

土 木 研 究 所 資 料

人工リーフによる養浜砂の安定化に 関する実験的検討

平成2年7月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

[Copyright © (1990) by P.W.R.I.

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

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

人工リーフによる養浜砂の安定化に 関する実験的検討

海岸研究室 室長 宇多 高明
研究員 坂 野 章

要 旨

東播海岸の松江地区において、養浜工の養浜後における海浜地形変化を分析した。また、垂水地区での養浜工法について水理模型実験によって検討した。垂水地区は海岸が急深なために人工リーフを沖合に設置し、その岸側に養浜するとともに、養浜砂の沿岸方向への流出防止のために、養浜区間の両側に突堤を設置する方法を提案した。これらの構造物を用いれば、養浜砂の沖への流出を防止できることが明らかになった。必要とされる人工リーフの諸元は、天端高が -1 m、開口幅が 40 m、開口部天端高が -3 mであった。

キーワード：東播海岸、養浜工、現地データ、汀線変化、漂砂の移動高、移動床実験、突堤、人工リーフ、開口部、透過率、波向変化、潮流、海浜流、地形変化。

は じ め に

本研究は、建設省近畿地方建設局姫路工事事務所の依頼により行われたものであり、東播海岸の垂水地区等で計画されている養浜工における養浜砂の安定化手法について実験的に検討した。本研究を進めるに際しては、単に移動床実験によって検討を進めるのみではなく、東播海岸で既に実施されている松江地区での養浜工の養浜後の海浜地形変化に関する実測データの分析も行い、現地海岸の実態把握に努めた。

本研究では2次元および3次元移動床実験を実施し、これによって潮流が強く、かつ急勾配の海岸において養浜砂の流出を防止する工法として、突堤と人工リーフを設置する方法が有効であることを明らかにする。

目 次

はじめに

第1章 研究の目的と全体構成	1
第2章 東播海岸における養浜とその後の海浜地形変化特性	2
2.1 ま え が き	2
2.2 東播海岸における養浜工の概要	2
2.3 気象・波浪・潮位条件	4
2.4 海浜地形変化の特性	6
2.5 汀線変化と沿岸方向のエネルギーフラックスの関係	12
2.6 結 論	13
参 考 文 献	14
第3章 2次元移動床実験による人工リーフの機能性検討	15
3.1 ま え が き	15
3.2 実 験 方 法	15
3.3 人工リーフの消波効果	17
3.4 人工リーフ岸側の2次元地形変化	18
3.5 結 論	21
参 考 文 献	21
第4章 波が直角入射する条件での人工リーフ周辺の波，流れ，地形変化に関する 実験的検討	22
4.1 ま え が き	22
4.2 実 験 方 法	22
4.3 潮流作用時の流況特性	24
4.4 波作用時の海浜変形特性	27
(1) 直線状人工リーフ（ケース①）	27
(2) 開口幅20m，開口部天端高-3mの人工リーフ（ケース②）	30
(3) 開口幅40m，開口部天端高-3mの人工リーフ（ケース③）	33
(4) 開口幅20m，開口部天端高-4.5mの人工リーフ（ケース④）	36
(5) 開口幅40m，開口部天端高-4.5mの人工リーフ（ケース⑤）	40
4.5 各ケースの相互比較	43
4.6 結 論	55

参考文献	56
第5章 波が斜め入射する条件での人工リーフ周辺の波, 流れ, 地形変化に関する	
実験的検討	57
5.1 ま え が き	57
5.2 実 験 方 法	57
5.3 実 験 結 果	58
(1) ケース① (人工リーフ無, 潮位 0.6 m)	58
(2) ケース② (人工リーフ有, 潮位 0.6 m)	61
(3) ケース③ (人工リーフ無, 潮位 2.8 m)	65
(4) ケース④ (人工リーフ有, 潮位 2.8 m)	68
5.4 各ケースの相互比較	72
5.5 結 論	77
参考文献	77
第6章 総合結論と今後の問題点	78

第1章 研究の目的と全体構成

東播海岸では1982年以来、失われた砂浜を取り戻し、近年盛んになった海洋性レクリエーションの利用にも供しうよう養浜工が実施されてきた。養浜工は最初海底勾配の緩やかな松江地区より始められ、順次西側へと養浜区域が拡げられた。養浜工の実施に際しては、養浜砂の安定性を調べるために深淺測量等を中心とする追跡調査が行われてきており、貴重な現地データが集積されている。こうした現地データを分析することは東播海岸の海浜変形実態の理解を進める上で役立ち、また、得られたデータが今後の養浜工の計画に反映されれば、計画を一層高度化する上で有効と考えられる。そこで本研究ではまず松江地区での現地データに関して種々の実態分析を進めた。

ところで、東播海岸では、明石海峡に面し海底勾配が急な垂水地区においても養浜工の計画が立てられている。この地区では松江地区と比較して潮流が速く、また海底勾配が急なため、松江地区で実施した養浜工の手法をそのまま当地区の計画に導入することは困難である。そこで本研究では新たにこのような条件下での養浜工法について移動床平面実験によって検討することとした。検討に際しては、急勾配海岸での養浜工であることを考慮し、人工リーフを沖合に設置し、その岸側に養浜する方法を考えた。また、養浜砂が沿岸方向へ流出するのを防止するために、養浜区間の両側には突堤を設置する案を選択した。

本報告書は全体で6章から構成される。第2章では東播海岸の松江地区での養浜後の海浜地形変化の分析結果について述べる。第3章以下では実験結果について記すが、本研究で実施した実験は3種類ある。最初に2次元移動床実験によって人工リーフの消波効果を確認し、2次元の意味での養浜砂の安定性について調べた(第3章)。次いで移動床平面実験により波が直角入射する条件での人工リーフ周辺の波、流れ、地形変化の検討結果を明らかにする(第4章)。また、波が斜め入射する条件での人工リーフ周辺の波、流れ、地形変化の特性について述べる(第5章)。最後に第6章では総合結論と今後の問題点を要約した。

第2章 東播海岸における養浜とその後の 海浜地形変化特性

2.1 ま え が き

近年、失われた砂浜を復活するための一手法として養浜が各地で行われるようになった。養浜に際しては養浜砂の流失を防ぐために突堤等の補助施設がしばしば造られる。補助施設を造って養浜を行ったとき、卓越波の入射方向がほぼ一定した海岸では養浜後汀線は急速に安定形状へと変化する。しかし多くの海岸では波向が季節的に変動しており、このような変動とともに突堤間の養浜砂が流失する可能性がある。したがって、波向の動的变化を伴う海岸で養浜の計画を立てるに際しては、このような機構による養浜砂の流出の可能性について十分検討することが必要とされる。具体的には、波向変動に対応する等深線の変動状況を調べなければならない。一方、突堤間の養浜砂が養浜区間外へと流出しない限りにおいて、砂移動が存在することは砂浜を良好な環境に保つ上でも有効と考えられる。したがって、その意味からも海浜変形状況を十分把握する必要がある。

瀬戸内海に面した東播海岸では、近年消波工の代わりに養浜工が広く実施されている。この海岸では波の入射方向が季節的に大きく変化するのが特徴である。したがってこの海岸における漂砂特性を調べることは、波向が変動する場合における養浜砂の安定性を考える上で役立つと思われる。そこで本研究では養浜後行われた深淺測量のデータに基づき地形変動状況を分析した。

2.2 東播海岸における養浜工の概要

東播海岸は神戸港域の西端、堺川河口から神戸市垂水区および明石市を経て、兵庫県加古郡播磨町喜瀬川に至る総延長約26kmの海岸であって、大阪湾、明石海峡および播磨灘に面している(図-2.1)。この海岸では、1982年より消波ブロック工に代わる消波施設として養浜工が計画され、明石西部地区の松江・藤江地先より実施に移されてきた(写真-2.1参照)。

養浜工は、消波工として位置付けられており、その消波効果は水理模型実験により検討された(宇多・山本, 1983)。計画潮位 T.P. 2.8 m において、計画波高 $H = 3.4$ m, $T = 8.0$ s の波が入射したとき、打ち上げ高が T.P. 5 m の護岸を越えない条件として、養浜の天端幅が25m、天端高が2.5m、前浜勾配が1/10と決定された。また養浜工の両側には漂砂の流出防止を目的として捨石による不透過突堤が施工された。護岸から突堤先端までの長さは100m、先端水深は T.P. -2.5 m、突堤間隔は180mである(図-2.2参照)。ここに、突堤番号は東側よりNo.1～No.7と付けてある。養浜に用いられたのは広島産の中央粒径が0.88～1.1mmの砂であり、バージアンロード船により汀線付近に吹き上げた後、ブルドーザにより敷均した。1号突堤と2号突堤の間における養浜は1982年～1984年の間に行われ、全体で約3万 m^3 の土砂が投入された。図-2.3に土砂の投入実績を示す。また、養浜時およびその後の地形変化を調べるために、図-2.2に示す35本の測線に沿って深淺測量を繰り返した。

