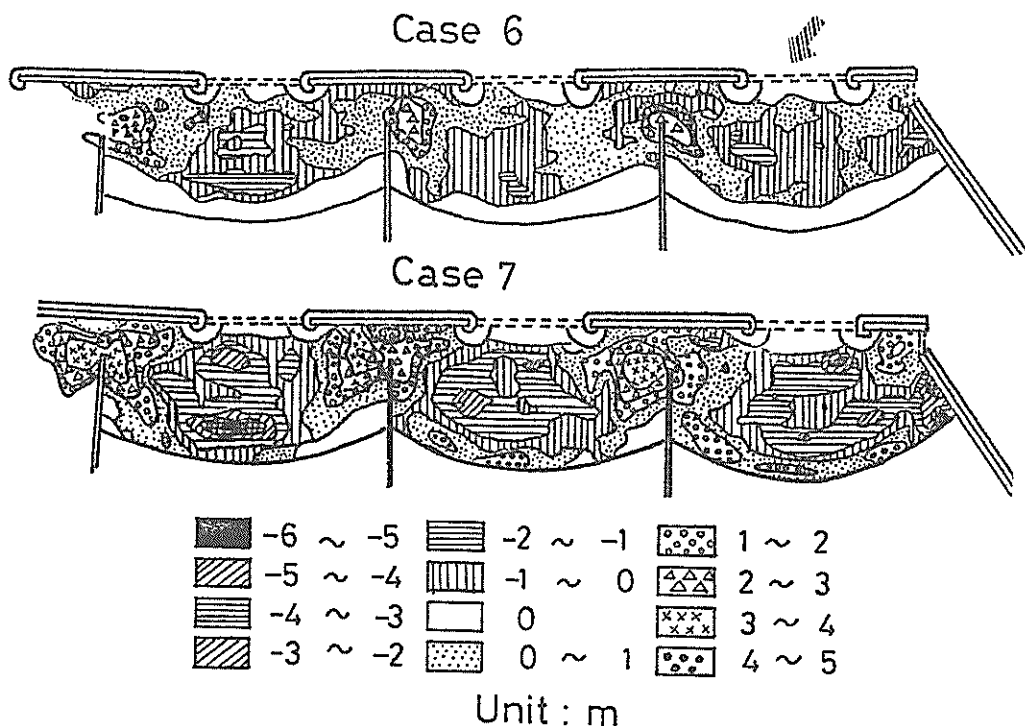


図-38 ケース6とケース7の水深差分図

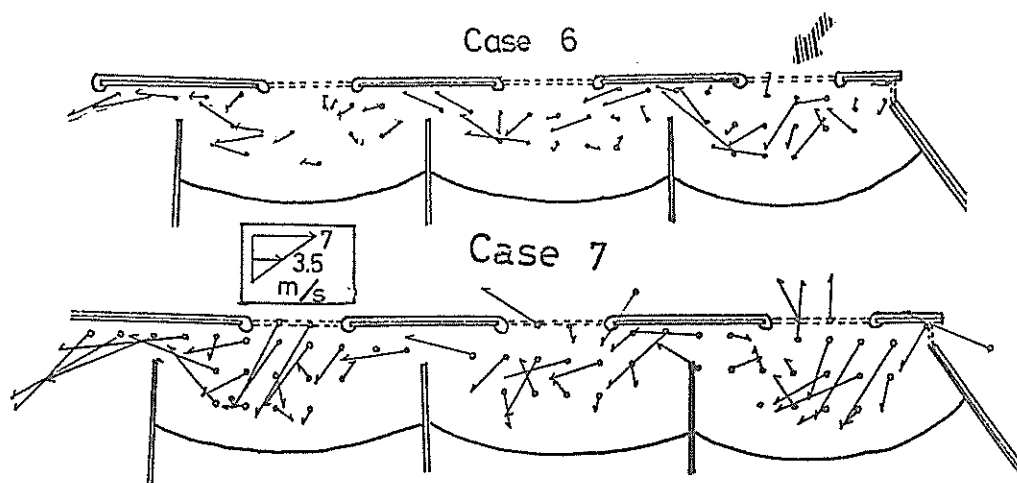


図-39 ケース6とケース7における流況図

見られる。B浜は浜の中央部潜堤の背後と、東側突堤周辺に著しい侵食が見られ、西側突堤先端部でも小規模な侵食がある。全体的には、堆積面積の方が侵食面積に比較して大きい。堆積は、浜中央部の後浜を中心にして東西に広がっているため、てい線は浜の中央部一帯で約25 cm (現地 20 m) 程前進し、ケース9と違った結果になっている。C浜では、堆積は浜の東側から中央部付近ま

でのてい線近傍や後浜において生じている。また、西側突堤の開口部周辺でも堆積している。一方、侵食は浜の中央部の潜堤背後において最も激しい。しかしながら、C浜では、ケース9と同様に、てい線変化量が少なく、ほぼ初期の形状を保ち得ている。

図-41は、ケース10の海浜流パターンをケース9のそれとともに示すものである。これによると、A浜では、時

計まわりの流れが生じており、浜の東側から沖へ向う流れと、東側突堤と離岸堤間の水域に向う流れにわかれてゐる。この内、沖へ向う流れはケース9では現れてゐない。B浜では浜の両側から沖の中央部に向い、そして開口部の中央部から沖へ抜けて行く流れが見られる。これは、浜の両側にある開口部から入射する波による効果であるが、ケース9では、こうした開口部からの入射に

よる効果は幾分弱く、それよりも波向が浜の正面からやや左寄りであることが、流れの方向を支配しているようであつたのと異なる。一方、C浜ではケース9が浜内で時計まわりの流れが生じ、東側離岸堤端から沖へ向う流れであつたのに対して、ケース10では沖へ向う流れは現れておらず、浜の西側の開口部へ向う流れやB浜に向うような流れであつた。

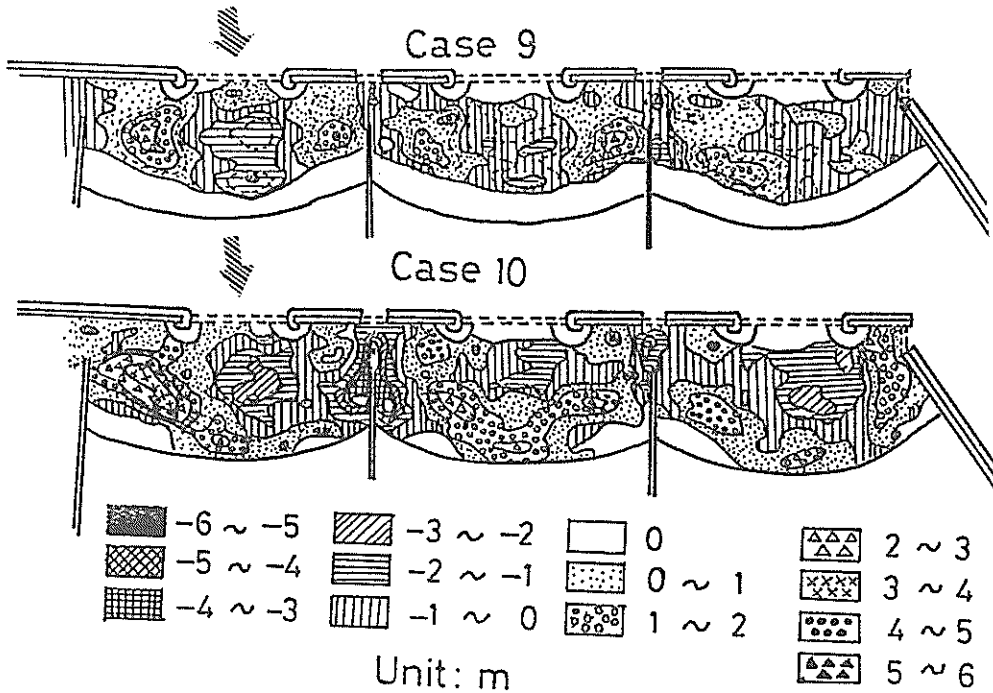


図-40 ケース9とケース10の水深差分図

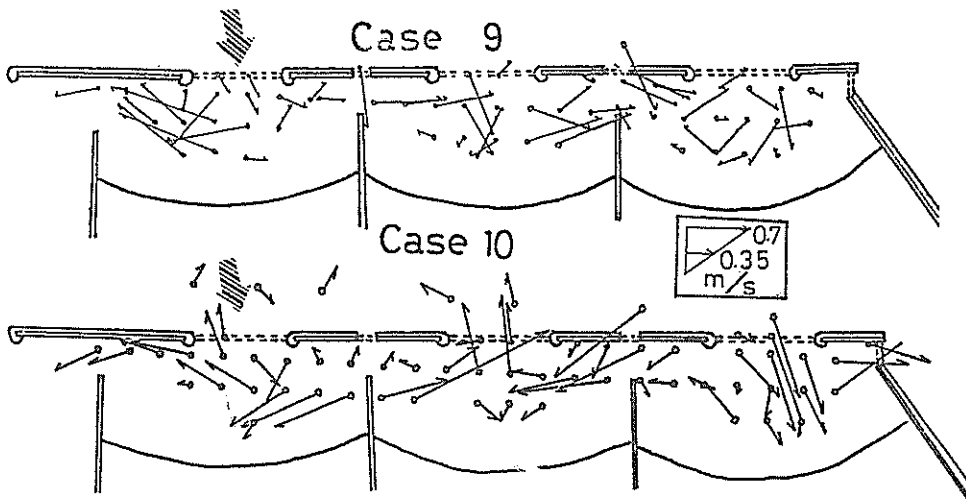


図-41 ケース9とケース10の流況図

4) 各配置計画の評価

a) 海浜の平面配置上の評価

利用者の立場から考えると、1単位の浜の延長が長く、防波堤等で囲まれた水域が広く、さらに海浜の前面の離岸堤等は短かくて開口幅の広いほど閉そく感が少なくなって望ましい平面配置であろう。このような観点から各配置計画案を比較すると、表-8のとおりである。表において、実験ケース1から4の配置は計画案(1)を基本として多少の改良を加えたものであり、実験ケース5~10は計画案(2)に基づいて改良を加えたものである。浜の延長および水域の広さについては、計画案(1)に基づく配置案に比べて計画案(2)に基づく配置案の方が大きい。前面の離岸堤の設置位置は、計画案(2)のほうが計画案(1)よりわずかに沖側にあるが、その差は小さい。このため、水域面積と砂浜延長の増加によって、背後の埋立地面積が減少することになる。しかし、計画案(2)において浜や水域に取込まれているのは、計画案(1)において相隣る

浜の間の三角形の狭い土地であり、この狭い土地の利用価値を考えると、これを海浜に取り込むことは計画案(2)の欠点であるとは思えない。

開口部の幅は、ケース9,10に相当する第二期計画案の中で最も西側のC浜に、第二開口部を設け、各離岸堤の中央部30mの間を±0mに下げた配置において最も広くなる。離岸堤の天端高を下げた30mの部分は、突堤の正面に当たっており、突堤上からの眺望を良くするためにも、また効果的であるものと思われる。

以上のように、海浜利用上の観点から平面配置案を評価すると表-8の最右欄に示したような順位を付けることが出来る。

b) 海浜の安定上の評価

海浜安定性の評価指標として、各浜水中の平均水深変化、てい線の最大後退量および最大後退量と最大前進量の和を各ケース毎に示すと、表-9のとおりである。ここ

表-8 各配置計画案の諸元の比較

実験 ケース	砂浜の延長				水域の面積				開口部の幅				外部施設の平面配置	評価
	A 浜	B 浜	C 浜	合計	A 浜	B 浜	C 浜	合計	A 浜	B 浜	C 浜	合計		
1,2	363	221	264	848	29500	9000	15500	54000	190	92	56	338	計画案(1)	5
3	150+213	221	264	848	29500	9000	15500	54000	190	124	74	388	開口幅・拡大+A浜に突堤+計画案(1)	4
4	150+213	221	264	848	29500	9000	15500	54000	190	92	56	338	計画案(1)+A浜に突堤	5
5	349	344	344	1037	27900	26400	25300	79600	103	108	103	314	計画案(2)	3
6,7,8	349	344	344	1037	27900	26400	25300	79600	103	108	103+28	342	計画案(2)+C浜に第二開口	2
9,10	349	344	344	1037	27900	26400	25300	79600	103+30	108+30	103+28	402	計画案(2)+C浜に第二開口+離岸堤に開口	1