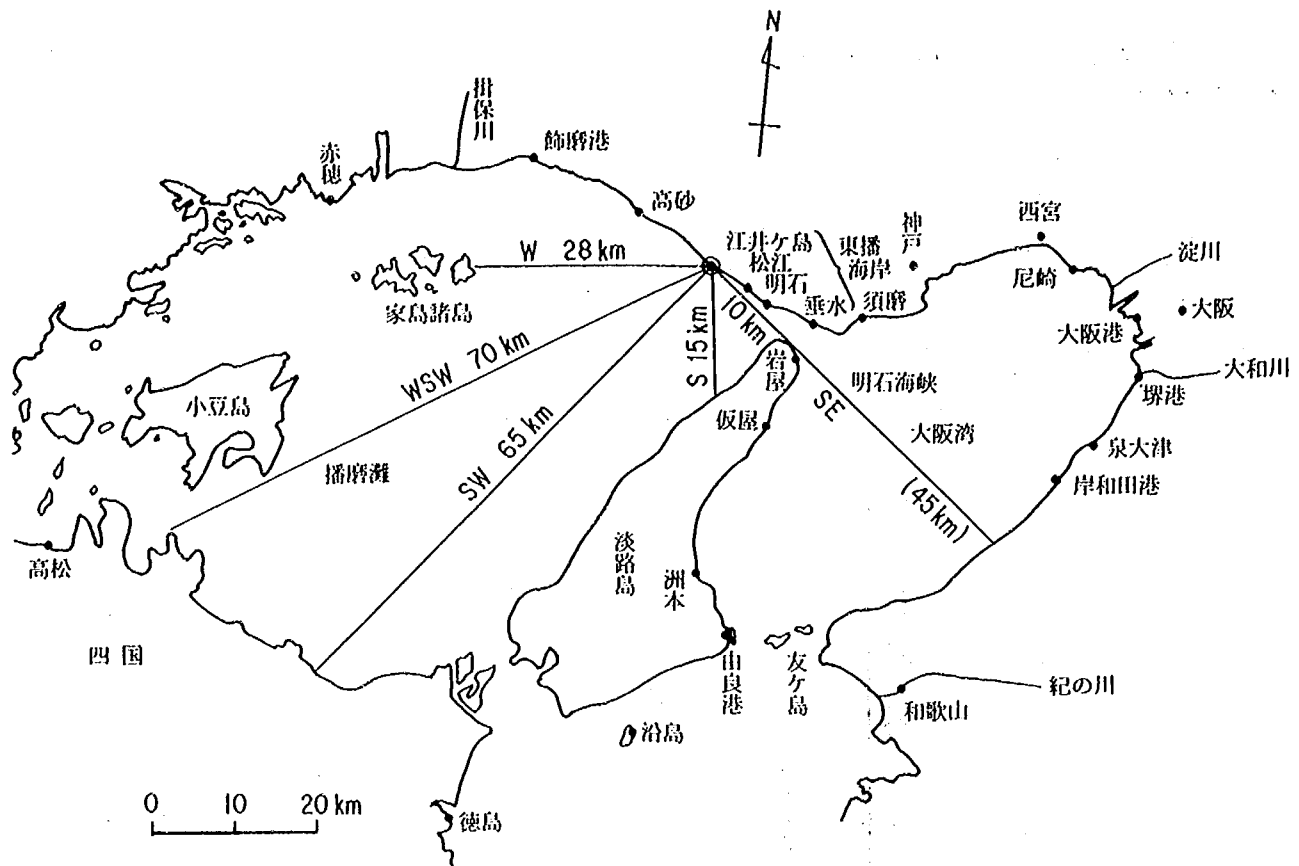


図- 2.1 東播海岸の位置図



写真- 2.1 東播海岸の松江地区の斜め写真

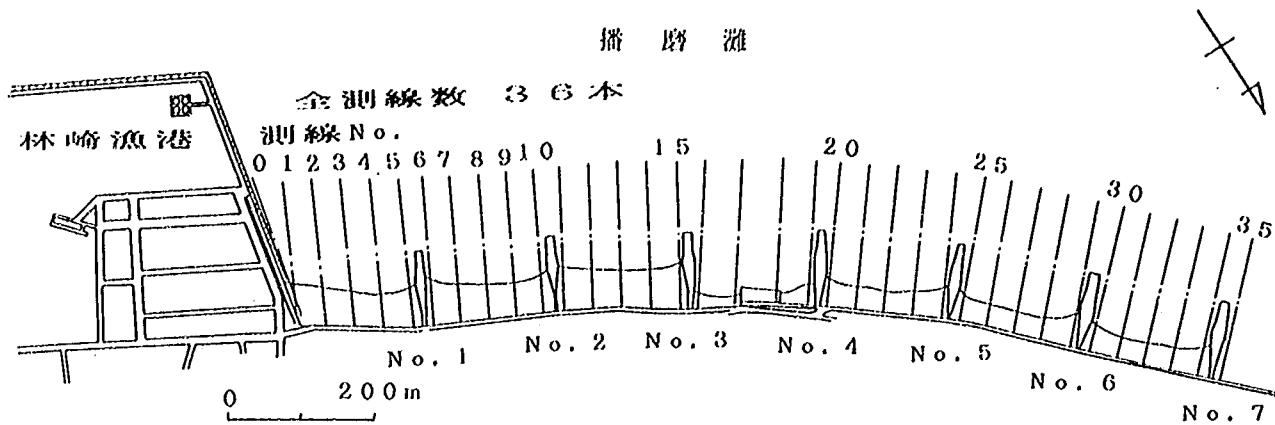


図-2.2 東播海岸の松江地区における養浜区域

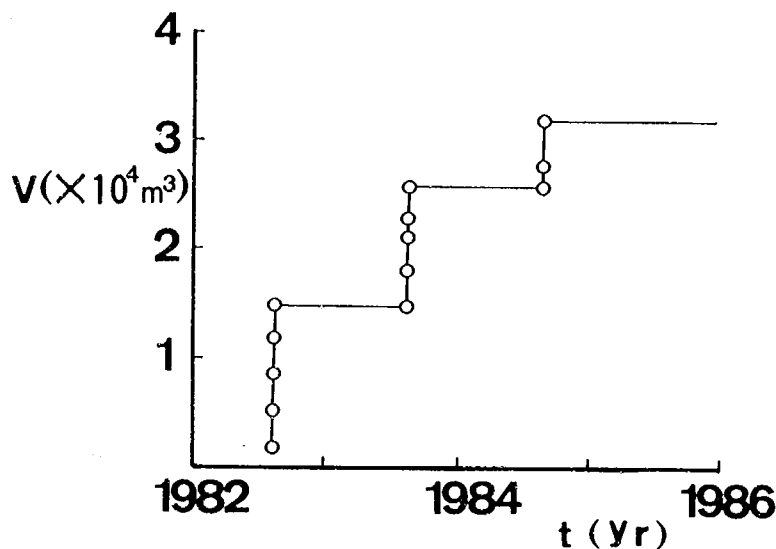
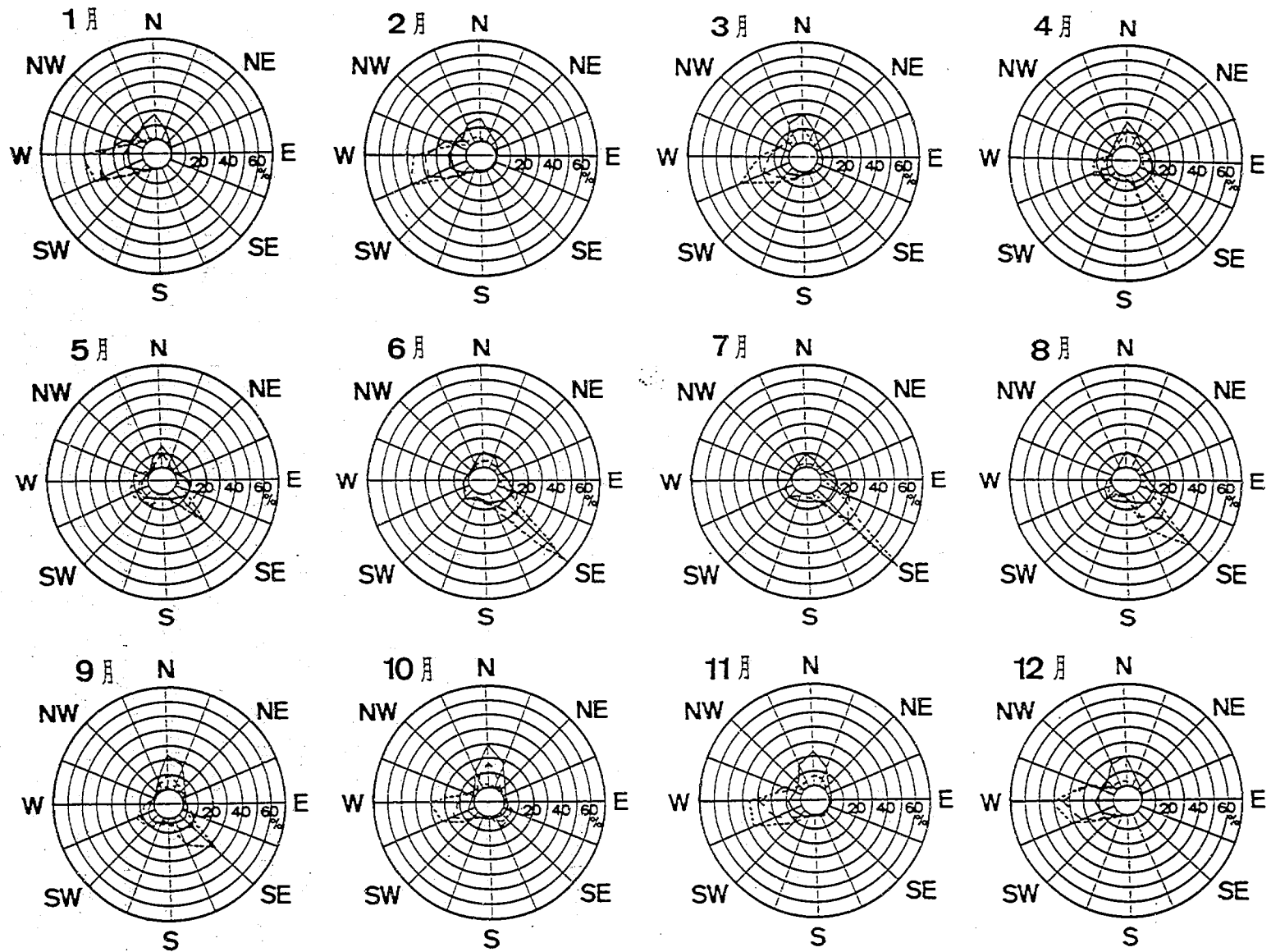


図-2.3 養浜砂の投入実績

2.3 気象・波浪・潮位条件

東播海岸への入射波浪は、風向の季節変化の影響を強く受ける。調査地点の西約5 kmに位置する江井ヶ島での1982年～1987年の風向風速データより求めた月別の風配図を図-2.4に示す。図には階級別の風速ごとに風向出現頻度を示した。1月には冬期に発達する西高東低の気圧配置のためにWまたはWSWの風が卓越する。4月になると強風の方向はSSEまたはSE方向に変わるが、更に7月になり夏型の気圧配置になるとSEが著しく卓越する。しかし10月では再び1月の風配図に近くなる。以上のように、東播海岸では冬期のW～WSW方向と、夏期のSE方向の卓越風向によって特徴付けられる。

当海岸のフェッチ(L)は前出の図-2.1に示すようである。W方向は家島諸島によって妨げられているが、それでも $L = 28 \text{ km}$ である。またWSW方向のLは70kmである。他の卓越風向であるSE方向に関しては、明石海峡で淡路島の北端にほぼ接しているが、わずかな変化で大阪湾方向へとフェッチが伸びる。この条件を考慮すると $L = 45 \text{ km}$ となり、SE方向は窓は狭いものの、かなり長いフェッチを有することが分かる。以上に述べた風の発達とフェッチの分布により、当海岸では主と



— $V > 0$ m/sec --- $V \geq 5$ m/sec ---- $V \geq 10$ m/sec

図-2.4 江井ヶ島における月別風配図 (1982年9月~1987年12月)

して W ～ WSW 方向からと SE 方向からの入射波が卓越することになる。

東播海岸の江井ヶ島では水深 10.5 m 地点に設置された超音波式波高計により波浪観測が行われてきている。1984 年～1988 年の観測データをもとに、全年と冬期（12 月～2 月）の有義波高・周期の出現頻度をまとめると表-2.1、2.2 となる。通年では波高 0.5 m 以上の出現割合が約 7%，卓越周期は 3 ～ 4 s である。一方、冬期に限れば、0.5 m 以上の波高の出現率は約 15% となり、また周期は 3 ～ 4 s に加え 4 ～ 5 s も目立つようになる。結局、東播海岸では一般の外洋に面した海岸に比較すると波高は低く、周期も外洋の 8 ～ 9 s に対しはるかに短い。

2.4 海浜地形変化の特性

(1) 汀線変化

養浜区間における 1984 年 10 月～1986 年 2 月の間の汀線形の変化を図-2.5 に示す。1984 年 10 月～1985 年 1 月では 2 号突堤に隣接する区域で汀線が後退し、逆に 1 号突堤の西側では汀線が前進している。汀線が最も著しく前進したのは測線 No. 6、逆に汀線が後退したのは No. 9 である。このような汀線変化は、冬期風浪により東向き沿岸漂砂が生じ、それが東側の突堤によって阻止されたため生じたと考えられる。1985 年 1 月から 1985 年 6 月の間ではこれと逆の汀線変化が生じ、No. 6 ～ No. 8 で汀線が後退、No. 8 ～ No. 10 で汀線が前進し、1984 年～1985 年の変化と逆の傾向となった。これは主として夏期に発達する SE 方向の風により、西向き沿岸漂砂が生じたためである。その後、1985 年 6 月～1986 年 2 月の間には再び 1984 年～1985 年と同様な変化が生じた。このように当地区の汀線形は風向の変化に対応した周期的な変動が卓越し、突堤間で沿岸漂砂の方向が反転することが特徴と言える。汀線のこの種の季節的な変動は、霞ヶ浦（宇多ら、1987）や鹿島灘沿岸（住谷ら、1988）等でも見出されており、また宇多・坂野（1989）は実験・理論の両面より検討している。このような点より東播海岸で観測されたこの現象はかなり高い普遍性を有していると考えられる。

表-2.1 江井ヶ島における通年の波高・周期の出現頻度

$T_{1/3}$ (s) \ $H_{1/3}$ (m)	～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～	計
～0.25	14.3	50.8	8.4	1.4	0.2			75.1
0.25～0.50	3.7	12.6	1.3					17.6
0.50～0.75	0.1	2.8	1.8					4.7
0.75～1.00		0.4	1.3	0.1				1.8
1.00～1.25			0.4	0.2				0.6
1.25～1.50			0.1	0.1				0.2
1.50～1.75								
1.75～2.00								
2.00～								
計	18.1	66.6	13.3	0.8	0.2			100.0

表-2.2 江井ヶ島における冬期（12 月～2 月）の波高・周期の出現頻度

$T_{1/3}$ (s) \ $H_{1/3}$ (m)	～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～	計
～0.25	4.4	43.8	13.4	2.7	0.4			64.7
0.25～0.50	0.7	16.1	3.3					20.1
0.50～0.75		3.7	5.3	0.1				9.1
0.75～1.00		0.1	4.0	0.2				4.3
1.00～1.25			1.0	0.5				1.5
1.25～1.50			0.1	0.2				0.3
1.50～1.75								
1.75～2.00								
2.00～								
計	5.1	63.7	27.1	3.7	0.4			100.0

(2) 平面深浅図の比較

代表時期の深浅図の比較を通じて海浜地形の平面的変化状況について調べた。代表時期としては、養浜完成直後の1984年10月と、1988年2月を選んだ。深浅図を図-2.6, 2.7に示す。ここに、等深線の基準面はT.P. 0 m とする。図-2.6は夏期のSE方向の風によって発達した入射波の作用を受けた後の地形、図-2.7は冬期のWまたはWSW方向の風によって発達した入射波の作用後の地形である。両者を比較すると、まず突堤の沖合の-2.5 m 以深の等深線には変化が見られないことがあげられる。測線No. 6, 7付近では図-2.6に比較して図-2.7では1.5 m ~ -1.0 m の等深線が全体に前進し、No. 9付近で後退している。このときこれらの等深線は互いにはほぼ平行移動している。このことは、この地形変化が東向きの沿岸漂砂によって生じたものであることを表わしている。また、汀線付近の等深線がほぼ一体的に変動するとともに、

汀線が最も後退する測線が2号突堤に沿う位置よりもずっと東側となる点などは、宇多・坂野(1989)の実験結果と良い対応を示す。

(3) 等深線距離の経年的変化

養浜は1982年~1984年の間に実施されたが、この間および実施後において深浅測量が繰り返行われた。養浜区間の汀線は季節的に変動し、汀線の前進、後退が最も顕著に見られる測線はNo. 6とNo. 9であった。そこでこれら2測線を代表として選び、基準点より1.5 ~ -5.0 m の間の等深線までの冲向き距離(等深線距離)の経年変化を調べた。この場合、読み取りを行う等深線の間隔は0.5 m とした。まず、測線No. 6における等深線距離の経年変化を図-2.8に示す。沖合の等深線の位置を調べると、-2 m 以深の等深線は時間的に安定形を保っており、汀線付近での等深線の前進・後退と良い対照をなしている。このことは、養浜時沖方向への土砂流出はほとんどなく、土砂の冲向き移動は無視できる量であったことを示す。ところで、1983年の養浜直後から1984年の養浜までの間、汀線付近の等深線が後退傾向を示すことは注目される。なぜならば、養浜が行われたあと人為的な地形改変は行われておらず、したがってこのような汀線後退は波の作用で生じたと考え

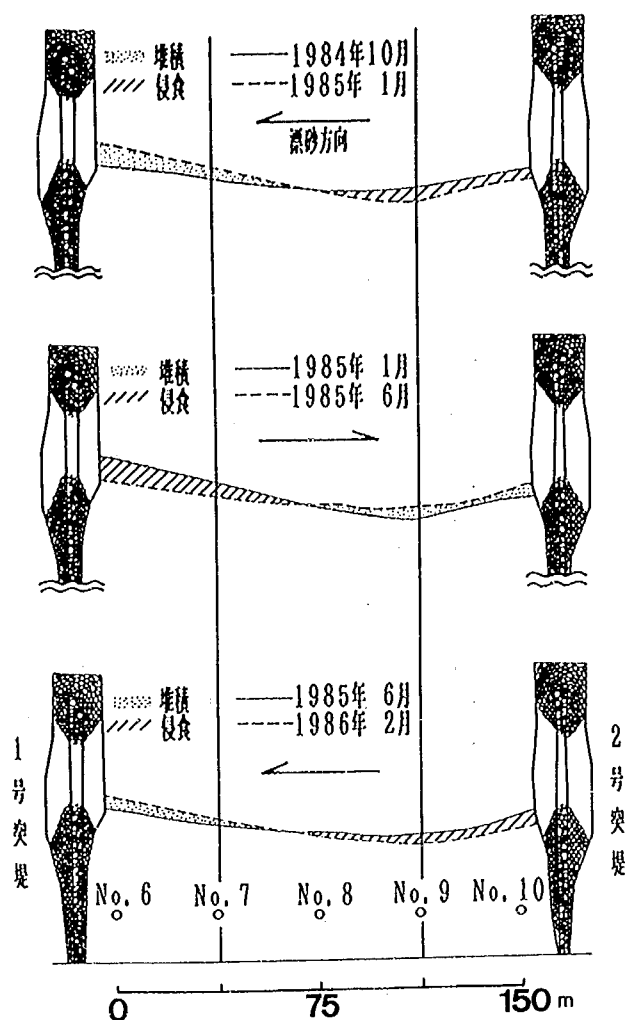


図-2.5 汀線形状の季節的变化

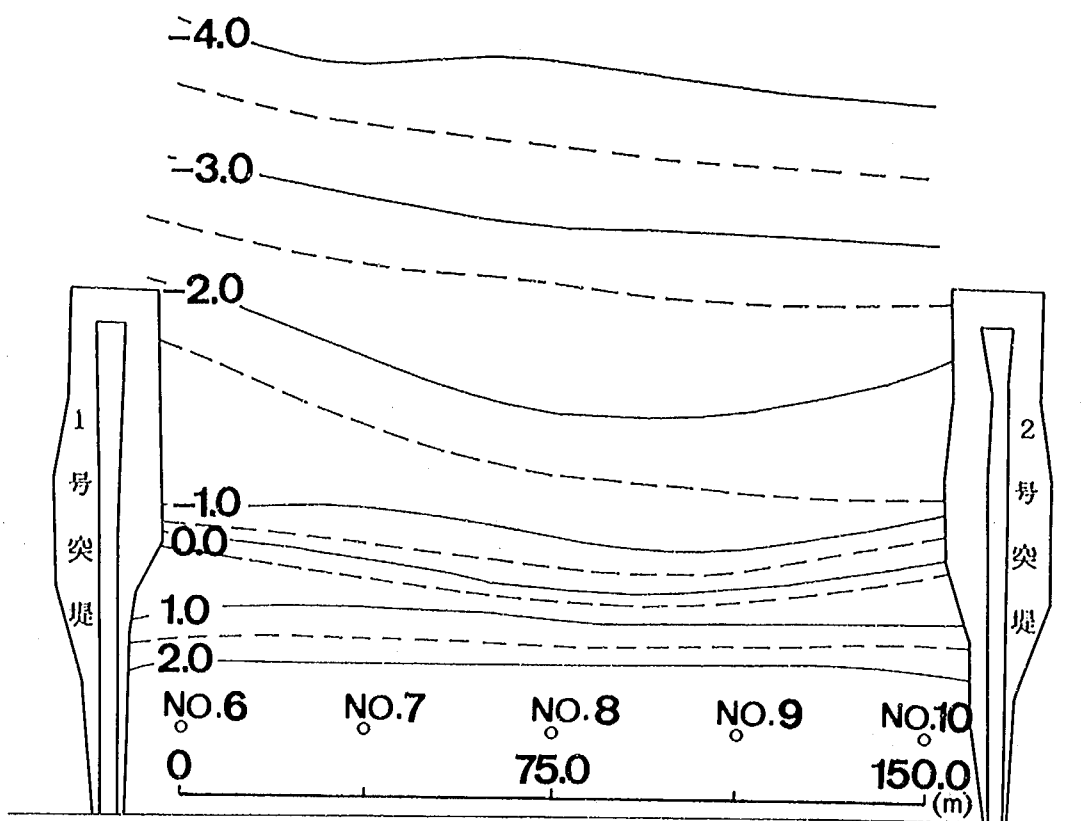


图-2.6 深浅图 (1984年10月测量)

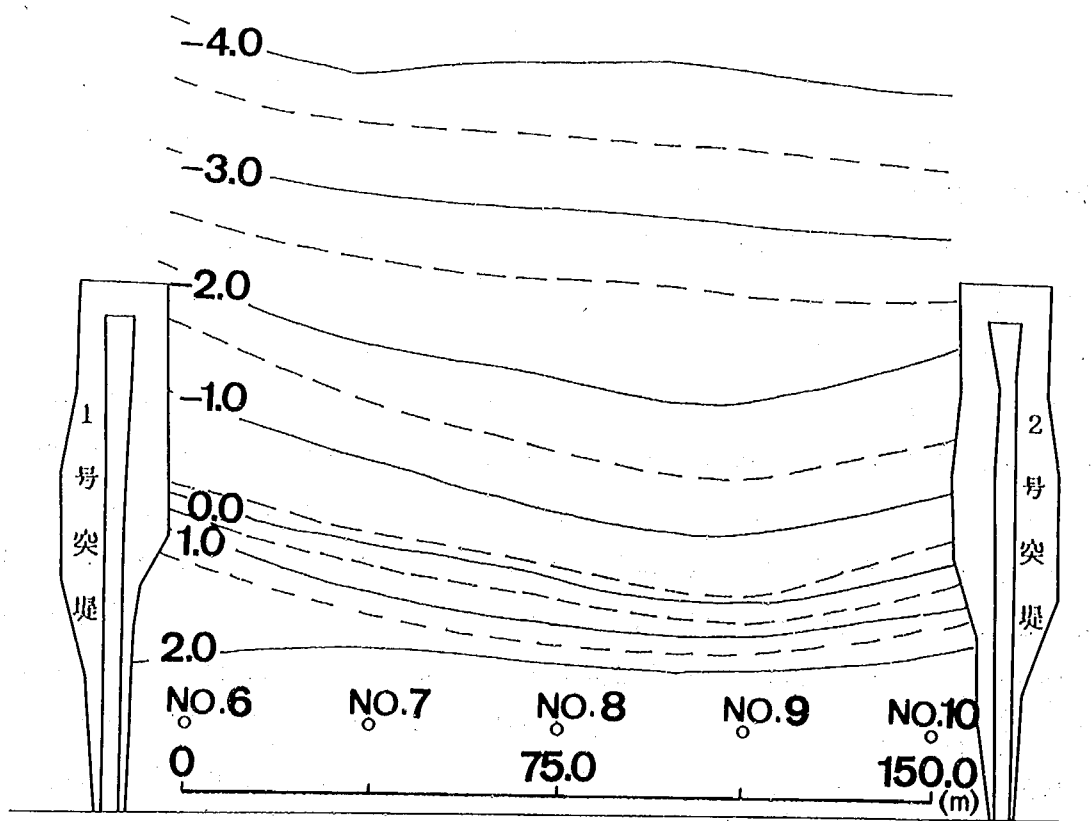


图-2.7 深浅图 (1988年2月测量)

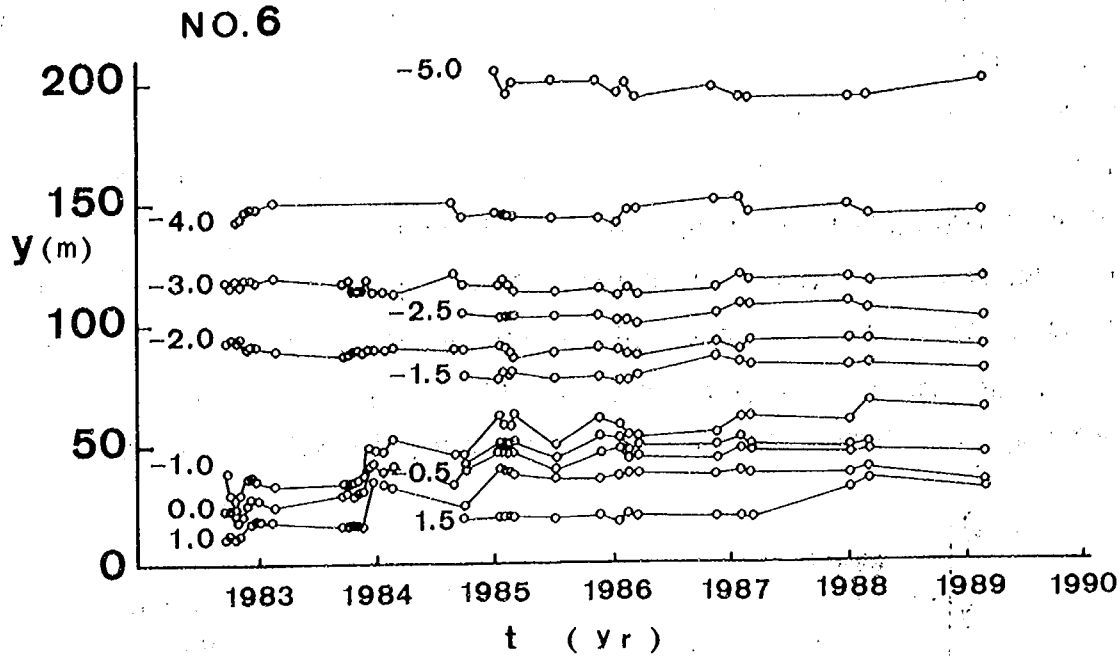


図-2.8 測線No.6における等深線距離の経年変化

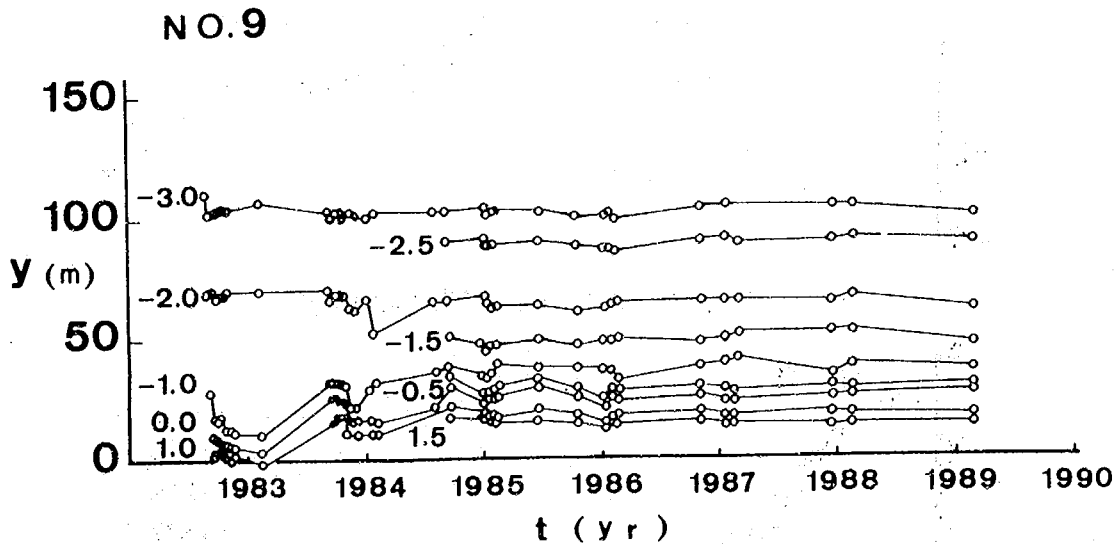


図-2.9 測線No.9における等深線距離の経年変化

られるからである。

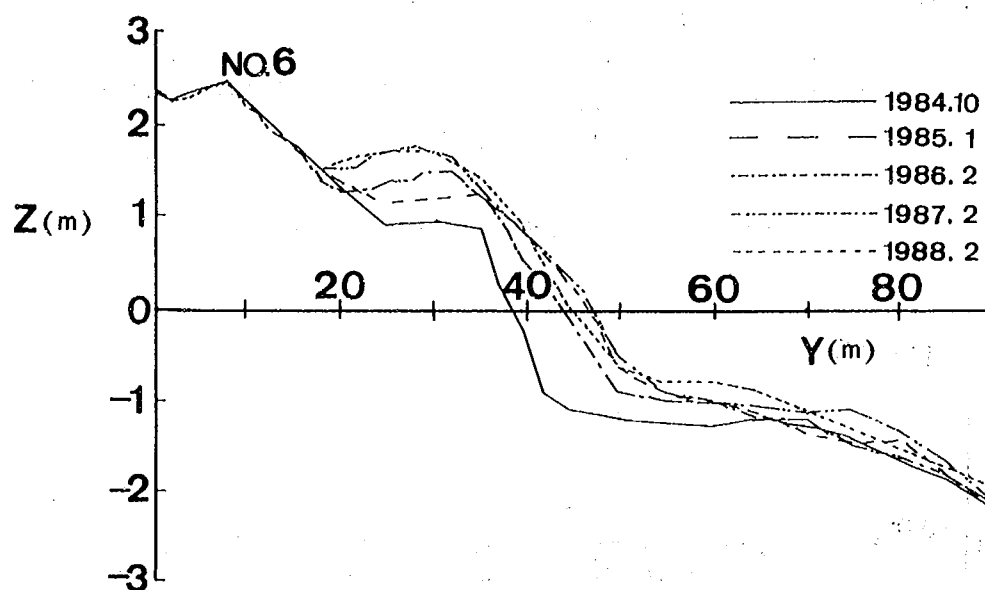
同様に測線No.9における等深線距離の変化を図-2.9に示す。沖合の-2m以深の等深線がほぼ安定している点は図-2.8の場合と同一である。汀線付近の等深線の特徴を調べると、先に図-2.8では汀線付近の等深線の後退傾向の見られた1983年12月~1984年8月の間、この測線では逆に等深線が前進しており、No.6とNo.9で逆モードの変化が見られる。このことは、この時期SE方向の

風が発達した結果、西向きの漂砂が生じ、これによって突堤間の東寄りに位置するNa.6では侵食が、またNa.9では堆積が生じたことを表わしている。

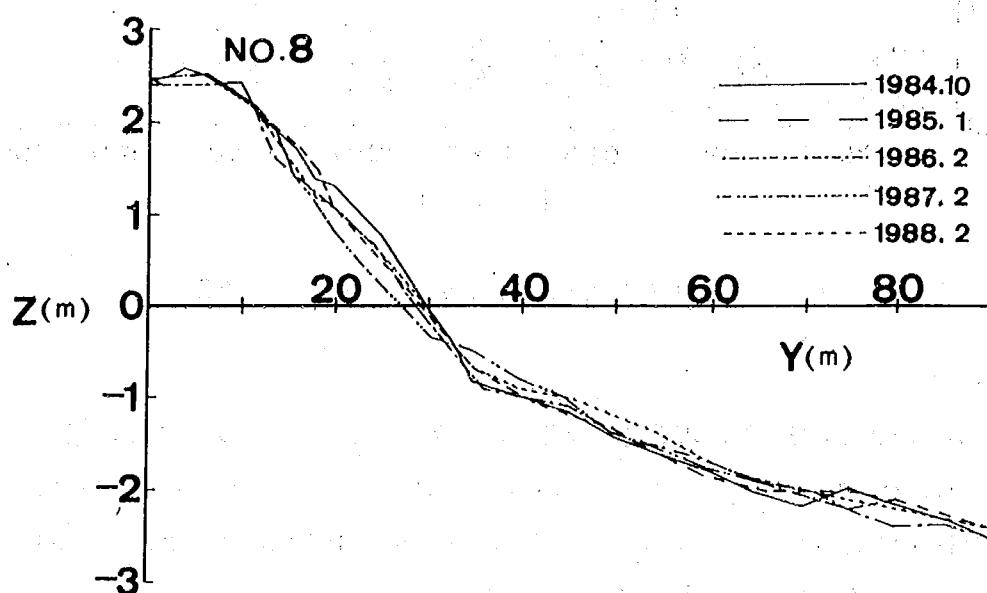
(4) 海浜断面形の変化

深淺データをもとに代表断面形の経年変化を調べた。代表断面としては、著しい堆積の見られた測線No.6，侵食域に位置する測線No.9，それらの中間にある測線No.8を選んだ。これらのうちNa.6は1号突堤に隣接するが，No.9は2号突堤より東に約50m離れている。このように侵食による地形変化が最も顕著に現われた測線が突堤から離れているのは突堤による波の回折効果があるためである。以下，測線No.6，No.8，No.9の海浜断面形の変化を図－2.10，2.11，2.12に示す。

1984年時点の海浜断面形を基準に考えたとき，図－2.10に示す測線No.6では，断面内で多量の



図－2.10 海浜断面形の経年変化（測線No.6）



図－2.11 海浜断面形の経年変化（測線No.8）

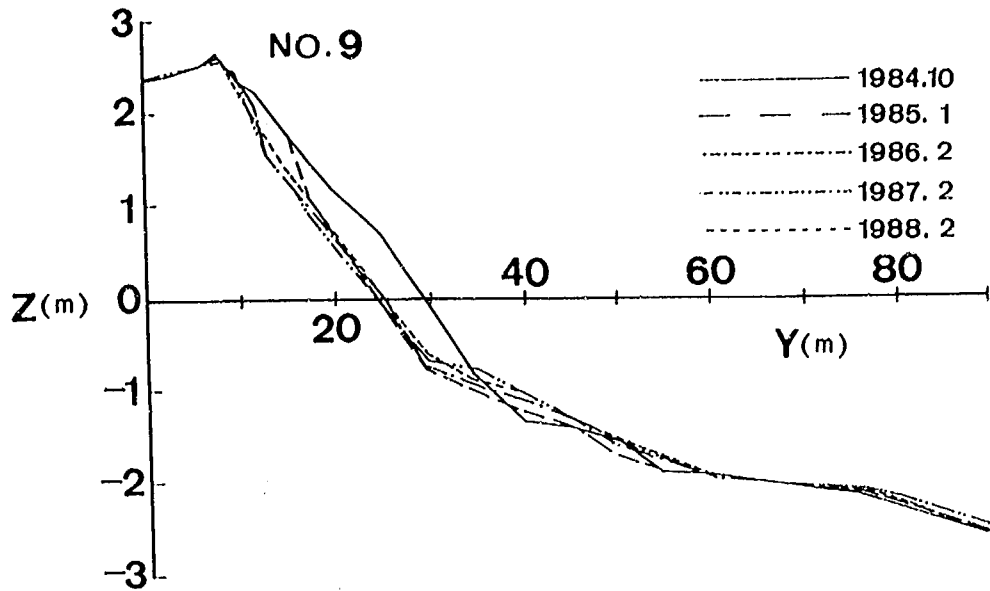


図-2.12 海浜断面形の経年変化(測線No.9)