注) A 浜: 第二期計画で東側の浜
B 浜: " 中央の浜
C 浜: " 西側の浜

表-9 各ケースにおける砂浜安定指標の一覧

実験 ケース	平均水深変化 (cm)				てい線の最大後退量 (cm)			最大後退量+ 最大前進量 (cm)			外 部 施 設 等
	A 浜	B 浜	C 浜	全海浜	A 浜	B 浜	C 浜	A 浜	B 浜	C 浜	
ケース1	●-0.8	△-0.1	△-0.2	-0.6	●58	△13	△24	●122	○23	△42	計画案(1)潜堤天端(B)-6cm, (C)-6cm
2	●-0.8	●-0.6	△-0.4	-0.6	●58	△10	△24	●122	○23	△38	同上 " (B)-4cm, (C)-4cm
3	△-0.3	△ 0	△ 0	0.0	●42	△13	△26	●100	△48	△52	(A)浜に突堤, (B)(C)浜の開口拡大, 潜堤天端(B)-4cm, (C)-4cm
5	△-0.4	△ 0	△-0.2	-0.9	△14	△13	○ 6	△ 54	△48	△38	計画案(2)
6	△-0.3	○+0.3	△-0.1	-0.2	△14	△11	△10	△ 80	△51	△48	(C)浜に第二開口部 波向SSW
8	○+0.1	△-0.2	○+0.1	0.0	△19	△11	○ 6	△ 54	△32	○16	ケース(6)に同じ 波向SSE
9	△ 0	○+0.1	○+0.1	-0.3	△18	△10	○ 6	△ 60	△40	○21	離岸堤に開口部 同上
4	-1.1	-0.7	-0.6	0.0	56	19	32	152	43	67	ケース(1)に同じ 波高8cm 波向SSW
7	-0.1	-0.1	-0.7	0.0	19	35	16	79	96	46	ケース(6)に同じ " "
10	+0.1	+0.3	-0.4	0.0	35	40	18	81	59	37	ケース(9)に同じ 波高8cm 波向SSE

注) A 浜: 第二期計画で東側の浜
B 浜: " 中央の浜
C 浜: " 西側の浜

に、最大後退量と最大前進量の和は、てい線変化の激しさを示す指標であり、当初の砂浜の平面形状が波などの自然外力によって形成されるてい線形状と似ている程、小さな値となり砂浜は安定になる。表-9において実験波高5 cmの各ケースの各欄に示したマークは、各評価指標について最も好結果を与えていると思われるケースに白丸を、最も悪い結果を与えていると思われるケースに黒丸を付し、他のケースには中位の結果評価△印を付したものである。

表-9から明らかなように、計画案(1)を基本として改良された各ケース、すなわちケース1~ケース3に関しては、B浜における「最大後退量+最大前進量」の値を除いてすべて計画案(2)を基本とするケース5~ケース9よりも砂浜の安定度が悪いと考えて良い。計画案(2)を基本として改良された配置案相互間では、砂浜の安定性に関して大差はない。まず波向の同じ計画案(2)のケース5とC浜に第二開口部を設けたケース6を比べると、平均水深の変化に関してはA、B、Cすべての浜においてケース6の方が安定である。一方でい線の最大後退量に関しては両ケースに大差はなく、また最大後退量と最大前進量について見るとい線の局所的な前進の小さいケース5の方が小さい値を示している。したがって、この両ケースに砂浜安定上大差はないが、しいて言えば、ケース6が多少安定性が高いものと考えることが出来る。次にケース6と全く同じ配置に対してSSE方向から波を作用させたケース8と離岸堤の中央部の天端高を下げたケース9を比べると、この場合も両者の安定性の差は極くわずかであるが、しいて言えばケース9の配置の方がケース8の配置より安定性が高い。すなわち、平均水深の変化量および最大てい線後退量ではケース9がケース8よりわずかに小さく、最大侵食量と最大前進量の和ではわずかに大きくなっている。

したがって、配置計画案(2)に改良を加えた3種の配置案間の優劣については、配置案(2)のC浜に第2開口部を設け、離岸堤の中央の30 m間の天端高を±0 mにまで低下させた配置が最も砂浜の安定性が高く、配置計画案(2)の原案が最も安定性が悪いと考えて良い。

c) 海浜内の水の流通性の評価

図-42は、波高5 cm、周期0.85秒の各ケースにおける各浜での流れのパターンを示すものである。矢印は流れの流跡を、また矢印の太さは流速をほぼ表わしている。

各砂浜の水域を連続させた配置計画案(2)を基本型とした配置に波が斜めに入射する場合には、海浜中には各浜を貫通した蛇行流が生じており、海浜の中で環流する傾向は弱まっている。このように、各浜間で流れが連続し

て流通し、環流を弱めることが、浜内での汚染の拡散に有効であることは、佐藤等^{6),7),8)}の実験によって確かめられている。したがって、配置計画案(2)の方が(1)より海浜において発生する汚染源の拡散にとって有効であると言えるであろう。さらに配置計画案(2)の改良ケースについて見ると、計画区域の西側のC浜に第二の開口部を設けることにより、前述した蛇行流は一層明瞭になり、環流が弱まっている。

このような配置であっても、ケース8、9のように、波が正面から入射するようになれば、海浜中での蛇行流の傾向は弱まり、浜内で環流を生じやすくなる。しかし、この傾向はケース9に見るように離岸堤の中央部の天端を下げて越波させることによってかなり改善されている。

以上述べて来たように、海浜の利用、海浜の安定、海浜内の汚染拡散のいずれの観点から見ても、ケース9、10の実験対象となった配置、すなわち、C浜に第二開口部を設け、離岸堤中央部の天端高を下げた配置が最も優れた結果を与えており、最も好ましい配置案と言えるであろう。

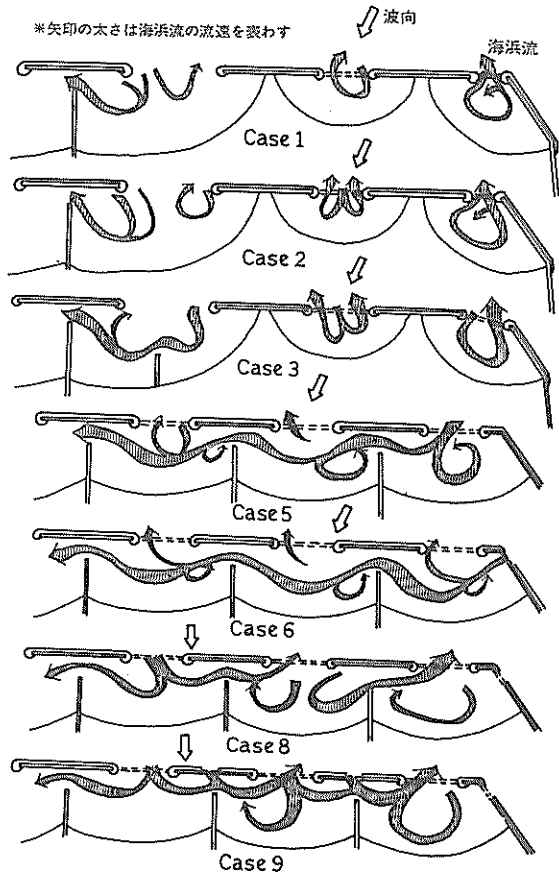


図-42 各ケースにおける海浜内の流れのパターン

3. 人工海浜に伴う外郭施設の効果と配置

3.1 離岸堤

1) 離岸堤の周辺に生ずる現象

離岸堤は、その岸側に底質を堆積させ、あるいは背後の海岸への波当りを弱める目的で設けられる通常は海岸線に平行方向に伸びる構造物である。離岸堤の背後の陸側の水域には、波からしゃへいされた静穏な領域が形成され、それに誘発された特殊な海浜流や底質移動等、一連の現象系が形成される。この系の形成は、外的条件の多少の相異に左右されず、きわめて確実であり、また現象のパターンは安定である。

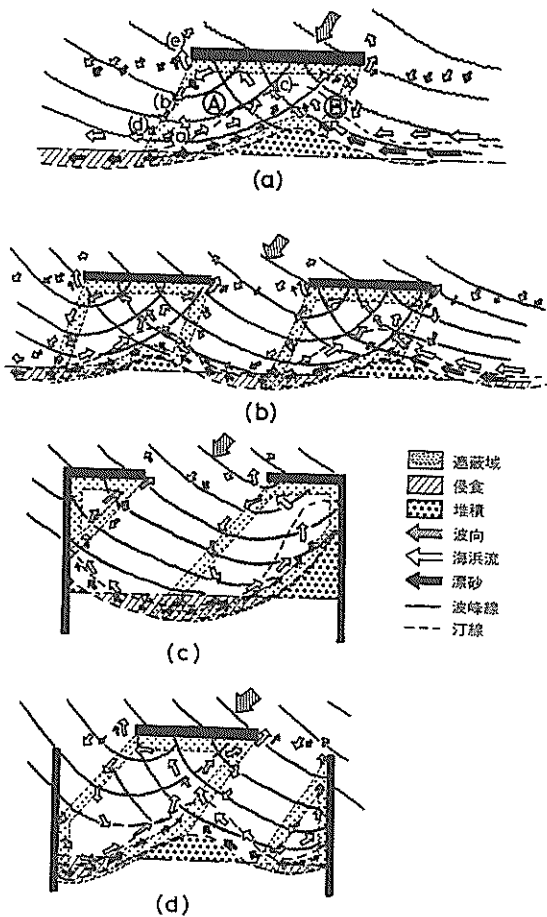


図-43 離岸堤背後の流れおよび地形変化のパターン

図-43は、典型的な離岸堤配置に関して、現象のパターンを模式的に描いたものである。これらにおいて特徴的なのは、第一に離岸堤の背後に向い、そこに環流をなす海浜流である。このような海浜流は、離岸堤背後のしゃへい域の境目辺り((a)図の(a)点)から生じ始め、次第に流

速を増しつつ離岸堤の延長の中央近くから沖向きに流れ、しゃへい域の境界線付近((a)図の(b)点)を通して再び岸向きに流れる。この途上で、流れの一部は離岸堤の端部から

((a)図の(c)点)狭い幅で沖へ流れて堤外に流れ出る。波が離岸堤およびい線に対してほぼ直角に入射すると、離岸堤の背後には、波向に対して上手側((a)図の(B))で時計回り、下手で((a)図の(A))反時計回りのほぼ等規模の環流が生ずるが、図示したように斜めに波が入射すると、環流のサイズは下手側で大きく、上手側で小さくなる。これら相隣る環流の間には、主として上手から下手へ多少の流れの分岐がある((a)図の(c)点、(d)点参照)。環流の径は、しゃへい域の広さが広い程大きい。離岸堤の背後に生ずる2つの環流に関しては、その径が、離岸堤の中心における垂線によって二分されたしゃへい域の各々の広さに比例するように思われる。

このような海浜流のパターンと、離岸堤背後において回折現象のために、波向が離岸堤背後中央部へ向う沿岸漂砂を生ずるように変化するため、漂砂の上手側では勿論、下手側においても、しゃへい域の境目より内側では離岸堤背後へ向う底質の移動が生じ、これらの底質が静穏なしゃへい域に堆積していわゆるトンボロが形成される。このようにトンボロを形成する土砂の多くは、離岸堤の両側の海浜から供給されたものであるが、波によって沖合いから海浜に運ばれ、静穏域に堆積する土砂も多い。逆に堤内の土砂の一部は、前述した離岸堤の端部から沖へ向う流れによって沖へ運び出される。例えば、2.4において述べたように、人工海浜の沖法尻に法止工等が設けられ、天然の海岸にすり付いていない人工海浜においては、沖側から海浜への土砂の流入は生ずる可能性はほとんどなく、沖への流出の機会のみがある。

2) 離岸堤による砂浜安定効果

離岸堤の周辺に生ずる諸現象は、離岸堤背後における静穏域の形成に起因するものであり、堤内における沿岸方向の波高分布の差が大きい程、明瞭に現れると考えられる。図-44は、離岸堤背後におけるい線に平行な直線上での回折係数の分布を示すものである。(A)図は離岸堤の設置位置からの距離(y)の効果(考えている直線をしてい線とすると離岸堤の距岸の効果)を示しているが、同一開口幅(B)に対しては、この距離が近い程(距岸が近い程)波高の高低差は大きい。(B)図は、波の特性の効果を示している。これによると、波の方向分散係数 S_{max} が大きい程、すなわちうねり性の波程、波の高低差は大きくなる。また、一般に沿岸の波は岸に近づく程 S_{max} が大きくなって来る特性がある。したがって、(A)図に示した事実とあわせて、離岸堤が岸に近い程、離岸堤の設置に伴う諸現象が明瞭