土砂が堆積している。土砂堆積の陸側限界は $Z = 1.5 \text{ m}$ にあり、その点より海側でバームの発達が著しい。バーム頂は、1985年に 1.2 m 、1986年に 1.5 m 、1987年に 1.8 m と、経年的に高まりを示し、1987年にはほぼ安定形に近づいた。1984年～1987年の間でバーム高の平均的な増加割合を求めると 0.3 m/yr となる。バームの成長とともに汀線の前進が見られるが、この間前浜勾配 ($0 \sim +1 \text{ m}$ の平均勾配として定義) は表-2.3に示すようにほぼ一定である。一方、海面下ではほぼ -2 m までの範囲で地形変化が生じている。結局、この断面では初期断面の $1.5 \text{ m} \sim -2 \text{ m}$ の範囲で地形変化が生じたことになる。

表-2.3 前浜勾配の一覧

測量年月 測線No.	1985.1	1986.2	1987.2	1988.2
No. 6	1/9	1/7	1/9	1/6
No. 8	1/8	1/8	1/8	1/9
No. 9	1/6	1/7	1/7	1/7

図-2.11に示す測線No.8は、東または西方向へと沿岸漂砂が通過する断面にあるために、No.6断面と比較すると断面形の変化量は小さい。詳細に見ると、1984年～1987年の間、前浜ではやや侵食傾向、海面下ではやや堆積傾向にある。しかし沖合部の地形変化の生ずる限界水深はこの断面形からは読み取ることはいできない。

図-2.12に示す測線No.9では、1984年以降明らかに侵食が進んでいる。前浜上では時間経過とともに侵食限界の高さが高くなり、1988年にはほぼ平坦面上にまで達した。この原因は、汀線の後退とともに前浜上には浜崖が形成され、それが一定勾配を保ちつつ後退したためである。堆積域のNo.6では、初期地形に対する地形変化の生ずる限界が 1.5 m とほぼ一定しており、これに対してここで述べた侵食域の場合は、侵食開始点の高さが時間経過とともに高くなった。これらは堆積・侵食が生ずる場合の海浜断面形変化の典型的な相違点と言える。一方、この断面においてもNo.6断面と同様前浜勾配は一定である(表-2.3参照)。海面下の地形変化を調べると、 -0.8 m 以浅では前

浜と一体的に侵食が進んでいるが、その沖の-1.0 m 付近にはわずかながら堆積区間が見られる。また、顕著な地形変化の見られる限界水深は約-2.0 m にある。

結局、この海岸では養浜後5カ年が経過する段階で生じた地形変化から判断する限り、漂砂の活発な範囲は-2 m 以浅にあり、それより沖合での地形変化はほぼ無視できることになる。

(5) 漂砂の移動高

海浜断面形の経年変化は図-2.10～図-2.12 に与えられた。次に、これらの海浜データをもとに1984年を基準とした汀線変化量(Δy)と断面積の変化量(ΔA)とを求め、両者の相関関係を調べた(図-2.13 参照)。ここに断面積変化量の計算は、基準点より沖方向に90mの範囲とした。図-2.13によれば、 ΔA と Δy の間には、相関係数 $R=0.88$ を持つ線形な関係として、次式が成立する。

$$\Delta A = 1.66 \Delta y + 9.46$$

..... (2.1)

ここに ΔA と Δy の単位は m^2 と m である。 ΔA と Δy の回帰係数は漂砂の移動高に等しい(宇多・山本, 1989)から、この場合移動高は $h=1.66 m$ となる。移動高に関しては、この海域の舞子海岸においては $h=3.3 m$ 、また淡路島の北端の松帆崎では

$h=2.0 m$ と得られている(宇多, 1986)。これらと比較すると、当海岸では松帆崎の値よりも約20%下まわることになる。また、当海岸は内海にあり、作用波高が低いため外海に面した海岸における約10 mと比較して約1/6となっている。

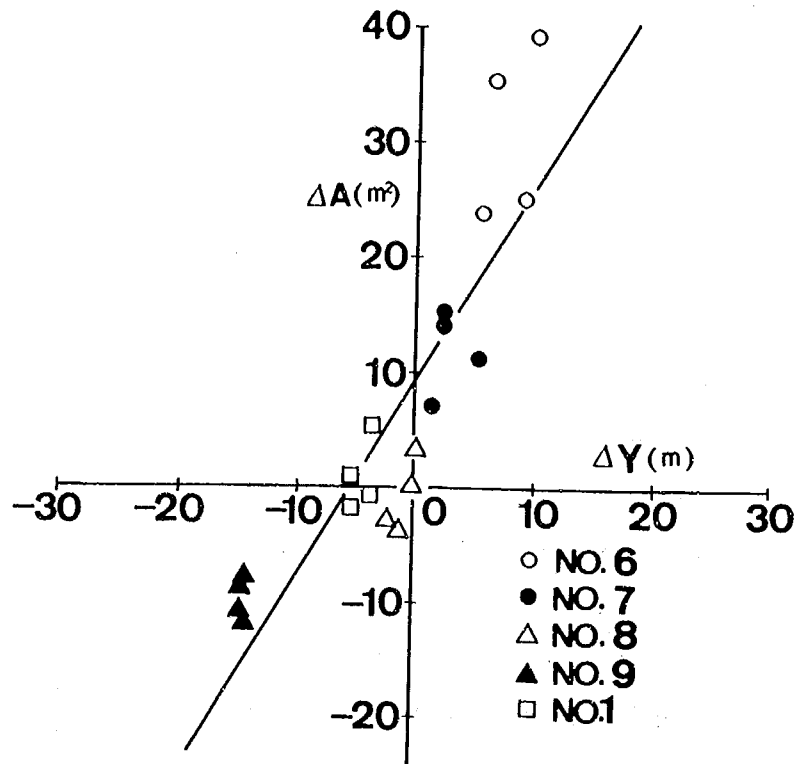


図-2.13 海浜断面積の変化量(ΔA)と汀線変化量(Δy)の相関

2.5 汀線変化と沿岸方向のエネルギーフラックスの関係

最近、宇多・坂野(1989)は、波向が季節的に変動する場における構造物周辺での周期的モードを持った海浜地形変化について実験的に調べた。東播海岸でもこれと同一な現象が生じている。いま、養浜が完了した1984年10月の汀線形を基準として各測線の汀線変化量を求め、その経年変化を調べると図-2.14となる。測線No. 6, 7では冬期に汀線が前進し、夏期には後退している。一方、測線No. 9, 10ではこれと逆に冬期には汀線が後退し、夏に前進している。測線No. 8では1984年～1985年の

間は変化が少なく、ほぼ中立的であったが、1986年にはNo. 9, 10と同様に冬期には後退傾向を示した。以上のように、突堤間に挟まれた養浜区間において、中央より東側と西側とでは逆モードの汀線変化が見られ、それらが季節的に変動している。この原因としては、図-2.4に示したように、冬期にはWまたはWSWの風が卓越するのに対し、夏期にはSE方向の風が発達することがあげられる。そこで、江井ヶ島で観測されたデータに基づき、波向が風向と等しいと仮定し、観測された有義波高・周期より海岸線の方を考慮して波のエネルギーフラックスの沿岸方向成分を求め、併せて図-2.14に示した。ここに実線は西向き、破線は東向きのエネルギーフラックスを示す。全体としては、冬期風浪による波浪が卓越するために東向き成分が大きいが、夏期には西向き成分もかなり大きくなる。汀線変化と対応させると、東向きのエネルギーフラックスの卓越により東側にあるNo. 6, 7で堆積が生じ、No. 9, 10では侵食が生じていることが明らかである。西向きのエネルギーフラックスの卓越する場合はこの逆である。以上のように、当海岸の海浜地形は、波の入射方向が季節的に変化するためにそれに応答していることが分かった。

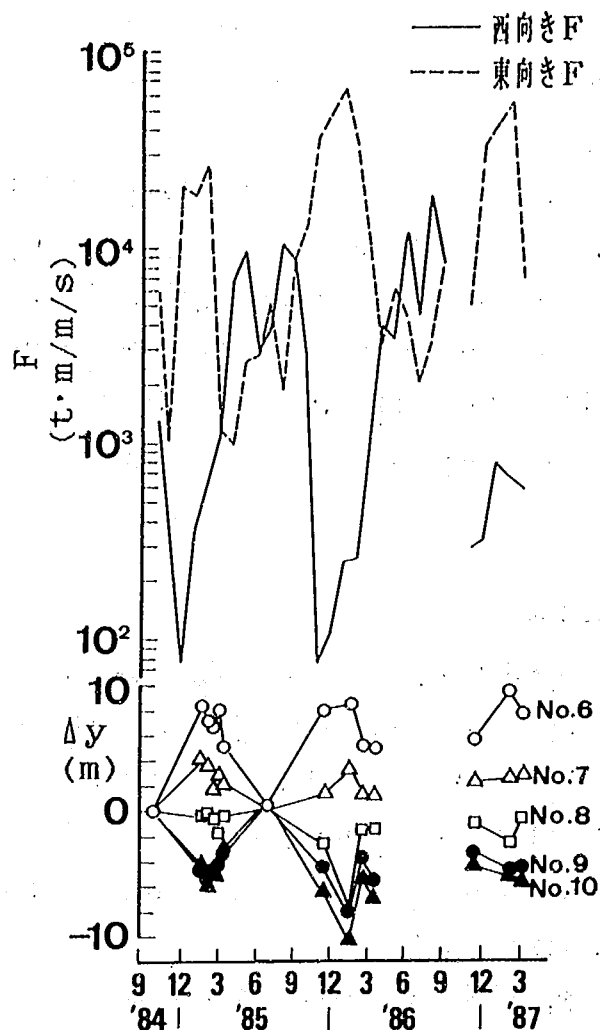


図-2.14 汀線変化と沿岸方向エネルギーフラックスの関係

2.6 結 論

本研究によって得られた主要な要点は以下のように要約される。

- ① 東播海岸における養浜後の海岸変形調査によると、当海岸では周期的モードを持った海浜変形が見出された。この変化は、当海岸への来襲波浪を決定する風が、冬期のW～WSWより夏期のSE方向へと季節的に大きく変化し、これに伴って沿岸漂砂の方向が逆転するためである。
- ② この種の地形変化は、霞ヶ浦(宇多ら, 1987)や鹿島灘沿岸(住谷ら, 1988)等でも見出されており、また実験的にも検討されている(宇多・坂野, 1989)。このような点より当海岸で見られた現象はかなりの普遍性を有している。
- ③ 海浜断面データより、漂砂の移動高を求めたところ、 $h \approx 1.7$ mなる値が得られた。当海岸に隣

接する舞子漁港周辺でも同様な検討が行われ、 $h = 3.3 \text{ m}$ という値が、また淡路島の北端の松帆崎では $h = 2.0 \text{ m}$ なる値が求められている。これらと比較すると、ここで得られた値は松帆崎の値に近い。また、当海岸は内海に面し、作用波浪が低いので外海に面した海岸の移動高約 10 m の約 $1/6$ となっている。

- ④ 海浜断面データによれば漂砂の移動限界水深は約 -2.0 m にあった。また、汀線の季節的変動量の最大値は 10 m であった。これら両者を考慮したとき、初期汀線より 100 m の長さを持ち、先端水深が -2.5 m である突堤は、養浜砂を安定化する上で十分な長さであることが分かった。
- ⑤ 海浜断面形の比較によると、侵食・堆積時の典型的変化が見られた。すなわち、侵食域では前浜付近の勾配が一定値を保ちつつ汀線が後退したために、初期養浜の天端上 2.5 m まで侵食が進んだ。一方、堆積域ではバームが形成され、そのバーム高は時間経過とともに次第に高くなり、施工後約 3 年で 1.8 m となってほぼ安定した。

参考文献

- 宇多高明・山本幸次（1983）：東播海岸移動床模型実験報告書，土木研究所資料，第2020号，p. 75.
- 宇多高明（1986）：明石海峡周辺海岸の海浜地形変化，土木技術資料，Vol. 28，No. 9，pp. 9～14.
- 宇多高明・赤穂俊作・今井武雄（1987）：霞ヶ浦における風波による湖浜変形の実態，土木学会論文集，No. 381/Ⅱ-7，pp. 161～170.
- 宇多高明・山本幸次（1989）：海岸侵食調査における2，3の留意点，土木技術資料，Vol. 31，No. 8，pp. 60～66.
- 宇多高明・坂野 章（1989）：波向が周期的に変化する場における海浜地形変化，海岸工学論文集，第36巻，pp. 369～373.
- 住谷勉夫・園部武正・宇多高明・伊藤 隆・猿田正則・横田喜一郎（1988）：鹿島灘沿岸におけるヘッドランドの建設による海浜の安定化，第35回海岸工学講演会論文集，pp. 437～441.

第3章 2次元移動床実験による人工リーフの機能性検討

3.1 まえがき

人工リーフの消波効果については、既に海岸保全施設築造基準解説（1987）や宇多ほか（1988）により詳しい議論がなされているが、ここでは東播海岸で計画されている人工リーフに関しその消波効果を2次元実験で確認するとともに、人工リーフの岸側に養浜した場合の養浜砂の安定性について検討した。

3.2 実験方法

実験は、2次元造波水路（ $33 \times 0.6 \times 0.8$ m）を用いて行った（図-3.1）。2次元水路中に人工リーフを設置し、その岸側で養浜を行った。模型海浜の断面形状は、東播海岸の舞子地点付近の平均断面とした。人工リーフの材料には直径が1.3～2.0 cmの碎石を用いた。また、養浜砂の中央粒径は $d_{50} \approx 0.3$ mmである。実験ではフルードの相似則にしたがい模型縮尺を定めた。したがって波高変化等についてはほぼ相似が成立するが、波による2次元海浜地形変化に関しては相似則は成立せず、実験結果は定性的意味からの利用に限られる。実験縮尺は1/50であって、人工リーフの天端幅、天端高、養浜工の断面形状、波浪条件を変化させ、合計24ケースの実験を行った（表-3.1）。なお、実験結果に関しては全て現地換算値によりスケールを示した。また、水位の基準は東京湾中等潮位（T.P.）