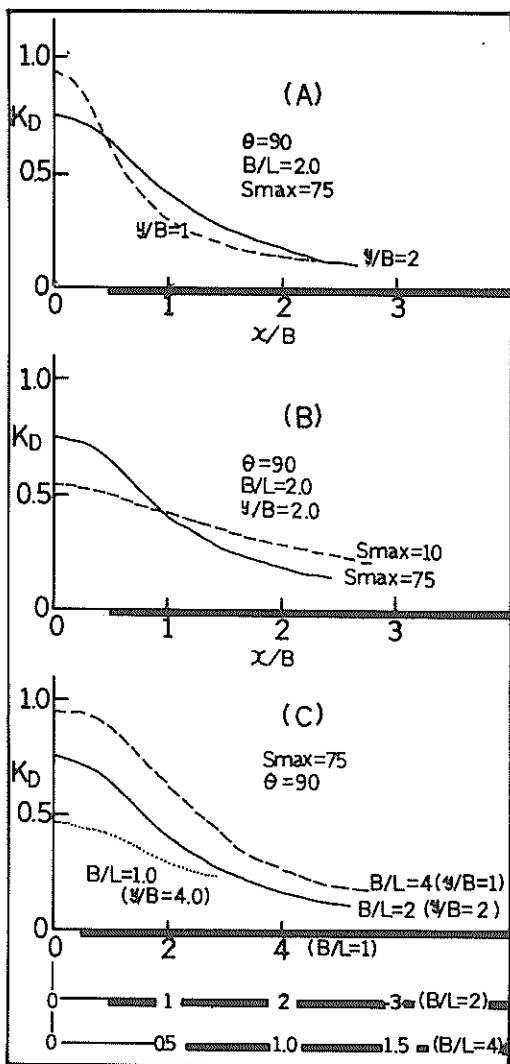


図-44 離岸堤背後の回折係数分布

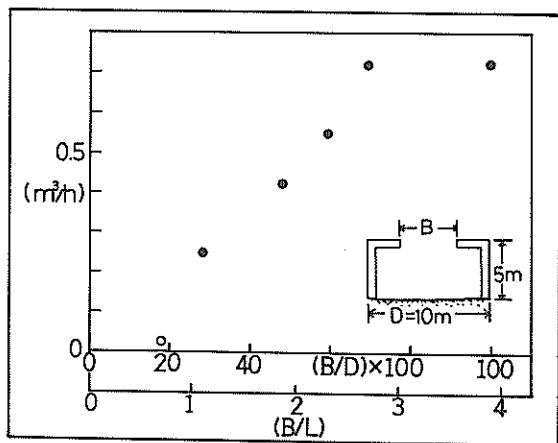


図-45 流失土砂量と B/D および B/L の関係

に現れることになる。(C)図は開口幅の効果を示しているが、開口幅が広い程、波高分布の高低差が大きく、離岸堤の効果（良い意味でも悪い意味でも）が大きくなる。

前述した2.4に示した実験においても、また著者等が新潟海岸の人工海浜について行った実験結果¹⁾においても、堤内の安定性は離岸堤開口幅の減少と共に増加し、堤外への土砂流失量は減少する傾向を示している。図-45は後者の実験における流失土砂量と離岸堤開口率（開口幅と浜の間口との比）および開口幅と波長との比(B/L)の関係を示している。これによると $B/L=2.5$ 以上では開口幅の相違の効果はほとんど見られないが、 $B/L < 2.5$ になると流失土砂量は急激に減少して行く傾向を示している。上森等⁹⁾が仁井田海岸のT型堤について行った実験においても、T型堤内に養浜した場合には流失土砂量と B/L の間に同様な傾向が見られ、 $B/L \approx 2.0 \sim 2.5$ 以下になると急激に流失土砂量が減少することが報告されている。

今新潟における実験の場合について初期の線上の波高の分布を $B/L=1, 2, 4$ の場合について求めると、図-46のとおりとなり、浜の中央部における波高と浜端部における波高の比 $(K_D)_0 / (K_D)_s$ を求め、これを B/L に対してプロットすると図-47のとおりとなる。これによると $B/L \approx 2.0 \sim 2.5$ の値は、この波高比が最大となる B/L に相当していることがわかる。すなわち、離岸堤背後の波高が高い間は堤内の波によるじょう乱が大きいため流失土砂量は当然大きい、たとえば離岸堤の直後において波高がいかに減少していても、開口部の波高が高く、両者の波高比が高い間は堤内に強い環流を生ずるた

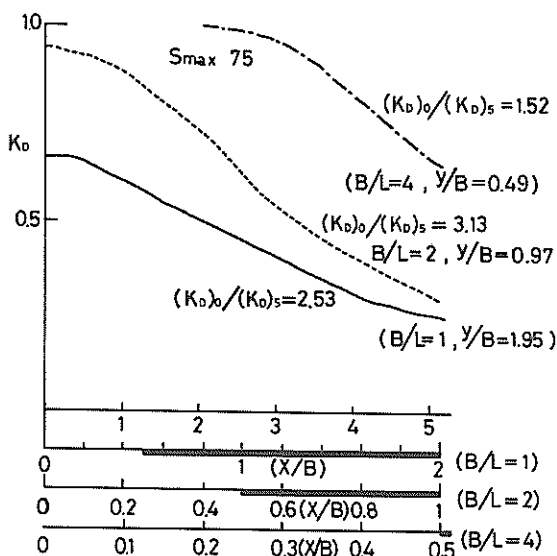


図-46 初期の線上の波高分布

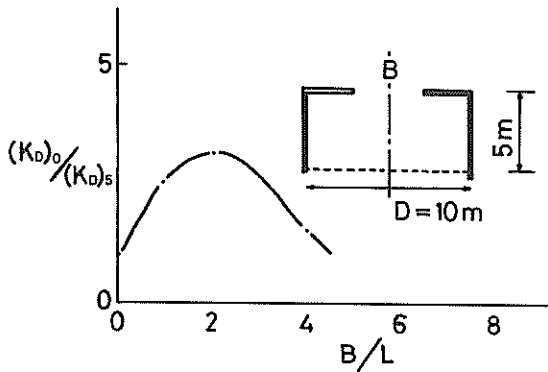


図-47 離岸堤開口幅と堤内の波高変化

め、流失土砂量があまり減少していないことがわかる。

天然海岸の場合には、波によって堤内へ持ち込まれる土砂量と堤外へ流れ出る土砂量のバランス差として正味流失土砂量が定まる。しかし、法正工を有する人工海岸の場合には、このように土砂が堤外から流入することは期待出来ない。したがって、このような人工海浜であって、高波に襲われる可能性のある地域では、相当に狭い開口幅を取らざるを得ないことになる。勿論、海浜としては開放的であることが望まれており、あまりにも狭い開口幅にすることが嫌われるのが一般的である。したがって、離岸潜堤等によって波浪を減殺することが必要となる。

3.2 離岸潜堤

1) 天端高と天端幅の効果の定性的記述

砂浜の安定性を得るためと土砂の砂浜外への流出を防止する目的で、離岸堤と似たような目的で設置されるのが潜堤であるが、その地形変化に及ぼす効果には違いがみられるようである。

2.3の二次元実験の結果をまとめた図の中で、図-17は潜堤の高さによる堤内の地形変化を表している。この各ケースの比較図から上げられた天端高の効果としては、一つには潜堤天端高が高くなるにつれて堤体直背後部の洗掘量が減少していることである。これは来襲する波によって引き起される潜堤直背後部での波の乱れの影響が天端高の増加と共に減少しているものと考えられる。また、天端高の増加は、てい線付近の侵食傾向を強めており、前浜頂部の位置を陸側にずらしている。さらに、天端高が高い場合には、堤内に沿岸砂州が二つ見られるが、天端高が低い時には砂州は一つであり、水面下においてもその地形に相違が見られる。以上のような地形変化は他の実験においても多々見られる。図-48, 49, 50はその例である^{11), 12)}。この内、図-48と49は同じ実験で得

られた結果であり、図-50は別の実験で得られたものである。図-48と49の実験条件は模型縮尺1/50であり、実験波は周期1.84秒、波高10cmである。砂浜には初期てい線から堤体まで1/30、てい線から後浜の水平部分まで1/20のこう配がそれぞれつけられている。図-48, 49内の三断面の相違点は、潜堤の天端高のみであり、天端幅その他の諸元に変更はない。また、図-48, 49は天端幅が異なっており、この実験では幅の効果も検討している。まず、図-48の三断面の地形変化を比較すると、天端高の高い程、堤直背後は洗掘量が減少している。この堤直背後の洗掘の減少とは逆に、てい線の侵食量は増加している。また前浜頂部の位置は、天端高の増加と共に陸側に移動し、その高さが増大傾向にある。図-49は天端幅を二倍にした場合の結果であるが、ここにおいても上述の結果と同じ地形変化が生じており、天端高の効果が同じように現われている。次に、図-50は模型縮尺が1/10であり、周期4.11秒、波高50cmでの波で行った実験の一例である。砂浜にはてい線から堤体まで1/30のこう配とてい線から後浜水平部まで1/20のこう配がそれぞれついている。図の二断面は堤体天端高が異なるだけで堤体幅等、他の模型諸元は同じものである。この二断面の地形変化を比較してみると、天端の高いケース2の方がケース1に比べて堤体直背後の侵食量が少ない。しかしながら、てい線付近はケース2の方が侵食しているのに比べ、ケース1は堆積を見せている。さらに、この二断面の水面下の地形変化も異なり、天端の高いケース2の方で、沿岸砂州が三箇所に見られるのに対し、ケース1でははっきりした砂州が現われていないという違いが見られた。

以上の実験から、天端高が堤内の地形変形に及ぼす主な効果として、次のことが言えるであろう。すなわち、天端高が高い時は、低い時よりも堤体直背後の侵食は弱い。しかしながら、てい線付近の侵食は天端高が高い方が大きく、前浜頂部の位置は堤体が高い程、陸側にずれる傾向がある。また、天端が高い時には、てい線と堤体間の地形が波状を呈するようになりやすい。

堤体天端高と共に堤体諸元として扱われる天端幅の効果も地形変形にどのように現われるものかを検討してみた。ここで前の図-48と49のケース1と4、ケース2と5、ケース3と6は天端高が同じであり、天端幅が異なる。これらの各断面間に見られる地形変形の特徴としてはケース1と4、ケース2と5、ケース3と6ともに天端幅の広い図-49の三断面の方が堤体直背後での侵食は少ない特徴が見られる。しかしながら堤体天端高の効果として現れた堤体直背後の侵食が減少するとてい線付近

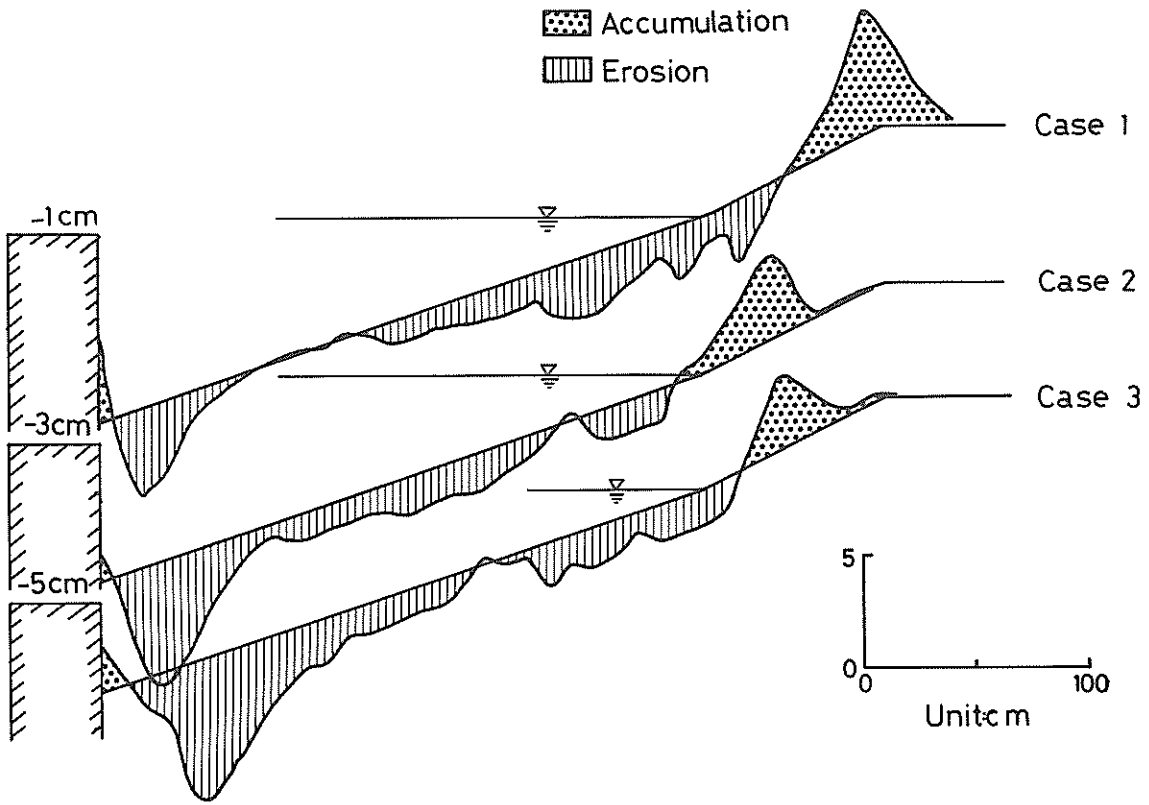


図-48 潜堤天端高の効果 ($B = 40 \text{ cm}$) … (実験-1)