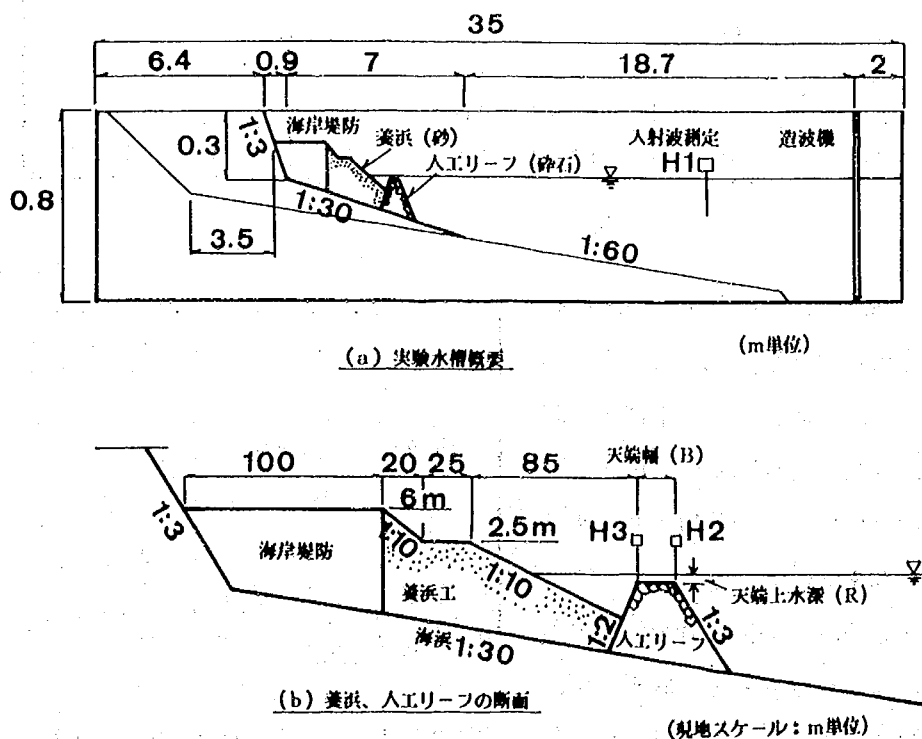


図-3.1 人工リーフ2次元実験の断面図

表-3.1 2次元実験の条件一覧

実験ケース	リーフ諸元		波浪条件		潮位 (m)	養浜のり面 勾配
	天端幅 B (m)	天端高 Z (m)	H ₀ (m)	T (sec)		
1	}	リーフ無	2.0	6	0.6	1/10
2			2.6	8	"	"
3			2.0	6	2.8	"
4			4.6	8	"	"
5	20	-1.5	2.0	6	0.6	"
6	"	"	4.6	8	"	"
7	"	"	2.0	6	2.8	"
8	"	"	4.6	8	"	"
9	40	"	2.0	6	0.6	"
10	"	"	4.6	8	"	"
11	"	"	2.0	6	2.8	"
12	"	"	4.6	8	"	"
13	60	"	2.0	6	0.6	"
14	"	"	4.6	8	"	"
15	"	"	2.0	6	2.8	"
16	"	"	4.6	8	"	"
17	20	-1.0	2.0	6	0.6	"
18	"	"	4.6	8	2.8	"
19	40	"	2.0	6	0.6	"
20	"	"	4.6	8	2.8	"
21	60	"	2.0	6	0.6	"
22	"	"	2.6	6	2.8	"
23	"	"	4.6	8	2.8	"
24	40	-1.5	4.6	8	2.8	1/21.25

0 m) とした。

測定項目は、海浜形状、打ち上げ高、波高である。波の作用時間は2時間とし、実験開始時と2時間後に海浜形状と打ち上げ高を測定した。また、波高は実験開始直後に沖合、リーフの沖側のり肩、岸側のり肩の3ヶ所で測定した（図-3.1参照）。

なお、東播海岸の計画潮位、計画波浪の条件は表-3.2に示すようである。計画潮位、

偏差等は場所的に変わらないが、計画波高は明石以東が4.6 m、明石以西が3.4 mであって、東側の方が1.2 m 高くなっている。

表-3.2 東播海岸の計画条件

	明石以東	明石以西
計 画 潮 位 (m)	2.8	2.8
朔望平均満潮位(m)	0.60	0.60
偏 差 (m)	2.20	2.20
計画波高(m), 周期(s)	4.6, 8.0	3.4, 8.0
護 岸 高 (m)	6.0	5.0

※ 潮位等の基準は T.P. 0.0 m である。

3.3 人工リーフの消波効果

人工リーフによる波浪減衰効果を調べるために、実験開始直後に得られた波高データを築造基準解説（1987）と同様な方法により整理した（図-3.2）。縦軸には換算沖波波高 H'_0 と透過波高 H_t の比（ H_t/H'_0 ）で定義される透過率 K_t を、横軸には人工リーフの相対天端幅（ B/L_0 ）を取り、天端上水深 R と換算沖波波高 H'_0 の比（ R/H'_0 ）をパラメータとして整理した。また、築造基準（1987）による値を実線で示し、本実験で得られたデータを滑らかな破線で結んだ。更に、図中の白丸はリーフの天端高が -1.5 m 、黒丸は -1.0 m の場合である。 R/H'_0 が一定の場合、相対天端幅 B/L_0 が大きくなると K_t は急激に小さくなるが、 K_t の減少割合も小さくなり、相対天端幅を大きくした効果は明瞭ではなくなる。また、 R/H'_0 が小さいほど透過率は小さくなる。築造基準（1987）による値と本実験とは厳密には一致しないが、基本的には同様な傾向が得られた。図-3.3には計画潮位（T.P. 2.8 m ）、計画波浪（ $H = 4.6\text{ m}$, $T = 8\text{ s}$ ）条件における透過率 K_t と天端幅の関係を示したが、これによれば K_t を 0.6 以下とするには、人工リーフの天端高が -1.0 m の場合、天端幅を約 40 m 以上と

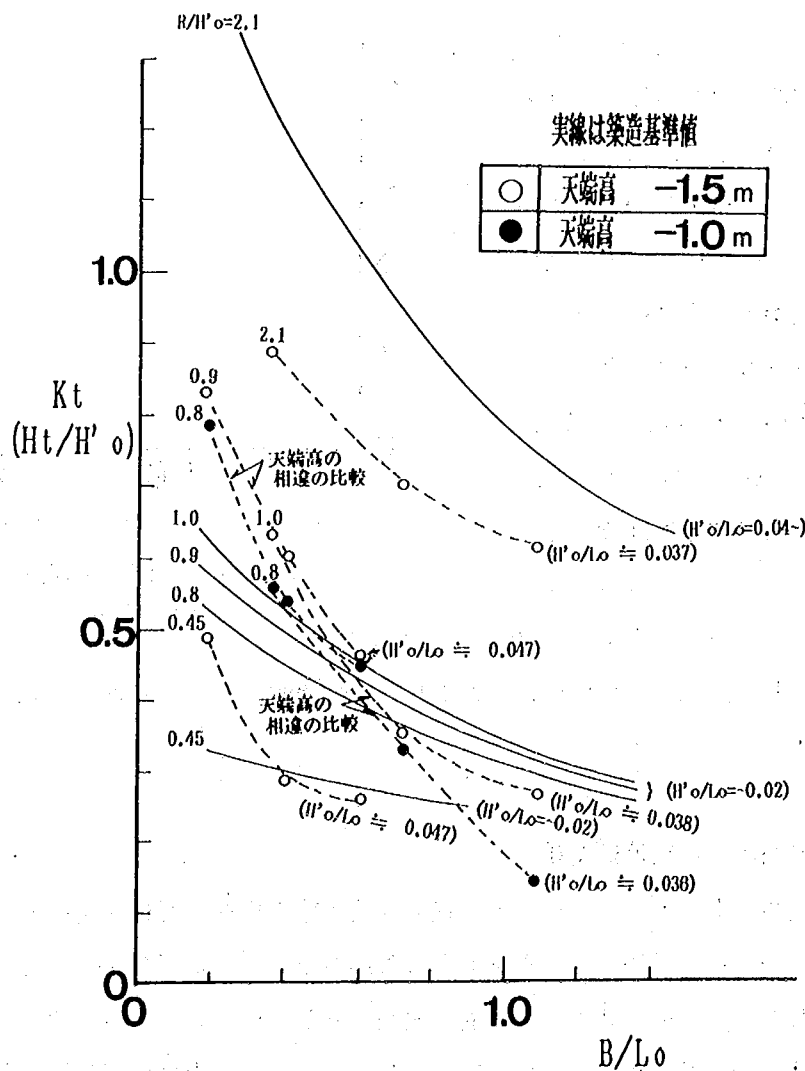


図-3.2 人工リーフの透過率と相対天端幅（ B/L_0 ）の関係

する必要がある。また、計画潮位・計画波浪条件において、天端高-1mの人工リーフは、天端高-1.5mの人工リーフよりも約10%透過率が低くなった。

波の打ち上げ高に関しては、最初実験開始直後のデータを整理したところ、最大打ち上げ高が4.15mとなった。また、波を作用させてから2時間後の打ち上げ高を同様に整理すると、初期の打ち上げ高より高く、最大で4.95mとなった。そこでここでは安全側の立場より実験開始より2時間後の打ち上げ高について整理した(図-3.4)。

図の縦軸には打ち上げ高、横軸には人工リーフの天端幅をとり、リーフ天端高と波浪・潮位条件をパラメータとして整理した。また、白印はリーフ天端高が-1.5m、黒印は-1.0mの条件を示す。実験の範囲では打ち上げ高は人工リーフの天端幅にあまり依存せず、主として波浪条件と潮位条件によって決定され、その最大値は4.95mである。ただし、通常の時化($H_0 = 2.0$ m)時の打ち上げ高の差は設定潮位差程度であるが、計画波浪($H_0 = 4.6$ m)時には設定潮位差の約半分となる。これは、人工リーフ

の天端上水深に対して波高が小さい場合、人工リーフの沖側法肩付近で碎波せず、沖波相当の波が護岸前面まで到達するためである。

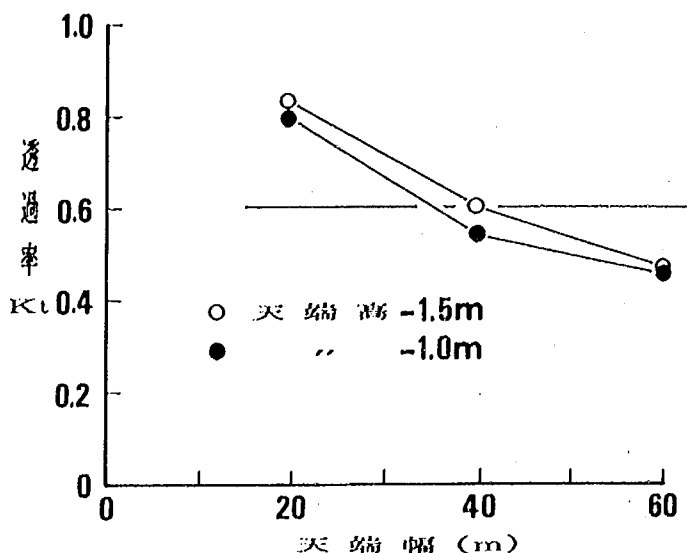


図-3.3 人工リーフの透過率と天端幅の関係

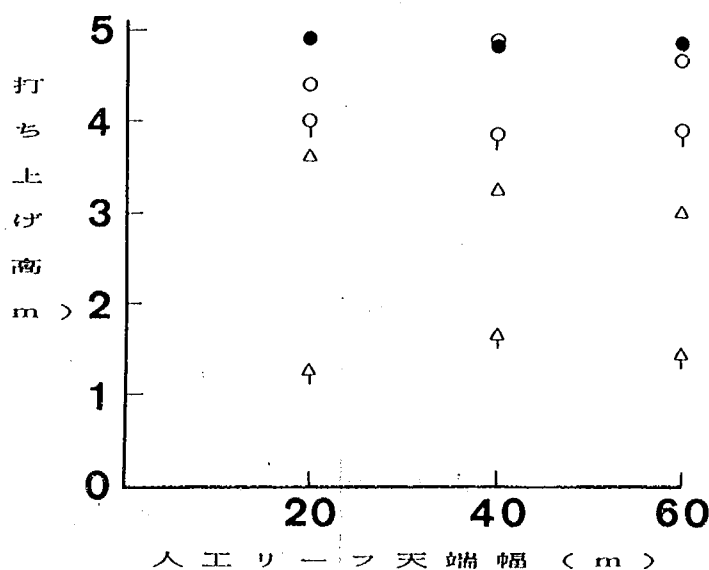


図-3.4 波の打ち上げ高と人工リーフの天端幅の関係

3.4 人工リーフ岸側の2次元地形変化

2次元移動床実験によって人工リーフの形状や養浜形態を様々に変化させたときの人工リーフ岸側の海浜地形変化を調べた。最初に、マウンド上の養浜のみを行った場合(ケース④)の地形変化を図-3.5に示す。ここに、潮位は2.8m、入射波浪条件としては $H_0 = 4.6$ m、 $T = 8$ sである。マウンドのみの場合、養浜砂の多くが沖向きに流出してしまった。前浜上には部分的に土砂堆積が見られるが、侵食量の方が堆積量よりはるかに大きい。沖への流出土砂の大部分はマウンド内へと侵入した。

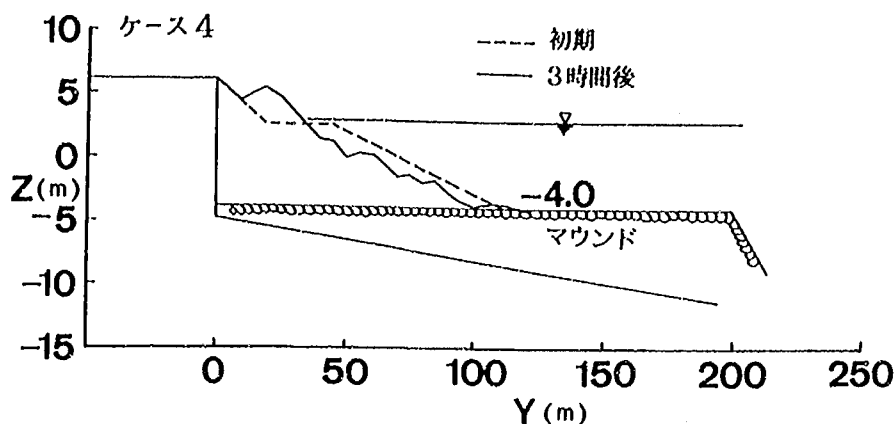


図-3.5 海浜断面形の変化 (人工リーフ無)

人工リーフの天端高を -1.5 m に保ち、天端幅を $20, 40, 60\text{ m}$ と変えたとき (ケース⑧, ⑫, ⑯) の地形変化を図-3.6に示す。ここに、潮位、波浪条件は図-3.5の場合と同様である。天端幅が 20 m の場合、他の2ケースと比較して侵食域の沖側限界を定める水深が大きく、その位置は人工リーフの岸側ののり先に近くなった。海浜形状の変化は堀川ら(1974)の海浜形状分類のタイプⅡに近いものとなった。天端幅を -1.5 m より -1.0 m と高くして同様に天端幅を $20, 40, 60\text{ m}$ と変えた場合 (ケース⑱, ⑳, ㉓) も、結果はほぼ同様となった (図-3.7)。ただし $B=60\text{ m}$ の場合、リーフの消波効果が向上したために地形変化の生ずる範囲が天端高 -1.5 m のときよりも狭くなった。

人工リーフの天端高を -1.5 m 、天端幅を 40 m としておき、人工リーフ岸側の養浜形態を変え、リーフののり肩近くまで養浜した場合 (ケース㉔) には、養浜

砂の沖への流出が見られた (図-3.8)。このことより、養浜時にはリーフののり肩より養浜地盤高をかなり下げて施工した方が養浜砂の安定性向上につながると考えられる。