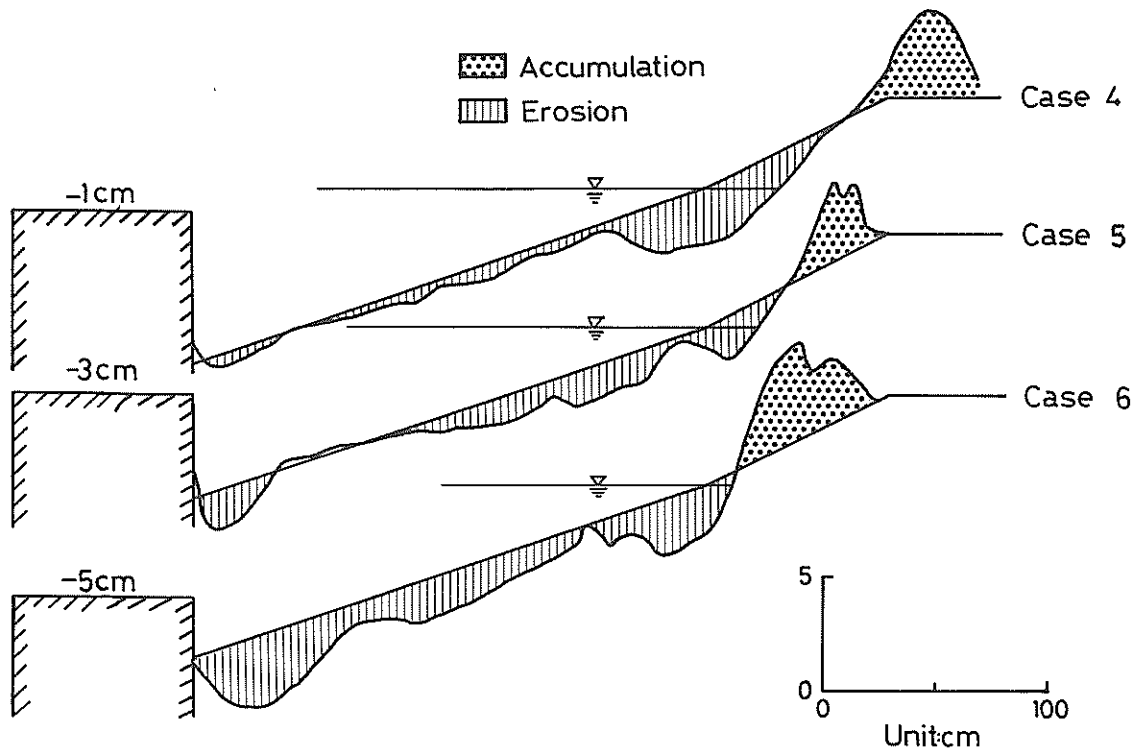


図-49 潜堤天端高の効果 ($B = 80 \text{ cm}$) … (実験-1)

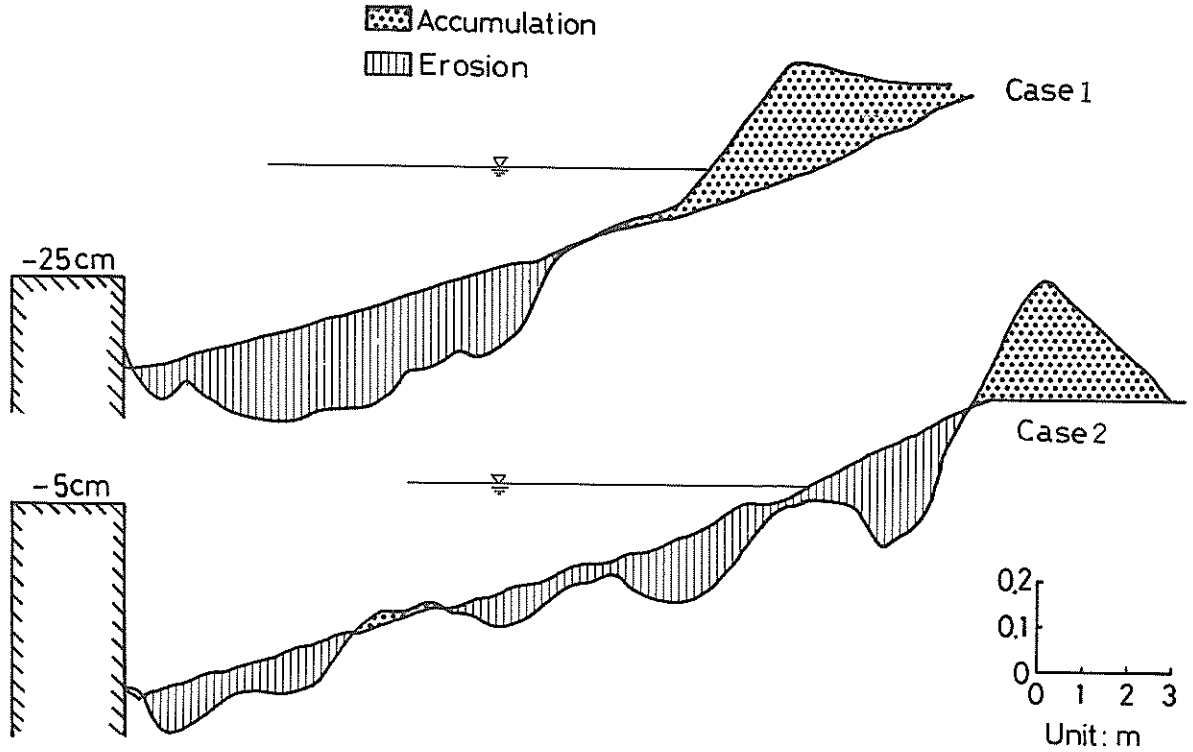


図-50 潜堤天端高の効果 ($B = 200 \text{ cm}$) … (実験-2)

の侵食が増加するという地形変化は生じず、てい線付近の侵食に天端幅による効果は見られない。こうした地形変化は本編 2.3 の二次元実験の砕石層延長の効果調べた時にも見られた。したがって、天端幅と砕石層延長の効果は砂面被覆をしたと考えれば同じであり、堤体および砕石層直背後の侵食を減じ、しかもてい線付近の侵食量が変らない。したがって、堤体幅ならびに砕石層延長は広いものほど砂浜安定に効果があると考えられる。

2) 潜堤諸元と前浜頂部高さ

潜堤諸元が地形変化に及ぼす効果は主として1)で述べたとおりであるが、特に前浜頂部の高さに注目して見たのが図-51である。この図において L_h は前浜頂部高さであり、 H'_0 は換算沖波波高、 R は潜堤天端上水深、 h は潜堤設置水深である。またパラメーターとしては B/L'_0 をとっている。B は堤体幅であり、 L'_0 は換算沖波波長である。図中凡例の 1, 2, 3 は実験名であり、1 は $1/50$ の実験であり、2 は $1/10$ の実験、3 は $1/20$ の今回の二次元水路実験である。

この図から判断されることは実験 1, 2 のデータは前浜頂部高さは潜堤天端高の減少と共に低くなっている。

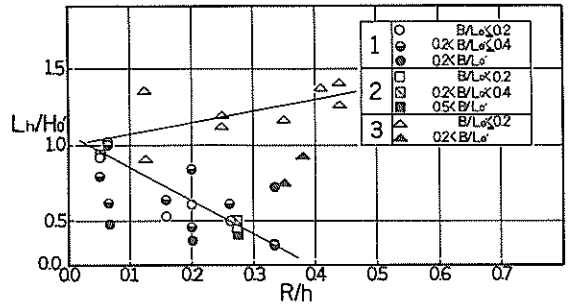


図-51 リッジの高さと天端高の効果

しかしながら実験 3 では実験 1, 2 のデータに見られる傾向と異なり、潜堤天端高の減少につれて前浜頂部は高くなる傾向がある。すべてのデータについて、天端幅の効果はあまり見られず、データはバラツキしている。実験 3 が他の 2 つの実験と傾向が異なるのは実験 1, 2 にはない潜堤背後にある砕石層の効果があるものと考えられる。

3) 潜堤諸元と海浜の水容積の変化

図-52 は潜堤諸元と堤体内の水容積の変化の関係につ

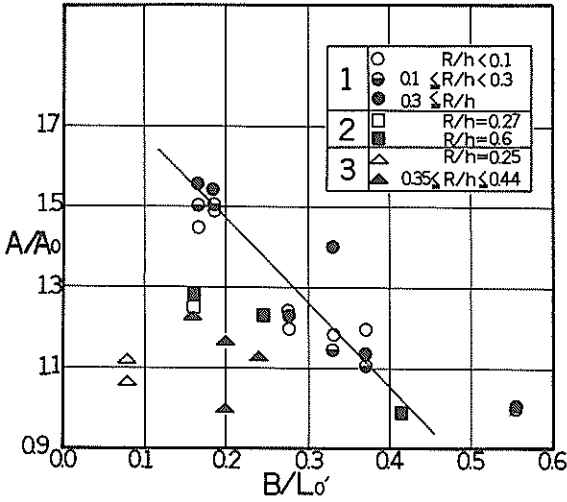


図-52 堤内水容積の変化と天端幅の関係

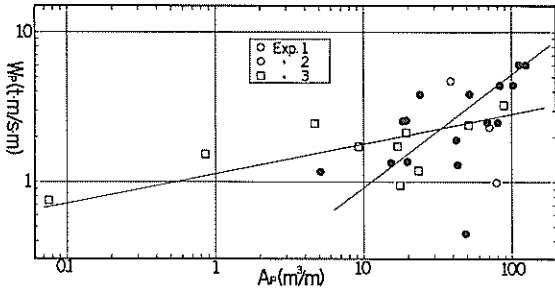


図-53 堤外流出土砂量と堤内へ輸送される波のエネルギーの関係

いて検討したものである。ここで A_0 は波作用前の水容積であり、 A は波作用後の平衡状態に達していると考えられる時の水容積である。この図からわかることは堤体幅が増加するに従って堤体内の水容積の変化は減少傾向にあることであり、しかも変化量が堤体高とあまり相関が見られない事である。前述したように堤体の幅が増加に伴ない、堤体直背後の侵食量だけは変化するが、てい線付近の地形変化はあまり生じない。このことからこの図の水容積の変化量は主に堤体直背後の侵食量の変化であり、図は天端幅の増加に伴ない堤体直背後の侵食量の変化を表しているとも言える。ここにおいても実験3のデータは他の2つの実験値のような傾向をあらわしていないが、これは実験3が堤体背後に砕石層を有するため、潜堤天端幅だけでは水容積の変化を表わし得ないことが考えられる。

4) 流出土量

砂浜の安定性という点で地形変化と共に堤外への流出

土砂量も重要な項目の一つであるが、図-53は流出土砂量 ΔA_p と堤体内に輸送される波のエネルギーとの関係を表わしたものである。図に見られるように、実験1, 2によってこう配に違いは多少あるが流出土砂量と波のエネルギーは比例しており、波のエネルギーの増加に伴って流出土砂量は増加している。堤体内に輸送される波のエネルギーは堤体幅が狭い程、あるいは堤体天端高が低い程多い。したがって浜の安定性を示す流出土砂量減少のためには離岸潜堤はある程度有効であると言える。

3.3 外部施設の配置において試みられた種々の工夫

1) T型突堤の離岸堤と突堤の間を切り離すこと

T型突堤において離岸堤部分と突堤部分の接続部分を切り離す試みは相隣る浜の間の海水の交換を強める目的で佐藤等によって試みられたものである。佐藤等の実験結果によると、この切り離しのために意図通りの交換効果に加えて狭く部分を海水が流れることによる拡散効果があることが確かめられている。またこの開口部の広さについては、20~30m程度が最も適当であることが明らかにされている。

前述した須磨海岸における実験結果を見ると(2.4参照)、第二期計画第二案において西端のC浜の西側離岸堤と突堤間を切り離し、ここから波によって海水を導入すると、B浜A浜を通して流れる堤内の流れが強くなっている。またこれに伴って離岸堤背後への堆積土砂が著しく増加していることがわかる(ケース5とケース6の比較)。更にケース6とケース8を比べて見ると、B浜の東側離岸堤の周辺において、波向がSSWのケース6ではC~B~A浜と流れる一環した流れが存在するのに対して、波向がSSEのケース8ではB浜においてこの流れが途切れている。これに対応して離岸堤背後への土砂堆積量はケース6の方がケース8より相当に多い。

これらの事実は堤内の土砂の安定の観点から見ても、離岸堤と突堤の間を切り離したことの効果が現れ、完全なT型堤よりも堤内土砂の流失を防いでいると考えて良いものと思われる。図-54はT型堤と切れ目を有するT型堤に関する流れのパターンを示すものであるが、T型堤においては離岸堤の先端から沖に流失する流れ(上図の㊸)が生じ、また、最も静穏な離岸堤背後の地点(上図の㊹)に死水領域が生じて等深線が舌状に開口部へ向うように伸びているのが普通である。一方切れ目のあるT型堤では、沖への流失は波向下手側の離岸堤の先端にわずかに生じ(下図-㊸)、大半は切れ目を通過して波が最も静かな離岸堤の直背後(下図-㊹)を通過する。このため等深線は切れ目に向かって伸びて行く。

このような状況のために、T型堤に切れ目を与えるこ

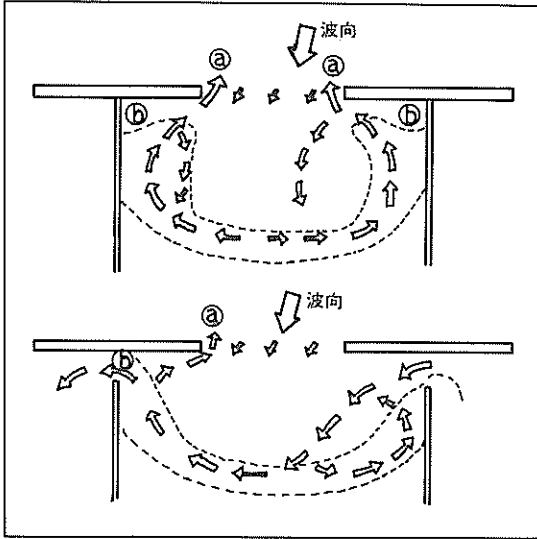


図-54 T型堤と離岸堤と突堤部分を切り離した場合の堤内流れの相違

とは、海水交換に関してのみではなく、堤内土砂の流失防止の上でも有効に働いていると言ってよい。

2) 離岸堤の中央部に狭い開口部を設けること

離岸堤の背後への堆砂傾向が強すぎることは、また別個の問題を引き起こす場合がある。このような問題の第一は離岸堤部と突堤部との間の切れ目部分の埋没による浜間の

海水交換能力の低下であり、今一つは多量の土砂が離岸堤背後に集積することに伴って浜の中央部で土砂の不足を生じ、侵食の生ずることである。これらの問題を回避するために、離岸堤の中央部に狭い開口部を設けて土砂の堆積能力を低下させることが須磨海岸第二期計画案において検討されている。

図-55は狭開口部を設けた場合と設けない場合について地形、流れおよび波高分布の相違を示すものである。波高分布の相違は開口部のある場合の波高とない場合の波高の比で示されている。設けられた狭開口部は現地スケールで幅30m、天端高±0のものである。実験では平均水位+1mが用いられているから、狭開口部の突水深は-1mである。

図で明らかなように、狭開口部の設置によって離岸堤背後域の波高は狭開口部のない場合の1.5倍～3倍(5cmの沖波に対して1.2～2.0cm)になり、狭開口部から堤内に向う強い流れが生じている。これに伴って狭開口部正面では突堤の両側に沿って強い洗掘があり、離岸堤背後への堆砂位置は、多少浜の中央寄りにシフトされ、狭開口部を設けた初期の目的は満されている。

さらに注目すべきことは、離岸堤背後への堆砂の減少に伴って、浜の中央部で等深線の後退が減ぜられていることである。前述したように人工海浜の侵食は、施工時に出来た地形と外力が自然に作る地形との差異のため

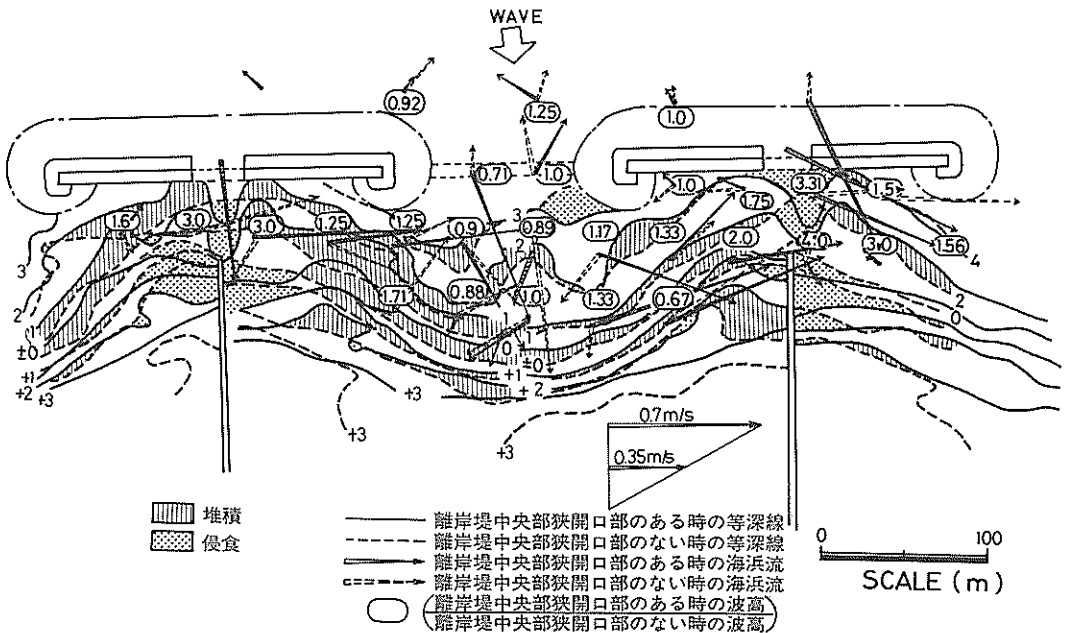


図-55 離岸堤と突堤の間を切り離すことによる効果

に生ずる場合が多いから、この結果を持って直ちに狭開口部が浜浜の安定上効果があると結論付けることはできない。しかし、一般に最も浜幅が狭くなる浜の中央部の浜幅が多少広くなると言う点では評価することができる。

3) 翼堤を設けることの効果

突堤が離岸堤開口部の対岸に設けられているような場合には、突堤に沿って局所洗掘を受ける場合がある。このような場合には、突堤等の先端部に短い翼堤を設けてこれを防ぐことができる。

13)

図-56は佐藤、木村が伊東海岸の人工海浜の実験において試みている翼堤の事例の中から翼堤の形状とそれに対応した埋線形状を示すものである。翼堤のないケース2では、中央の長い突堤の周辺と両端の防波堤の周辺において著しい局所侵食が生じており、これらの地域で侵食された土砂が離岸堤背後沖合に堆積している。翼堤を設けたケース5、7においては、これらの局所侵食は完全に防がれ、翼堤の効果が十分に現れている。翼堤として延長の異なる2種が試みられているが両者の効果の差異はほとんどなく、このような目的での翼堤としては片面で長さ10m(空堤の堤頭に設けるときは両面で20m)程度のもので十分の効果があるように思われる。しかし、模型の右端の部分で試みているように、翼堤の背後のトンボロ効果によって埋線を前進させようとするような場合には、30mの延長でも全々効果が現われておらず、より長い堤体が必要であろう。

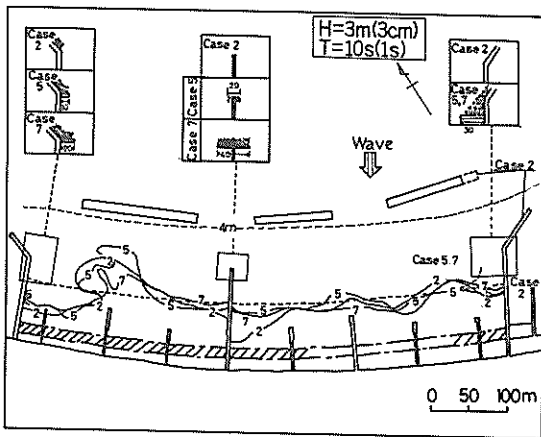


図-56 土0m等深線の変化と小規模平行堤の効果

4. 結 論

以上本研究によって明らかにされた事項をとりまとめると以下のとおりである。

A) 須磨海岸問題に関して

1) 第一期計画区域に関してT型堤開口部に離岸堤、潜堤等を設けることは、堤内の海水交換を阻害するばかりでなく、通常程度の荒天に対しては砂浜安定上の効果もない。しかし、きわめて高い波高に対しては、開口部に潜堤を設けることが土砂の堤外流出防止上有効である。しかしこの潜堤は、通常時には、堤内底質の泥化あるいはごみの集積等の原因となるおそれがある。したがって、当面は設けない方がよい。

2) 第二期計画において築造が予定されている法止工を有する人工海浜において、離岸潜堤を設けると、潜堤の天端高が高くなると潜堤の岸側に生ずる洗掘は減少していくが、一方逆に浜付近は侵食されやすくなる。潜堤の天端高が低く、潜堤岸側の洗掘が激しい場合には、潜堤の岸側砂面を捨石等で被覆することによって洗掘を軽減し得る。須磨海岸の場合には潜堤天端高-2m、砂面被覆工の幅10m程度の断面が適当である。

3) 第二期計画案については、三つの浜を独立させて築造する計画案1よりも、三つの浜の水域が堤内でつながった計画案2の方が、堤内の海水交換および砂浜安定の観点から望ましい。ただし、三つの浜の海水交換を促進するためには、西端の浜の西側の堤の一部に狭い開口部を設け、かつ各浜間の水域の連結が、離岸堤背後に堆積する土砂によって阻害されることのないように、離岸堤の中央部に狭い開口部を設ける方がよい。

B) 外郭施設の配置に関する一般論として

1) (離岸堤); 離岸堤の設置によってその背後に波の静穏な地域が形成されると、これに伴って特殊な海浜流系および底質移動系が形成されトンボロ地形が形成される。この系の形成は多少の波浪条件等の差異にもかかわらず、確実に生起し、かつ安定している。こうした離岸堤の効果は堤内における沿岸方向の波高分布の高低差が大きい程著しい。

2) (離岸堤); トンボロの形成を基準として判定した離岸堤の効果は、その距岸が近い程、波浪がろねり性で方向集中度の高い程著しい。また開口幅については離岸堤の延長が十分長い場合には、開口幅が広いほど著しいが、離岸堤が短い場合に

は、開口幅が波長の比が或る値以下にならないと著しい効果がない。実験の範囲ではこの値は2～2.5程度である。

- へ) (離岸潜堤)；潜堤の天端高を増加させると、堤の陸側近傍での洗掘は弱まり、これに伴う土砂の堤外流失は減少する。しかし、堤内の水位上昇のため、てい線近くが侵食されやすくなる。
- ト) (離岸潜堤)；潜堤の天端幅は、堤体のすぐ陸側の洗掘の減少に有効であり、同一天端高であれば、天端幅を増大させることによって洗掘を減少させることができ、かつ、これによっててい線付近の侵食を助長することは少ない。
- チ) 離岸堤と突堤の先端の間を離すことにより相隣る浜間の海水交換が助長され、かつ離岸堤々内からの土砂流失も減少する。しかし一方、離岸堤背後に過度の堆積をまねき、浜の中央部のてい線後退を助長することもある。
- リ) 離岸堤の中央に狭い開口部を設けると、離岸堤背後への過度の堆積を防ぎ、浜の中央部のてい線後退を防ぐことができる。
- ヌ) 突堤の先端等への翼堤の設置により、突堤基部の局所侵食を防止でき、かつ、この局所侵食に伴うてい線の過度の変形(侵食部に隣る部分の堆積)を防ぐことができる。

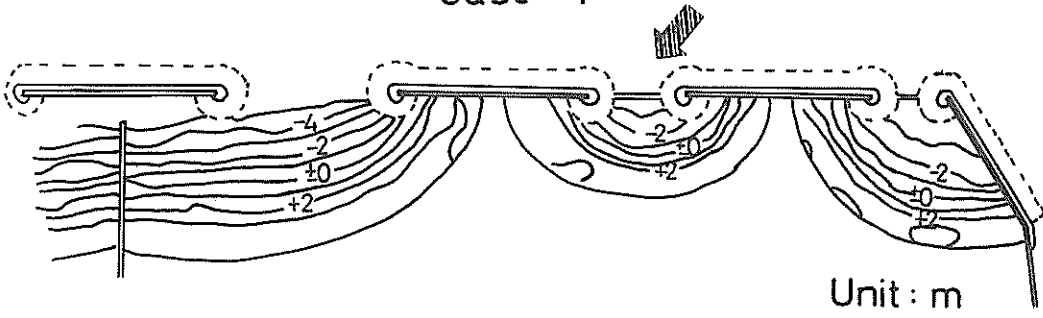
5. 謝 辞

本資料に述べたすべての実験の実施および本報告の取りまとめに当っては、当所次長佐藤昭二博士の詳細にわたる指導をいただいている。また、実験実施の上で神戸市開発局海岸防災課から種々の協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表したい。