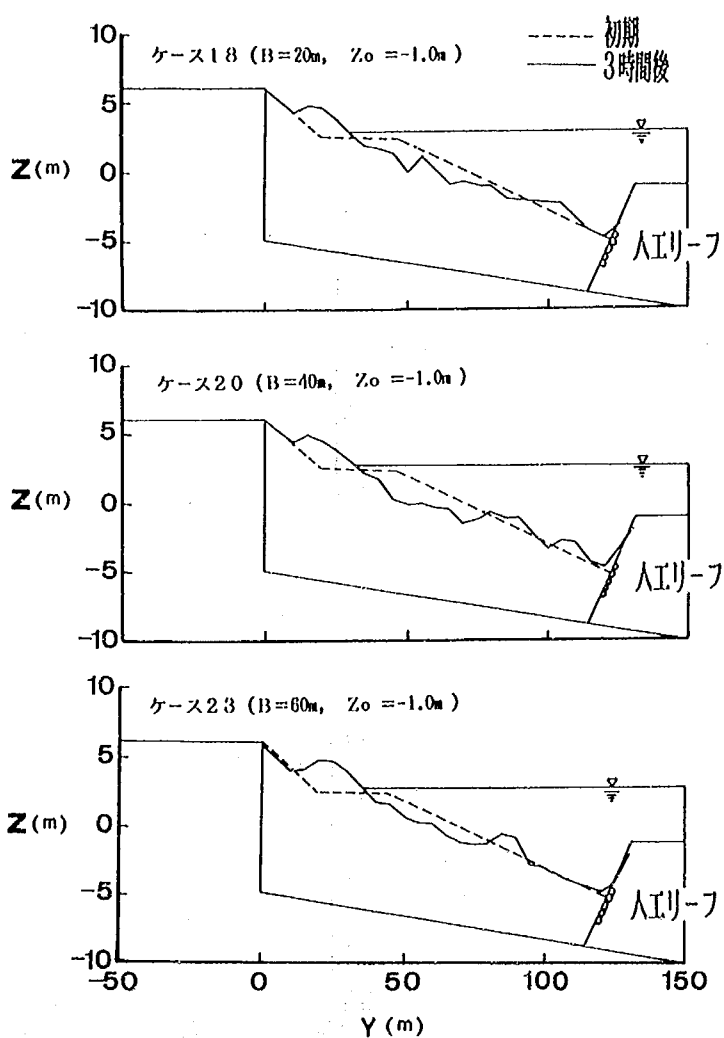


図-3.6 海浜断面形の変化
(天端高 -1.5 m の人工リーフ)

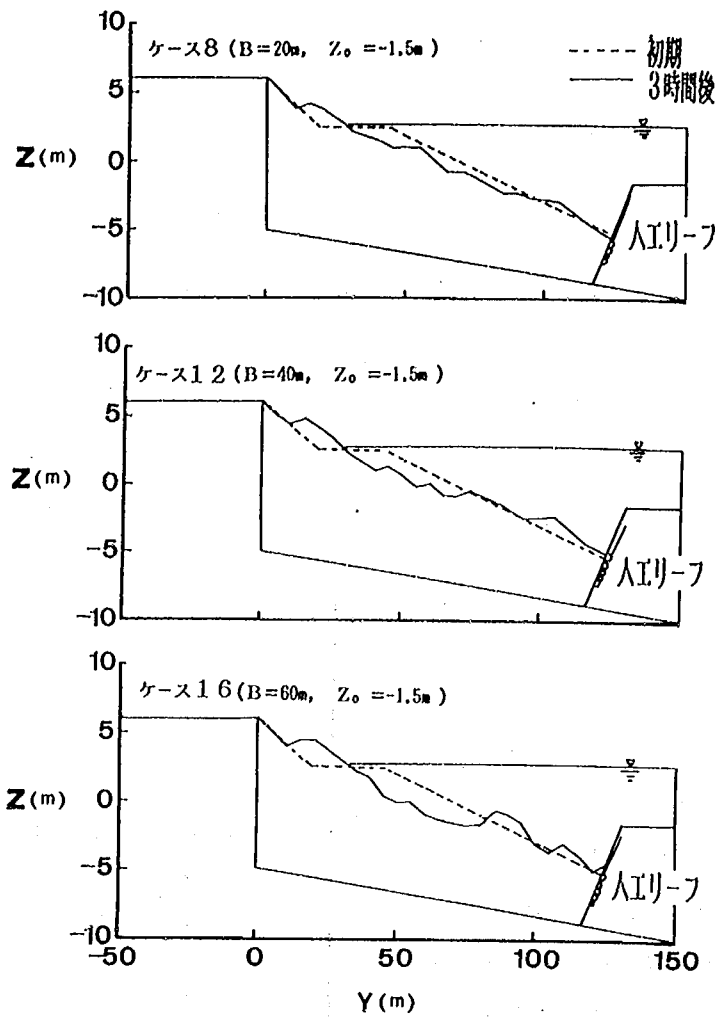


図-3.7 海浜断面形の変化
(天端高-1.0mの人工リーフ)

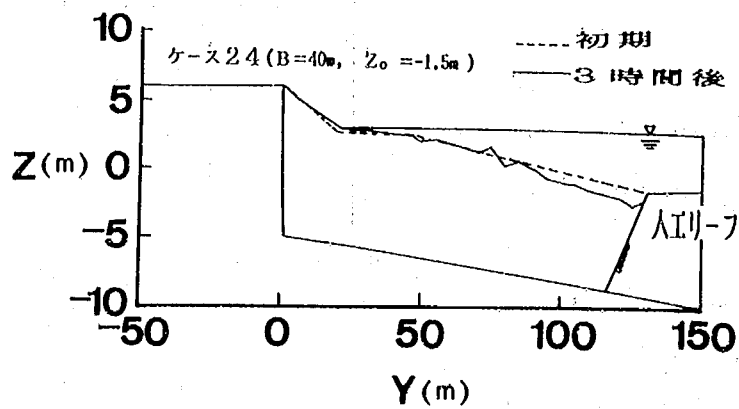


図-3.8 養浜形状を変えたときの海浜断面形の変化
(天端高-1.5mの人工リーフ)

3.5 結 論

本研究によって得られた主要な要点は以下のように要約される。

- ① 2次元水理模型実験によると、東播海岸の計画潮位 (T.P. 2.8 m)、計画波浪 ($H=4.6\text{ m}$, $T=8\text{ s}$) の条件において、波の透過率 K_t を 0.6 以下とするには、人工リーフの天端高が -1 m の場合、天端幅を約 40 m 以上とする必要がある。
- ② 計画波浪、計画潮位条件において、天端高 -1 m の人工リーフの透過率 K_t は天端高 -1.5 m の人工リーフよりも約 10% 低くなった。
- ③ 造波開始 2 時間後に取得された打ち上げ高のデータによれば、海岸護岸への波の打ち上げ高は、人工リーフの天端幅にあまり依存せず、主として波浪条件と潮位条件によって決定され、その最大値は 4.95 m であった。
- ④ 2次元海浜変形実験によれば、マウンド上に養浜のみを行った場合、養浜砂の多くが沖向きに流出してしまった。一方、人工リーフを設置して養浜した場合には、人工リーフの消波効果のために地形変化の生ずる限界水深を浅くすることができた。天端高 -1 m 、天端幅 40 m 以上の場合、沖への顕著な土砂流出は見られなかった。
- ⑤ 人工リーフの天端高を -1.5 m 、天端幅を 40 m として、人工リーフののり肩近くまで養浜した場合、養浜砂の沖への流出が見られた。このことから、養浜時にはリーフののり肩より養浜地盤高をかなり下げて施工した方が養浜砂の安定性向上につながると考えられる。

参 考 文 献

- 海岸保全施設築造基準連絡協議会編 (1987) : 改訂海岸保全施設築造基準解説, 全国海岸協会, p. 269.
- 宇多高明・小俣 篤・横山揚久 (1988) : 人工リーフの機能と設計法, 土木研究所資料, 第 2696 第, p. 79.
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右 (1974) : 波による二次元海浜変形に関する実験的研究, 第 21 回海岸工学講演会論文集, pp. 193 ~ 199.

第4章 波が直角入射する条件での人工リーフ周辺の波、流れ、地形変化に関する実験的検討

4.1 はじめに

養浜工を行う場合、波を消波し、養浜砂の流出を図る方法としては離岸堤が広範に用いられてきた。離岸堤の消波効果は明らかであるものの、その構造上汀線近くに異形コンクリートブロックが設置されるため景観が良好でない欠点がある。近年、同様な消波効果が期待される構造物として人工リーフが開発された。人工リーフに関する最近の研究（例えば、宇多ほか、1988）によれば、人工リーフの消波効果や所要の捨石重量の算定法は明らかになっており、現地海岸での試験施工も進められている。しかし、人工リーフと突堤とを組み合わせ、その間に養浜した場合の養浜砂の安定性に関する研究は十分とは言えない状況にある。宇多ほか（1989）は単体の人工リーフと離岸堤を組み合わせた場合における人工リーフ周辺の波高、流れの分布、地形変化を調べているが、養浜工と養浜土砂の安定性については検討していない。宇多ほか（1988）では開口部を有する人工リーフを多数基設置し、構造物周辺での流れや地形変化を調べており、実験内容は本研究のそれとかなり近い。しかし、東播海岸では2本の突堤間に開口部が一つのリーフが計画されており、開口部を多数持つ人工リーフとは条件が異なっている。さらに東播海岸では波の入射方向が季節的に大きく変化し、また明石海峡の強い潮流の作用を受けるという特殊性を有する。これらの点より本研究では東播海岸の現地海岸断面を想定して水理模型実験によって人工リーフによる養浜砂の流出防止効果について検討することとした。

4.2 実験方法

実験は平面水槽（24 m × 30 m × 1.0 m）を用いて行った。図-4.1に示すように平面水槽の中に不

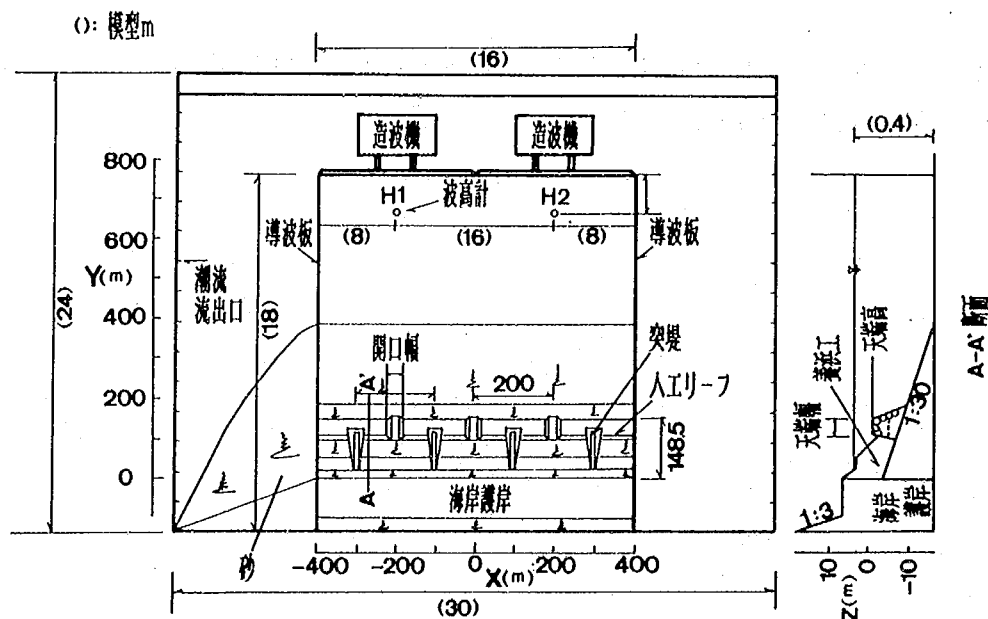


図-4.1 移動床平面実験の実験装置

透過突堤と人工リーフの 1/50 縮尺模型を設置し、波を 6 時間作用させた。突堤の天端高は、海岸護岸より 70 m の間が 2.5 m、その先 80 m より 121 m までの間は 1.5 m とした。70 m ~ 80 m の間は 1/10 勾配ですりつけた。図-4.1 に示す平面水槽の側壁には潮流の流出口が 1.5 m 間隔で 14 箇所取り付けられており潮流も作用できるようになっている。そこで一様流速の潮流を作用させた実験も行った。この場合、図-4.1 に示すように潮流の流出口と模型の間は砂を敷き詰めて緩やかな傾斜の斜面を作り、縮流した。

実験は潮流を作用させた実験と、波のみを作用させた実験（5 ケース）から成る。波を作用させた 5 ケースの実験では、人工リーフの開口幅と開口部の天端高を種々変えた（図-4.2、表-4.1 参照）。図-4.2 に示すように、ケース②、③の開口部天端高は周辺地盤より 0.4 m 高く、ケース④、⑤のそれらは 1.1 m 低い条件である。

また、実験値を整理する際には現地スケールで表記することとし、天端高等の基準面は東京湾中等潮位（T.P. 0 m）にとった。また、開口部以外の人工リーフの天端高はいずれも -1.0 m とし、波作用時の潮位は 2.8 m、入射波浪条件はいずれも $H'_0 = 4.8$ m、 $T = 8$ s とした。

測定項目は海浜形状、波高・平均水位分布、波峰線分布、海浜流の流況である。海浜形状は実験開始前と造波開始後 6 時間に測定した。その他の項目の測定は 6 時間後の地形測定が終了してから直ちに実施した。したがってこれらはほぼ 6 時間後のデータと見なすことができる。波峰線分布は平面水槽上方約 6 m の高さより撮影した写真により、また海浜流の流況はフロートの移動を写真で追跡して求めた。

実験に際しては相似則の検討が必要とされる。しかし、周知のように標砂に関する実験では相似則

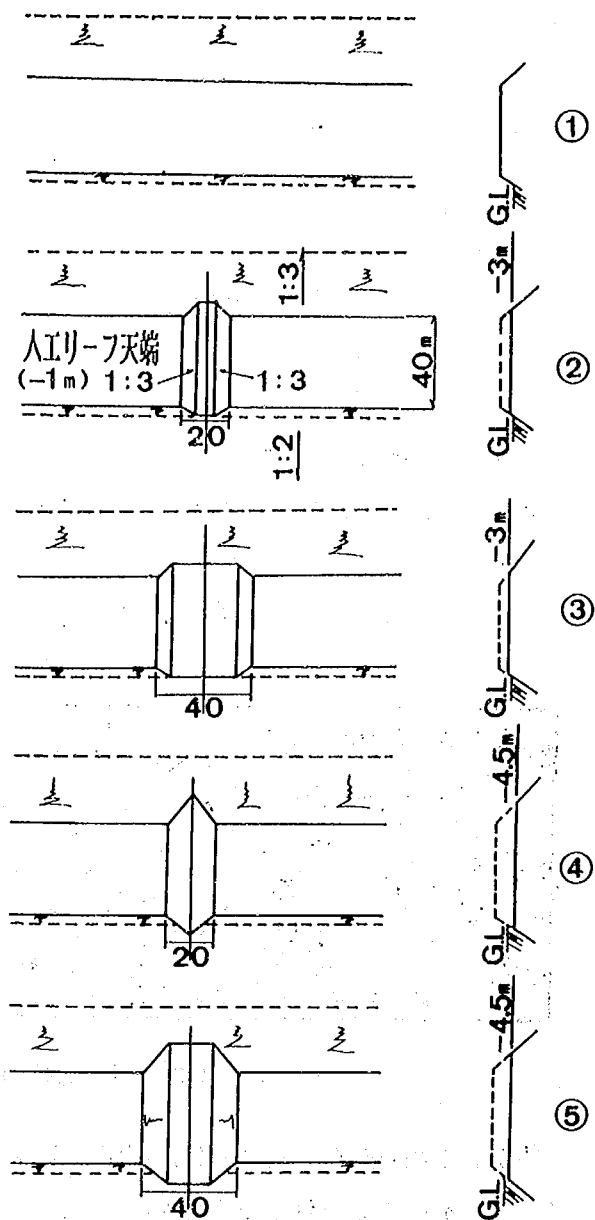


図-4.2 人工リーフの開口部平面形および断面形状

表-4.1 各ケースの人工リーフ諸元

ケース	開口部	開口幅 (m)	開口部の天端高 (m)
①	なし	—	—
②	有	20	- 3.0
③	有	40	- 3.0
④	有	20	- 4.5
⑤	有	40	- 4.5