参 考 文 献

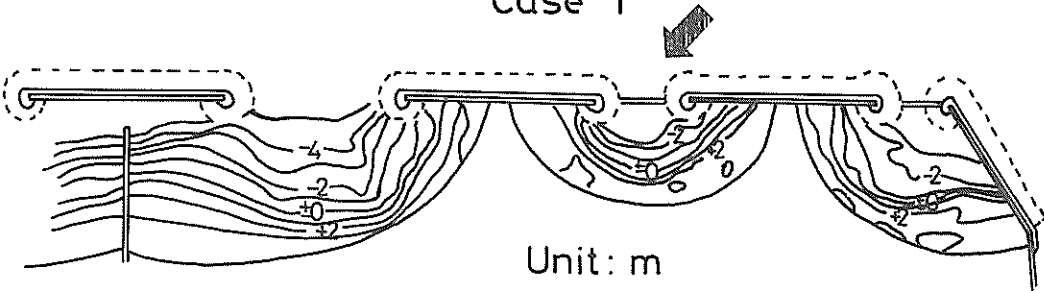
- 1) 田中則男；人工海浜について，昭和52年港湾技術研究所講演会講演集，1977年12月
- 2) 田中則男，小笠原昭，小山内英雄；養浜工に関する研究(その1)，港湾技研資料，No.260，51年2月
- 3) 田中則男・佐藤昭二・佐々木克博；須磨海岸における養浜について，土木学会第20回海岸工学講演会論文集，1973年11月，pp. 489～494
- 4) Sato, S. and N. Tanaka；Field and model study on the protection of recreational beach against wave action, Proc. 14th Conf on Coastal Eng., Copenhagen, June 1974, pp. 1702～1720
- 5) 服部典節・佐藤昭二；前面に遊歩道を持つ海岸護岸について — 越波特性からの断面形の検討 —，港湾技術研究所報告，vol.12, No.3, 1973年9月，pp. 71～98
- 6) 佐藤昭二・加藤始・木村久雄；リクレーション海浜における突堤・離岸堤の海水汚濁に関する実験的研究，土木学会第22回海岸工学講演会論文集，1975年11月，pp. 201～206
- 7) 佐藤昭二・加藤始・木村久雄・高松恭文；須磨リクレーション海浜における突堤・離岸堤の海水交換に与える影響，港湾技研資料，No.243, 1976年9月，29p.
- 8) 佐藤昭二・木村久雄・高松恭文；リクレーション海浜における突堤・離岸堤の汚濁拡散に対する影響，港湾技術研究所報告，vol.16, No.2, 1977年6月，pp. 27～62
- 9) 上森千秋・玉井佐一；高知県仁井田海岸の侵食防止に関する実験 — 特にT型突堤の効果について —，土木学会第20回海岸工学講演会論文集，1973年11月，pp. 525～529
- 10) 運輸省港湾局；人工海浜の建設技術マニュアル，1978年3月
- 11) 第一港湾建設局内部資料
- 12) 港湾技術研究所，漂砂研究室内部資料
- 13) 佐藤昭二・加藤始・木村久雄・池田高則；伊東海岸のリクレーション海浜造成に関する模型実験，港湾技研資料No.318, 1979年6月
- 14) 佐藤昭二，入江功・天坂三明；須磨海岸の漂砂に関する模型実験，港湾技研資料，No.106, 1970年9月
- 15) 佐藤昭二・入江功；須磨海岸の漂砂に関する模型実験，第17回海岸工学講演会講演集，1970年11月 pp. 263～268

Case 1



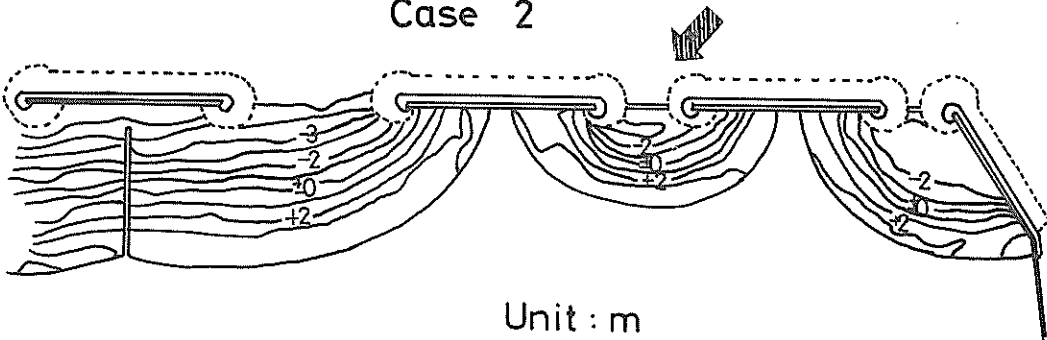
付図-1 ケース1の波作用前の等深線図

Case 1



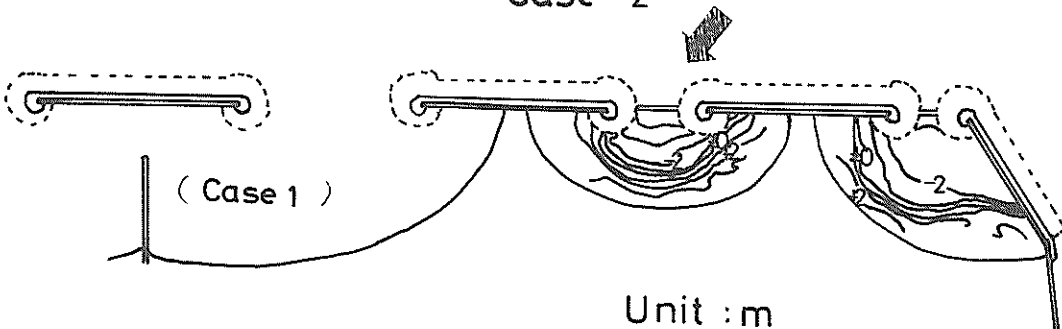
付図-2 ケース1の波作用360分後の等深線図

Case 2

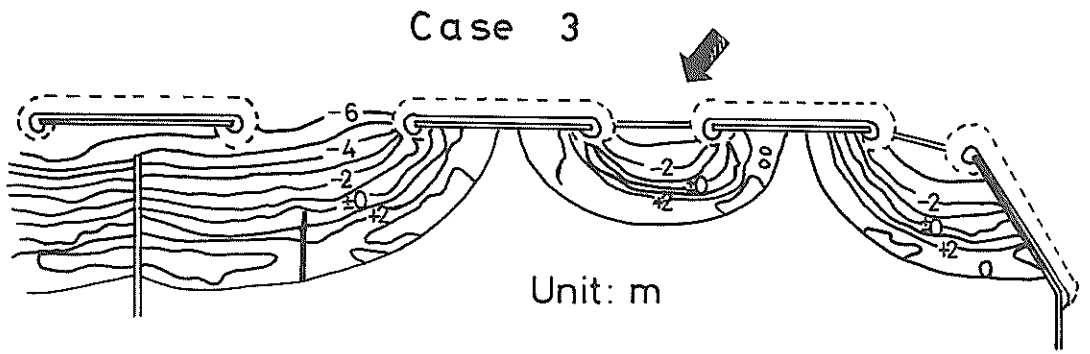


付図-3 ケース2の波作用前の等深線図

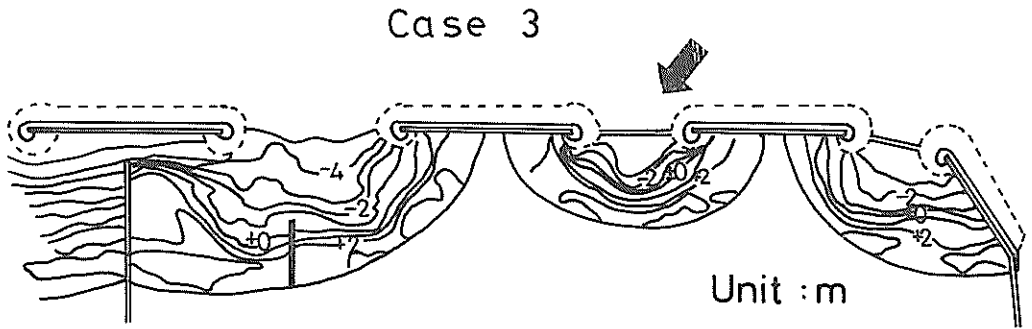
Case 2



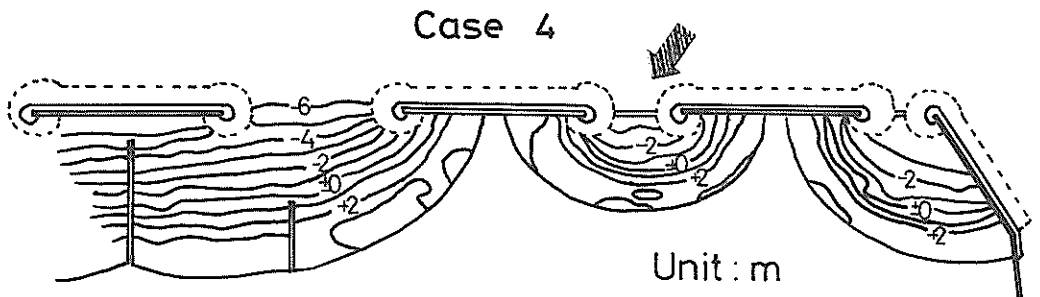
付図-4 ケース2の波作用360分後の等深線図



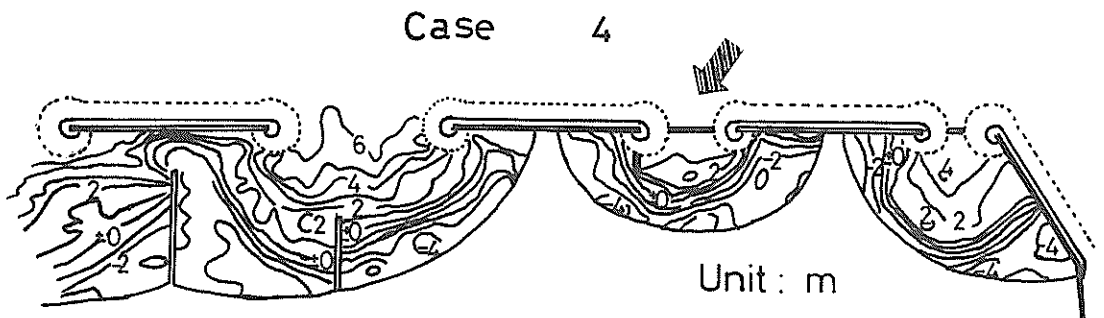
付図-5 ケース3の波作用前の等深線図



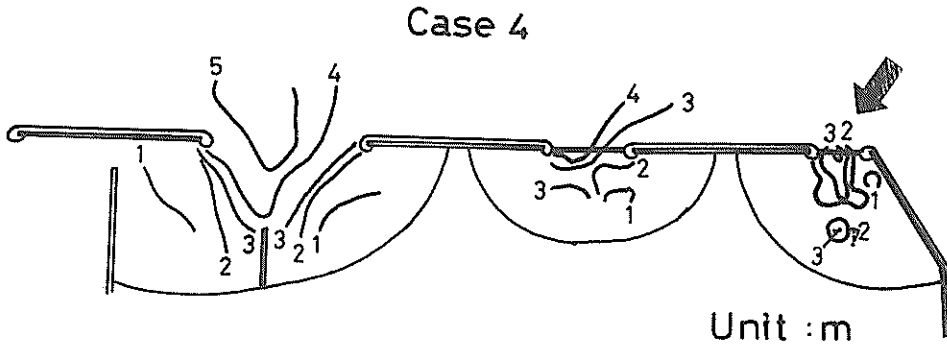
付図-6 ケース3の波作用360分後の等深線図



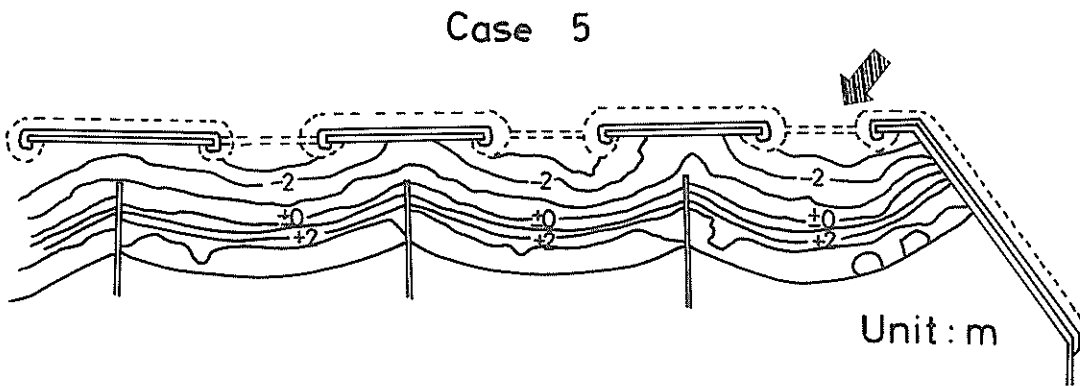
付図-7 ケース4の波作用前の等深線図



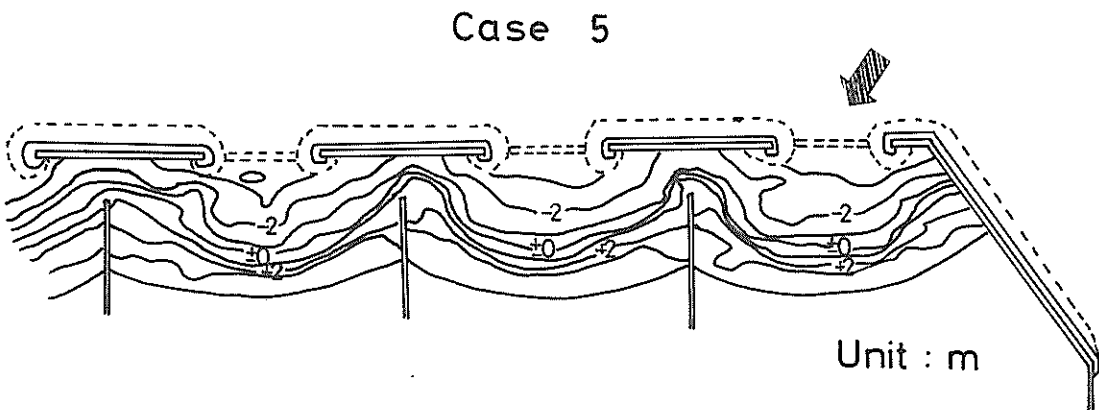
付図-8 ケース4の波作用360分後の等深線図



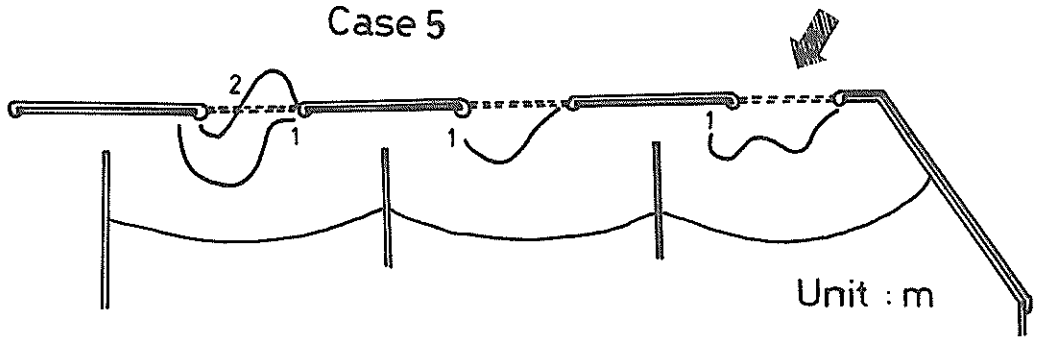
付図-9 ケース4の波高分布図



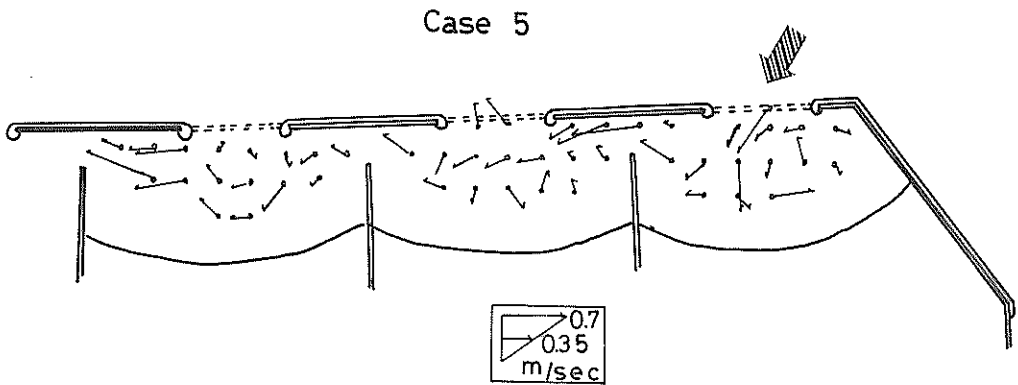
付図-10 ケース5の波作用前の等深線図



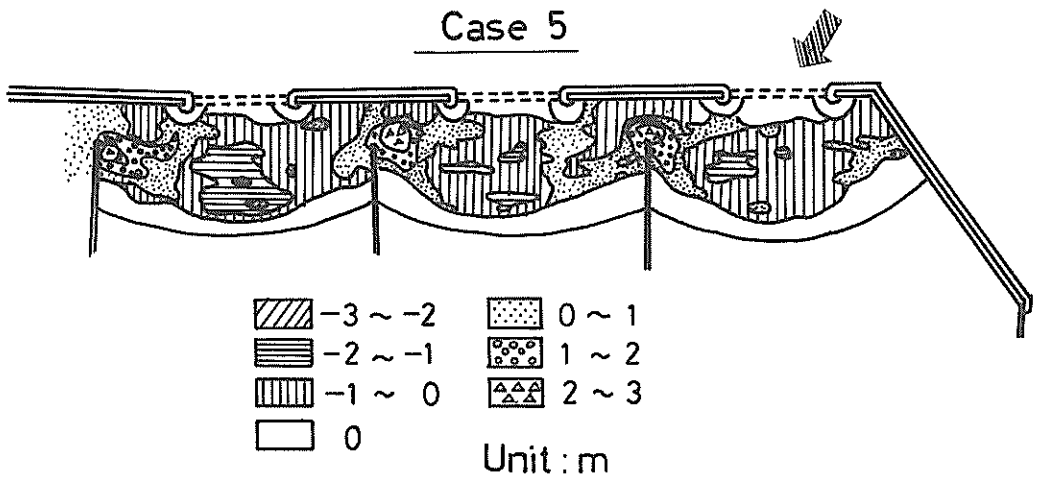
付図-11 ケース5の波作用前の等深線図



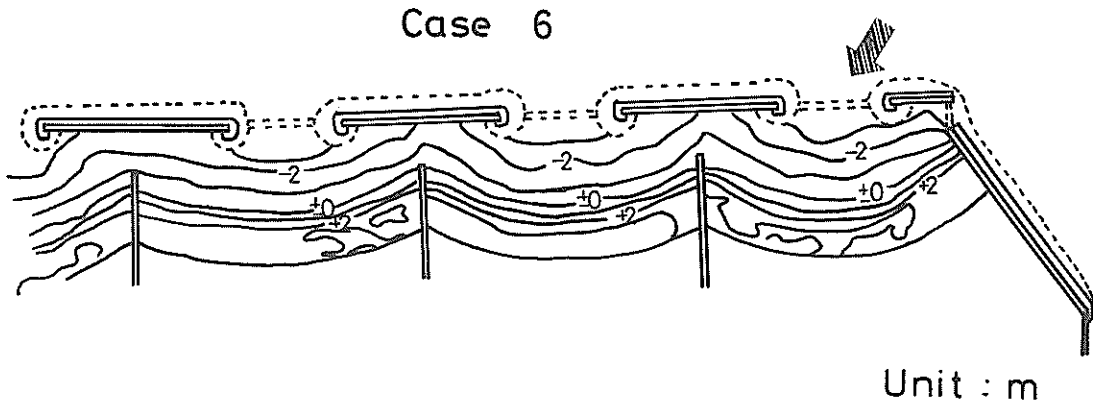
付図-12 ケース 5 の波高分布図



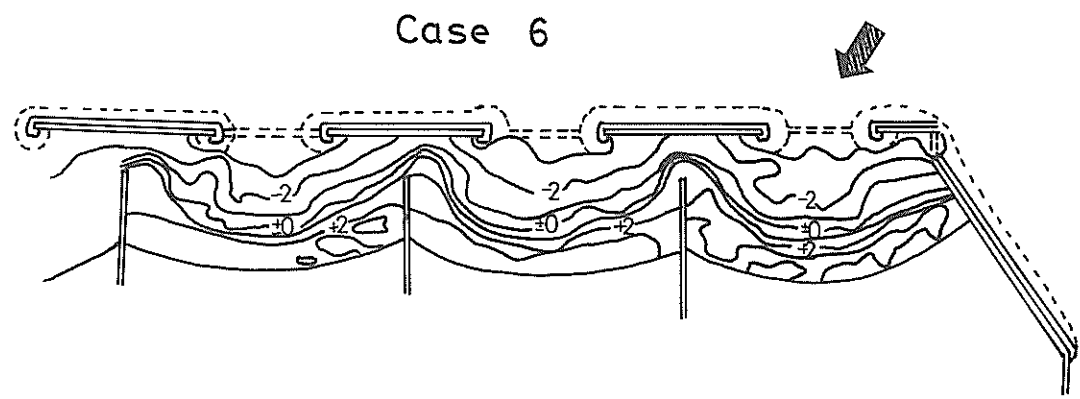
付図-13 ケース 5 の流況図



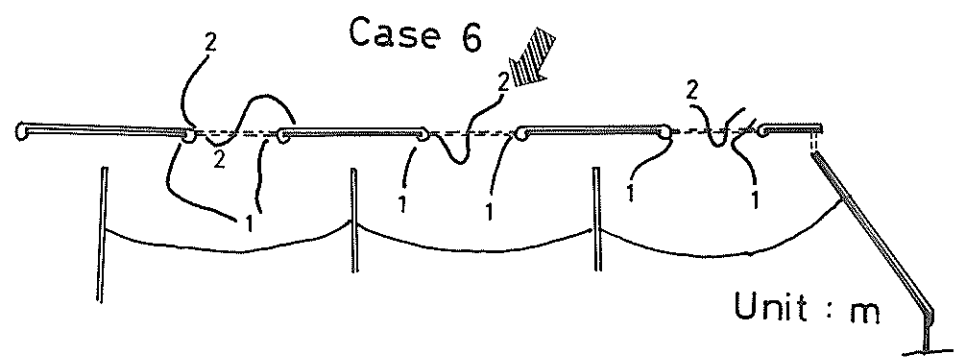
付図-14 ケース 5 の深浅差分図



付図-15 ケース6の波作用前の等深線図