4.3 潮流作用時の流況特性

図-4.3 明石海峡の西流、東流最強時の潮流の流況

構造物を設置しない場合には、海岸護岸(x 軸)にほぼ平行で、かつ岸沖方向に一様な流れが生ずる(図-4.4)。この条件下で突堤を設置し、その間で養浜を行うと、突堤間の中央で(0.3~0.4) m/s の流速を持つ時計周りの循環流が生じ、流速の低減域がかなり広く形成された(図-4.5)。しかし循環流の沖では逆に流れは加速された。さらに、人工リーフを突堤の沖合に設置すると(図-4.6)、突堤間の循環流は消失し、人工リーフの岸側では流れが停滞する状況を示した。

以上のように、突堤と人工リーフを設置することにより、流速低減域を広げ、高流速域を冲合へと移動させることが十分可能なことが明らかとなった。

写真-4.1, 4.2に実験状況を示す。写真-4.1は人工リーフ無の条件で潮流を流した場合の実験状況を、また、写真-4.2は人工リーフ有の条件で、水位を下げたときの人工リーフの設置状況を示している。

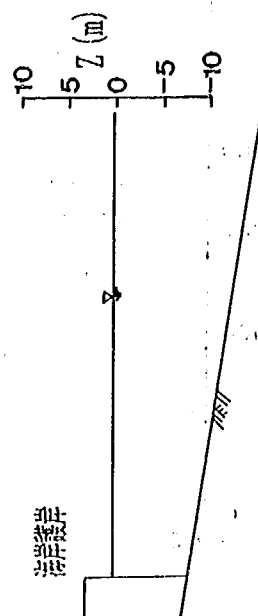
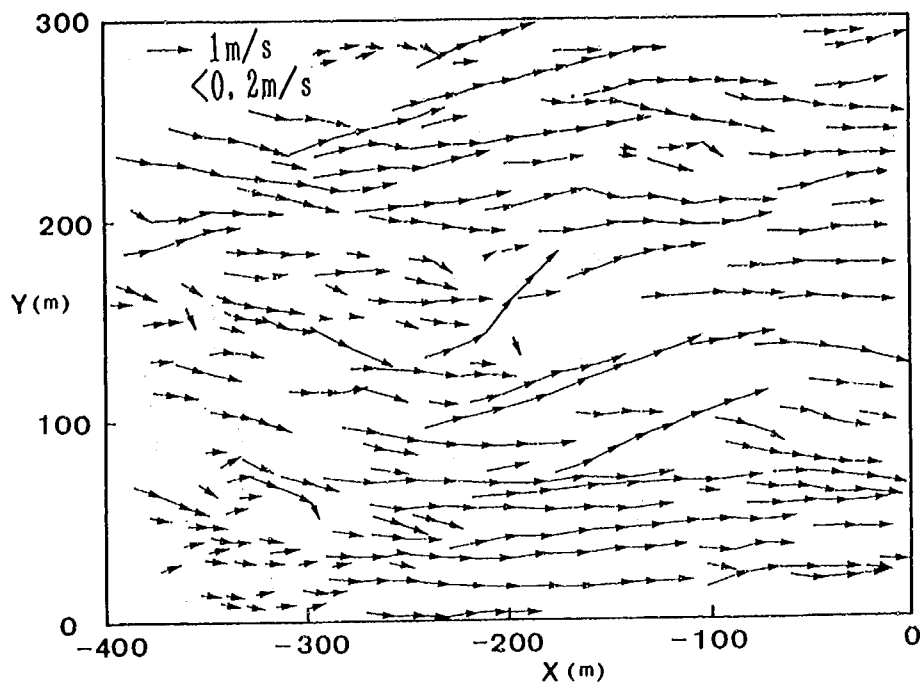


図-4.4 潮流の流況（構造物なし）

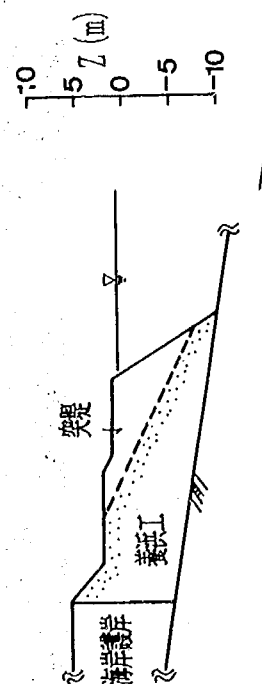
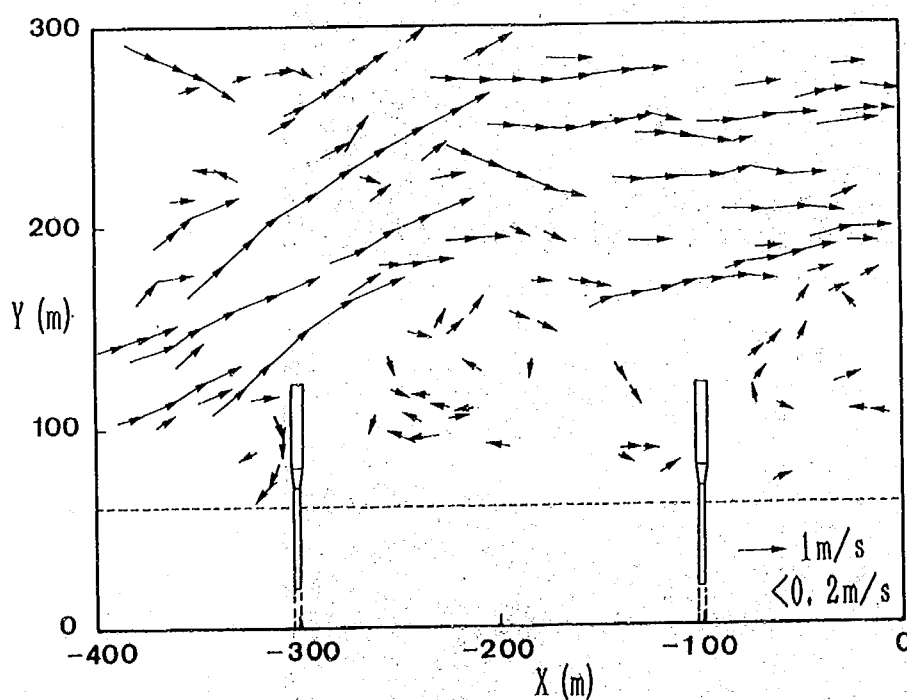


図-4.5 突堤（ $l = 121$ m）を配置した場合の潮流の流況

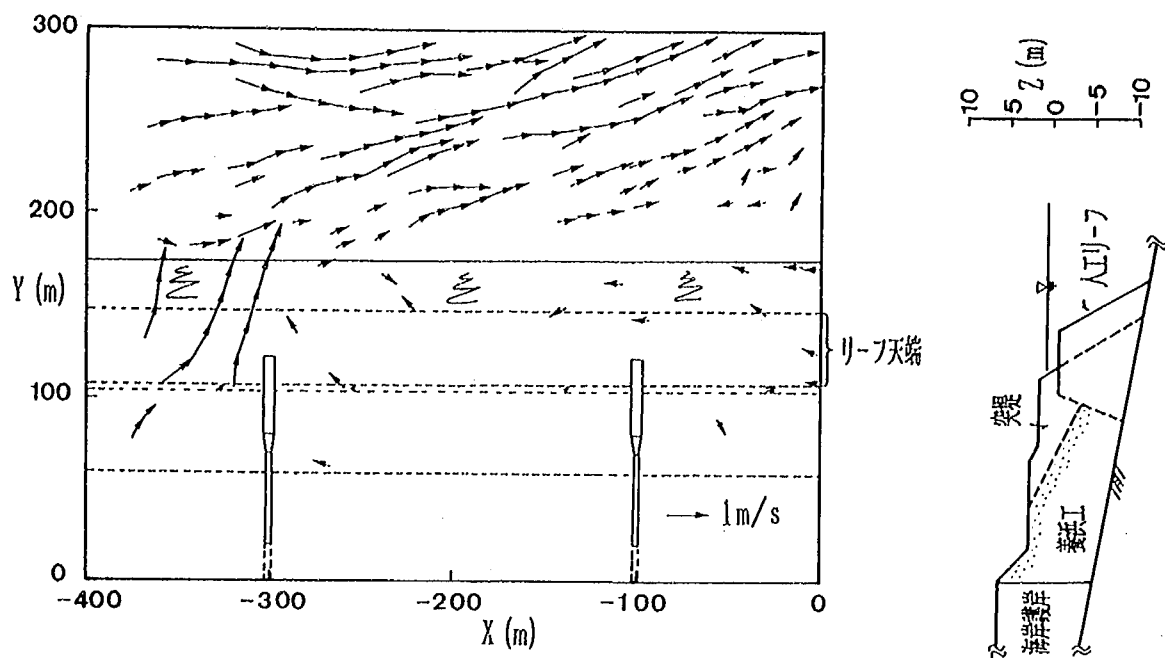


図-4.6 人工リーフと突堤を配置した場合の潮流の流況



写真-4.1 実験状況写真（人工リーフ無）

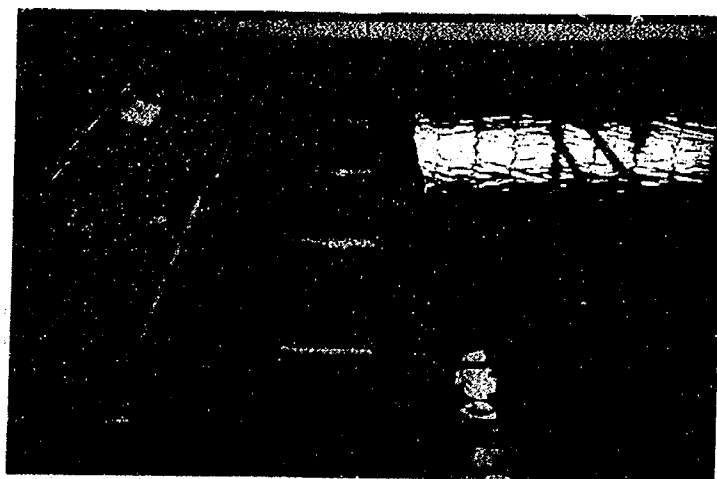


写真-4.2 実験状況写真（人工リーフ有）

4.4 波作用時の海浜変形特性

(1) 直線状人工リーフ（ケース①）

直線状人工リーフの設置状況を図-4.7に示す。人工リーフの天端高は-1.0mであり、初期海浜形状は沿岸方向に一様である。また、図-4.7の $x = \pm 100$ mには不透過の突堤が設置されている。図-4.8には造波開始6時間後の波峰線の分布を座標系とともに示した。2本の突堤の間に設置された人工リーフに対し、波はほぼ直角入射したが、リーフを越えるとリーフの中央部が両端部よりやや突出しつつ汀線へ入射している。養浜区間を代表する3断面（ $x = 0$ m, $x = \pm 75$ m断面）を選び、これらの測線に沿う波高と平均水位の分布を図-4.9に示す。リーフ上での強制碎波によって波高は

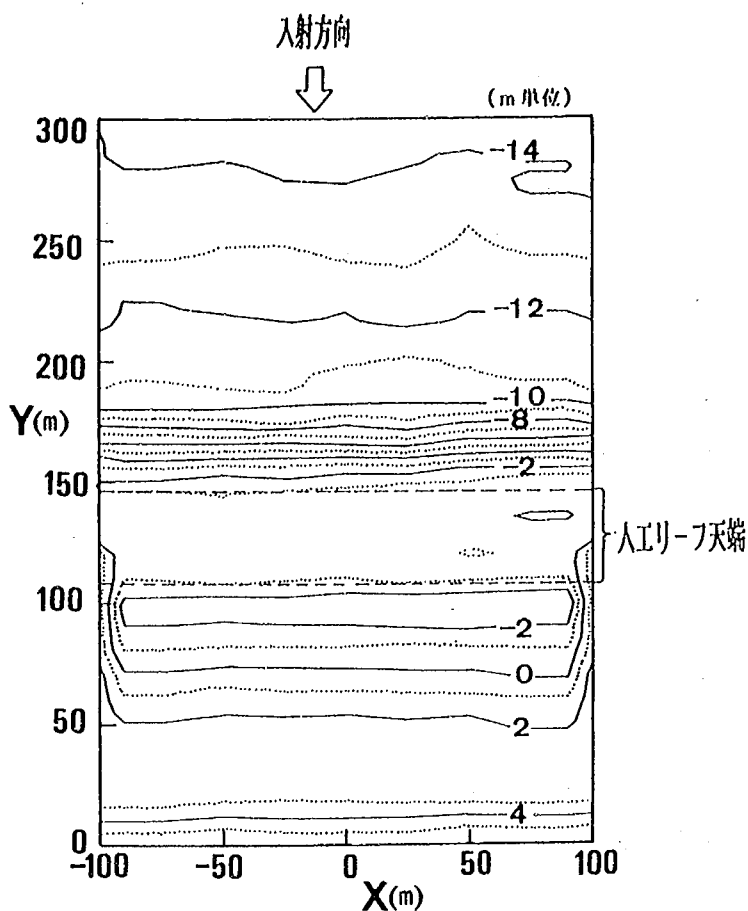


図-4.7 深浅図（直線状人工リーフ；ケース①，初期地形）

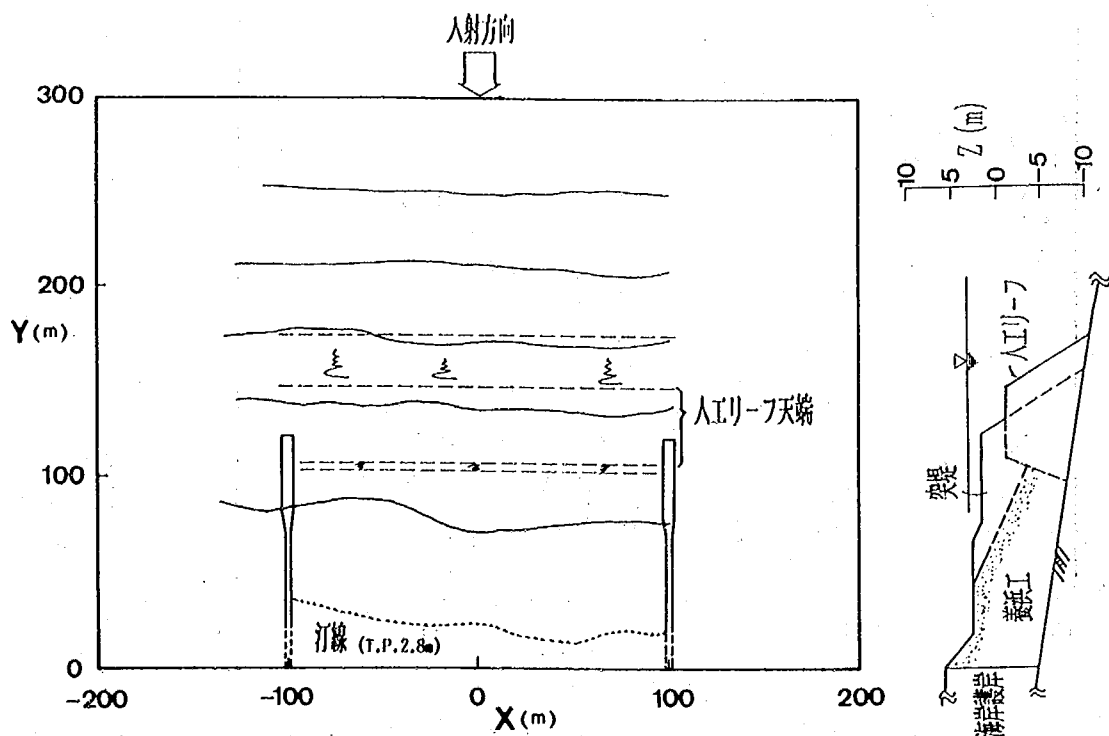


図-4.8 波峰線形（直線状人工リーフ；ケース①，造波開始6時間後）

急激に減衰するが、リーフより岸側での波高変化は小さい。平均水位の変化はこれらの変化と逆であり、リーフ上での波高低下と同時に水位が大きく上昇している。リーフ形状が沿岸方向に一樣なために3測線の波高・平均水位の岸沖分布はほぼ同一である。