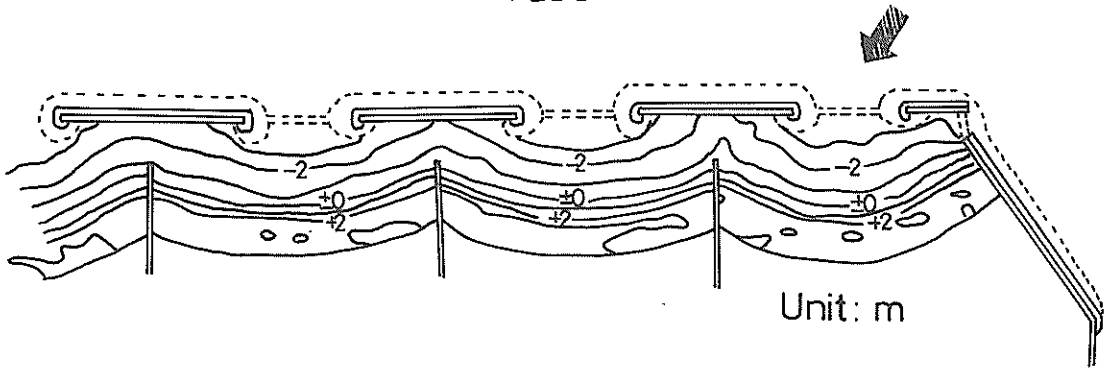


付図-16 ケース6の波作用360分後の等深線図



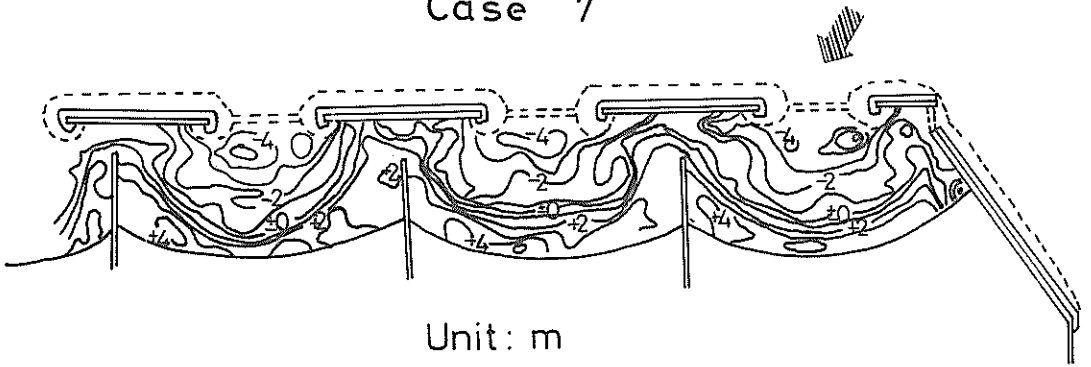
付図-17 ケース6の波高分布図

Case 7



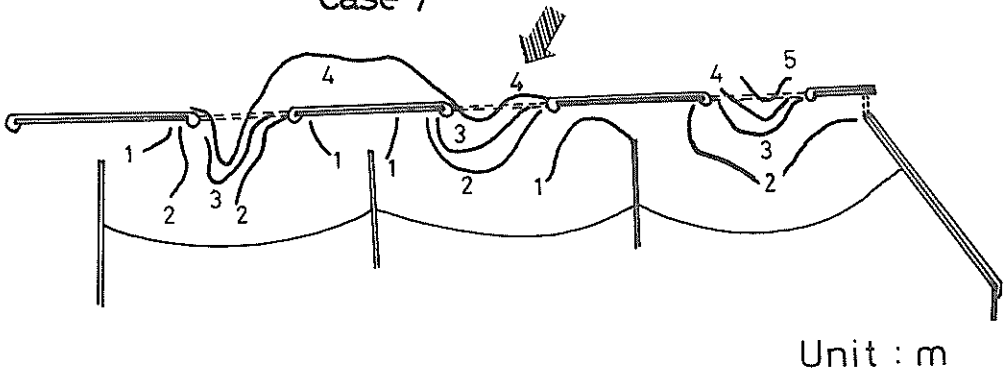
付図-18 ケース7の波作用前の等深線図

Case 7

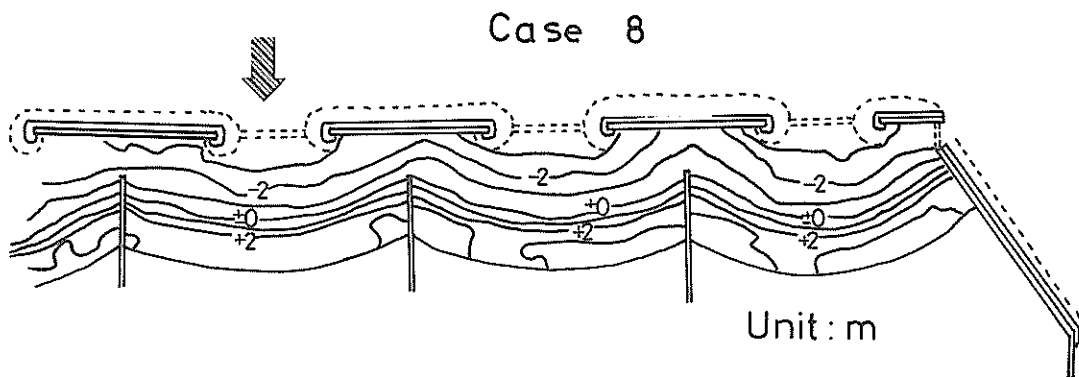


付図-19 ケース7の波作用360分後の等深線図

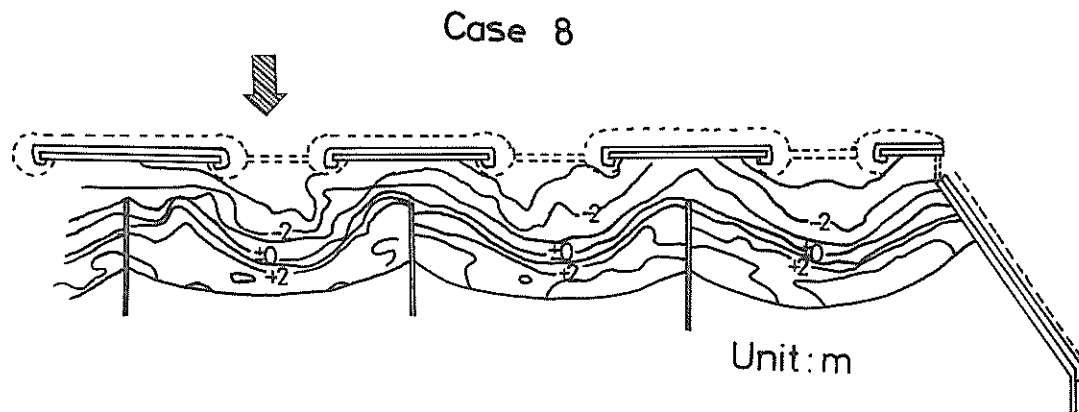
Case 7



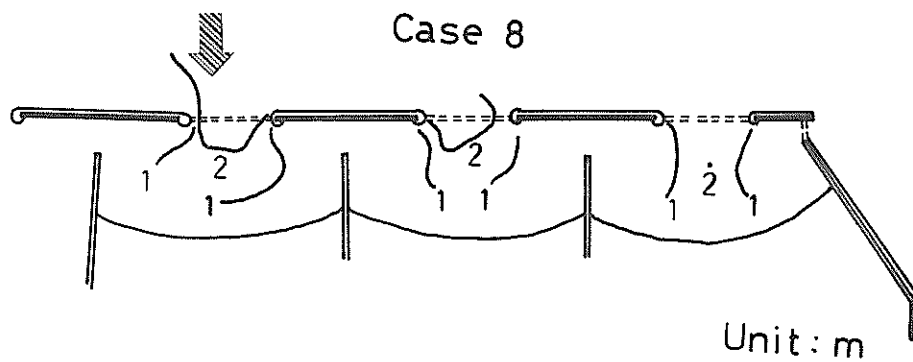
付図-20 ケース7の波高分布図



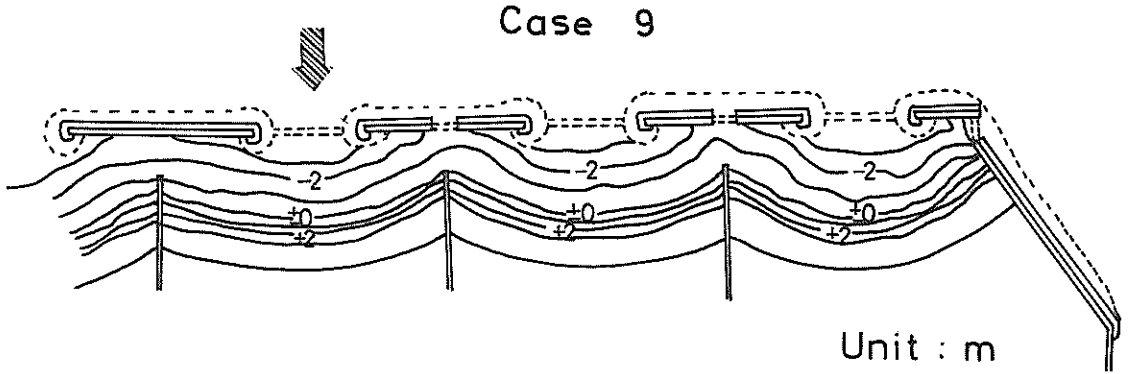
付図-21 ケース8の波作用前の等深線図



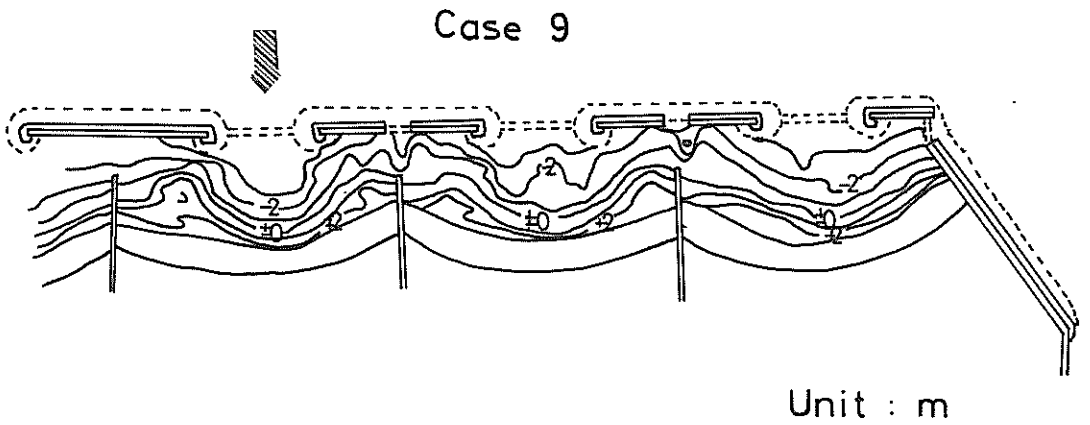
付図-22 ケース8の波作用360分後の等深線図



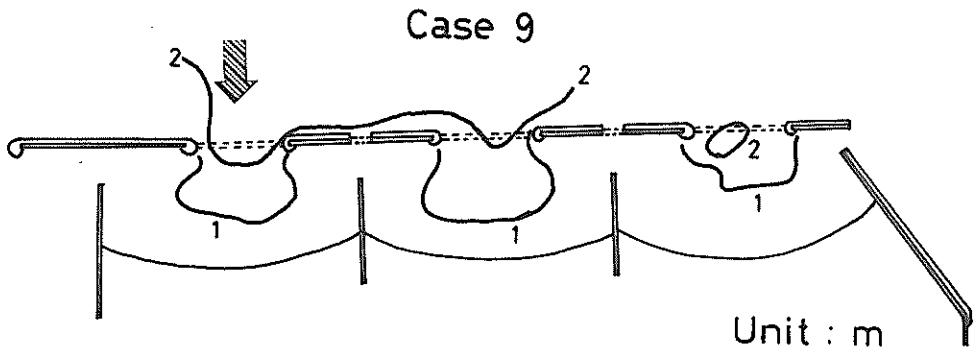
付図-23 ケース8の波高分布図



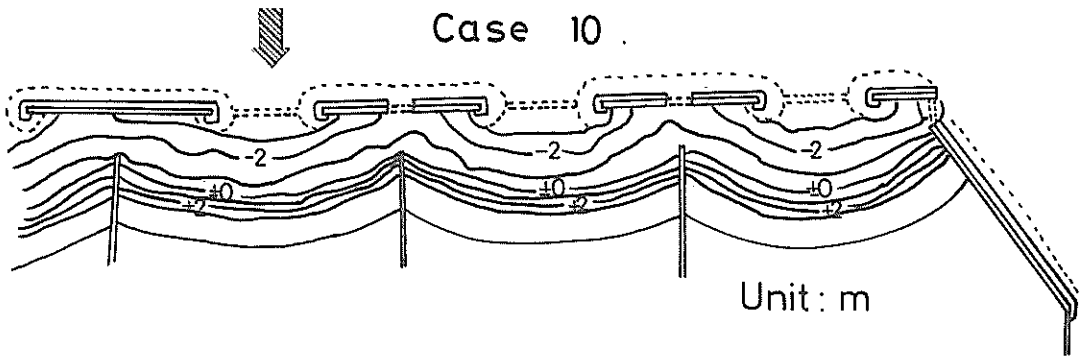
付図-24 ケース9の波作用前の等深線図



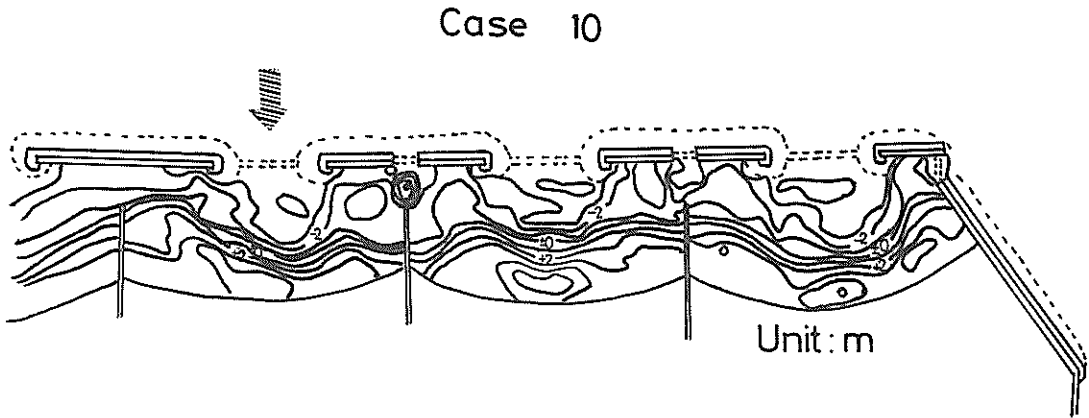
付図-25 ケース9の波作用360分後の等深線図



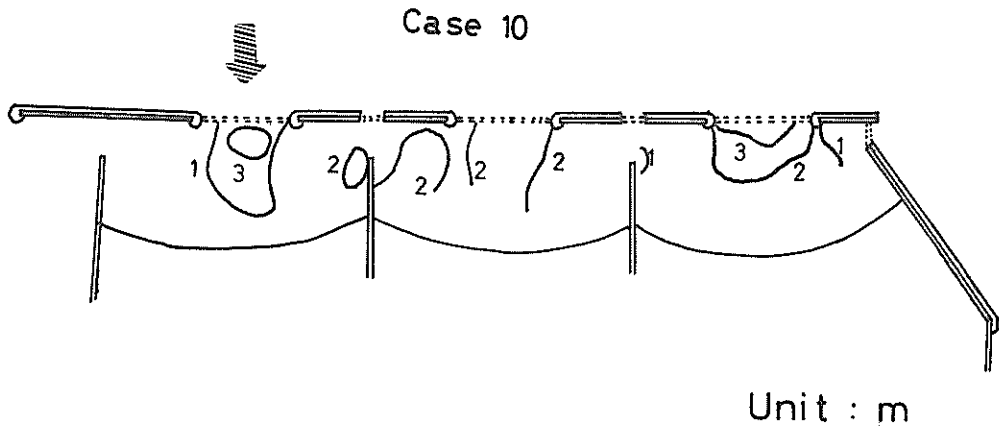
付図-26 ケース9の波高分布図



付図-27 ケース 10 の波作用前の等深線図



付図-28 ケース 10 の波作用360分後の等深線図



付図-29 ケース 10 の波高分布図

港湾技研資料 No. 326

1979・9

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 阿部写真印刷株式会社

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