図-4.8, 4.9に示した波峰線, 波高・平均水位の分布に対応した海浜流の流況をまとめると図-4.10となる。人工リーフ上では岸向き流れが目立っており、突堤近傍ではこの流れを補償するやや沖向きの流れが見られる。人工リーフ上での岸向き流れは人工リーフの中央部が最も強く、岸向き流れは汀線付近にまで到達し、その後突堤に沿う沖向き流れへと変化する。全体的には右側の突堤に沿っ

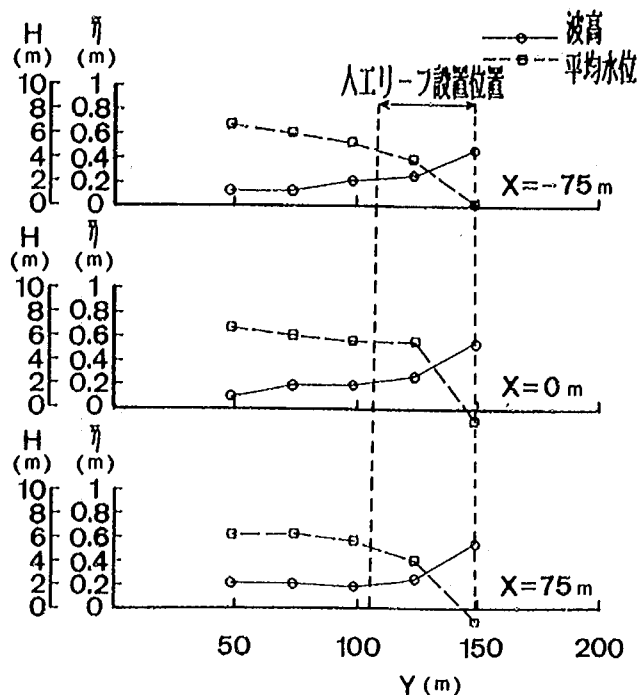


図-4.9 波高と平均水位の岸沖分布 (直線状人工リーフ: ケース①, 造波開始6時間後)

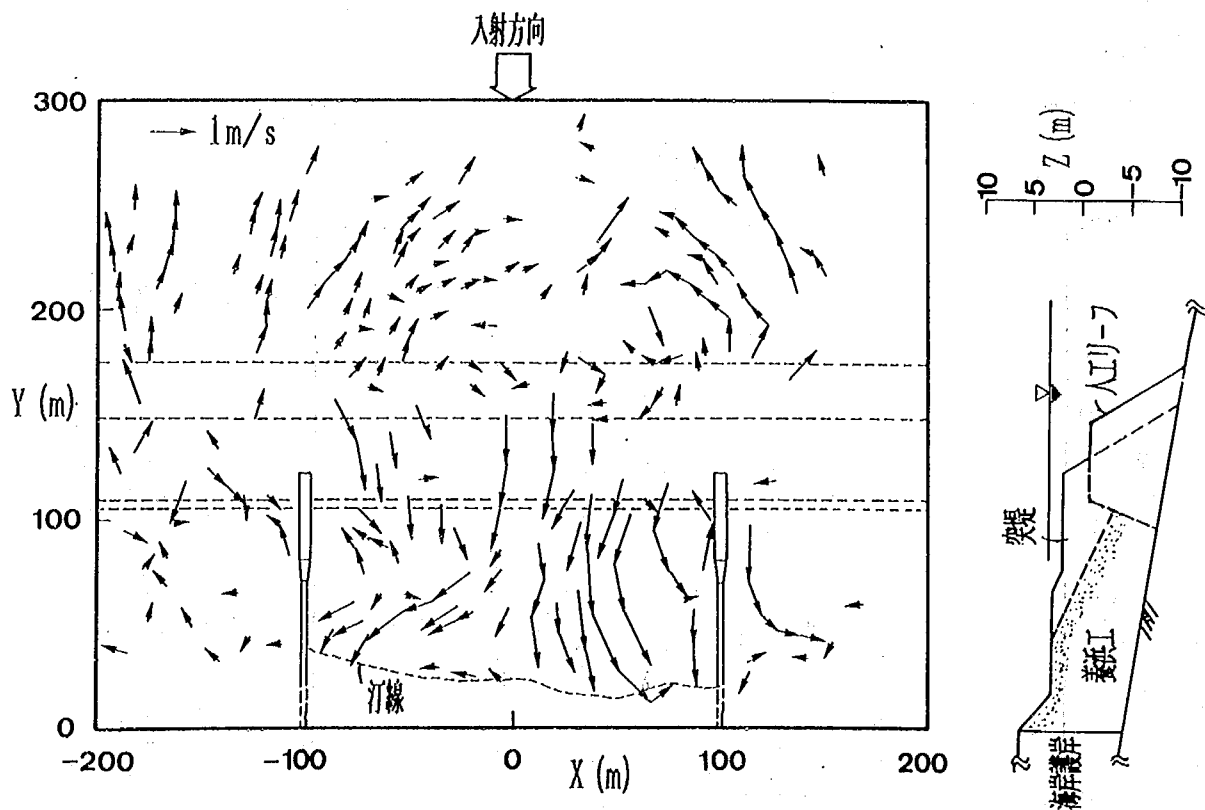


図-4.10 海浜流の流況 (直線状人工リーフ: ケース①, 造波開始6時間後)

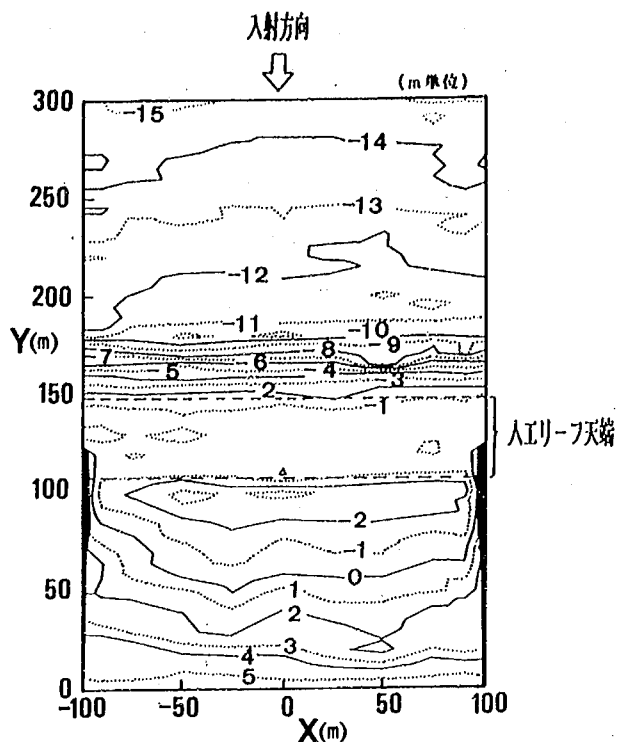


図-4.11 深浅図（直線状人工リーフ：ケース①，造波開始6時間後）

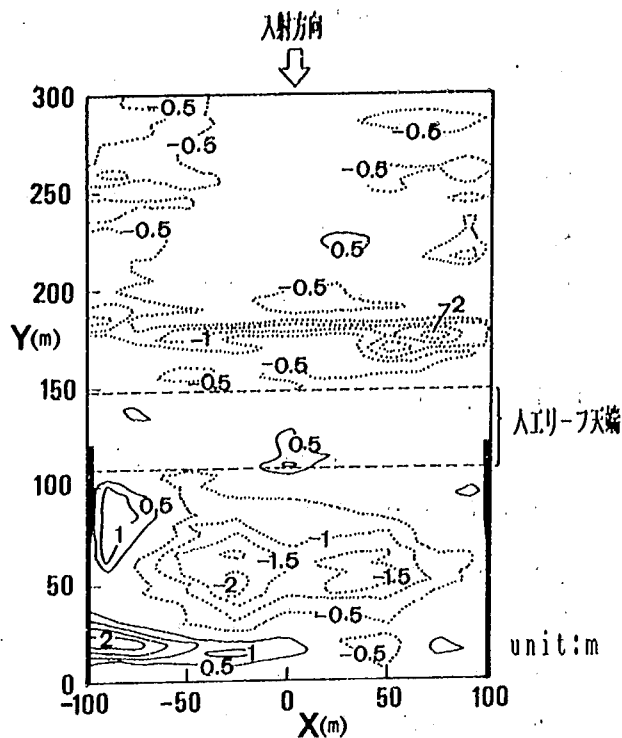


図-4.12 地形変化量の平面分布（直線状人工リーフ：ケース①）

ては反時計回りの、また左岸の突堤に沿っては時計回りの循環流が形成された。岸向き流れが顕著な人工リーフの中央部では波峰線の岸向きの突出も見られている（図-4.8参照）。

このような海浜流が生じたために、海浜形状にも特徴ある変化が生じた。波作用6時間後の深浅図を図-4.11に、また図-4.7に示した初期海浜形状からの地形変化量の平面分布を図-4.12に示す。図-4.11および図-4.12によれば、人工リーフの岸側中央部では全体に侵食が進み、侵食された土砂は汀線付近と右側の突堤に沿った区域に堆積したことが分かる。また、侵食域を詳細に調べると、 $x = \pm 30$ m 付近に著しい侵食箇所があり、中央では侵食量がやや小さくなっている。以上に述べた地形変化が生じた原因は、図-4.8の波峰線形、図-4.9の波高分布、図-4.10の流況図より次のように考察される。すなわち、波高減衰に伴って生じた強い岸向き流れが中央部で発達し、逆に突堤近傍では減速しており、また波高は岸方向に急激に減衰する。このため人工リーフの岸側の中央部では波と流れの作用により底面が掘られ、突堤側面では堆積したと考えられる。

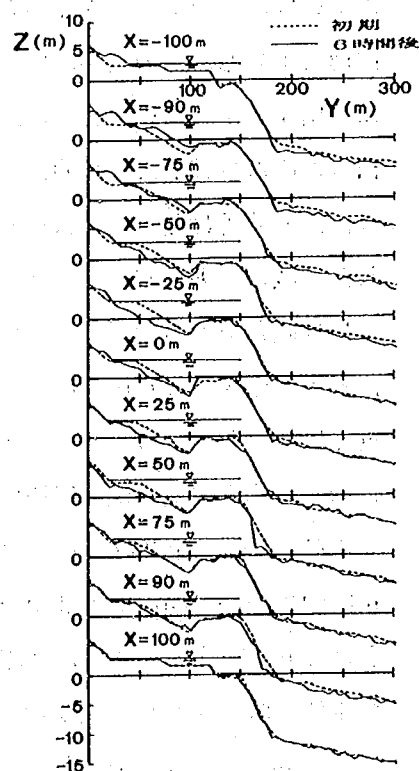


図-4.13 海浜断面形状の変化（直線状人工リーフ：ケース①）

図-4.13には初期と6時間後の海浜断面形の変化を示した。養浜区間の中央に位置する $x = 0$ m 断面では、汀線付近の一部を除き全体的に侵食された。一方、 $x = -90$ m 断面では大量の土砂が堆積している。このことから中央部で侵食された土砂が突堤付傍の区域へ運ばれ、堆積したことが分かる。図-4.13には人工リーフの沖側の海浜断面形も示されているが、それによると $x = -90$ m 断面では、リーフの沖側のかなり広い区域で侵食が進んでいる。この原因としては、図-4.10に示したように、この付近で発達する沖向きが流れによって人工リーフの沖合の洗掘が進んだことが考えられる。

(2) 開口幅20m、開口部天端高-3mの人工リーフ（ケース②）

ケース②では、開口幅20mの人工リーフを設置して構造物周辺の波、流れ、地形変化を調べた。図-4.14には初期海浜形状と人工リーフの平面形状を示す。開口部を除く人工リーフの形状と海浜形状はケース①の場合と同一である。また、開口部の天端高は-3.0 mである。造波開始後6時間の波峰線分布（図-4.15）によれば、開口部では水深が大きいから、波速も上昇し、この結果波峰線は岸向きに突出するように思われるが、 $Y = 130$ m 付近の波峰線形に典型的に見られるように、波峰線は開口部では沖方向に突出した。波の入射方向は人工リーフの法線とほぼ直角であるが、リーフを通過した段階では中央より左側の波峰線の方が岸近くに位置している。次に、代表3測線に沿う波高と平均水位の岸沖分布を図-4.16に示す。開口幅が狭いために $x = 0$ m 断面の波高分布は他の2測線の分布形

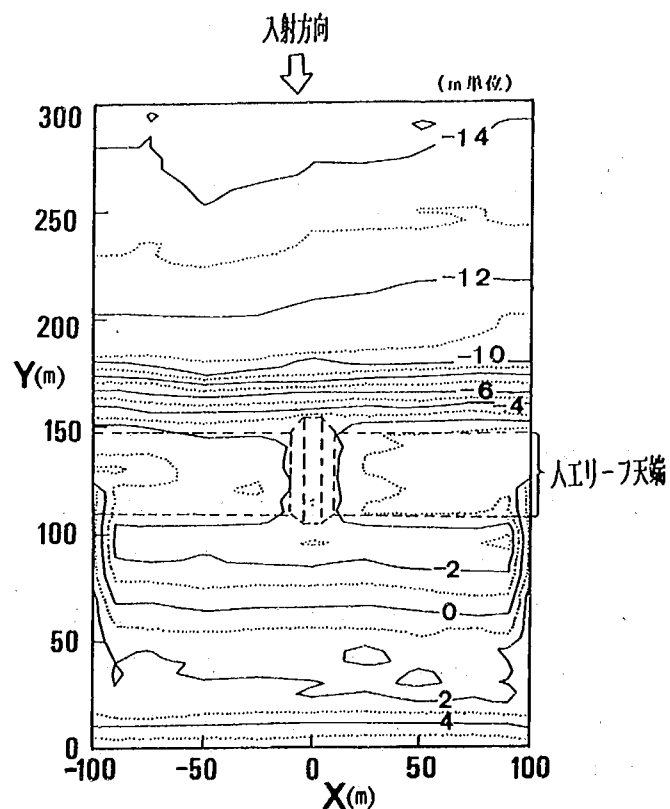


図-4.14 深浅図（開口幅20m、開口部天端高-3.0m：ケース②，初期地形）

とはほぼ同一である。また、3測線の平均水位の岸沖分布もほぼ同一である。しかし、ケース①の平均水位（図-4.9）と比較すると、開口部があるために全体に絶対値が小さくなった。図-4.17には海浜流の流況を示した。ケース①の流況図（図-4.10）と比較しても、それほど大きな差は見られず、ほぼ同様な流況となった。ただし、ケース①の場合、汀線付近において左向きの沿岸流の発達が著しかったが、ケース②の流況では右向きの沿岸流の発達が著しい。この差異の原因は、波峰線の平面分布の違いに求められる。ケース①とケース②を比較すると（図-4.8，4.15参照），

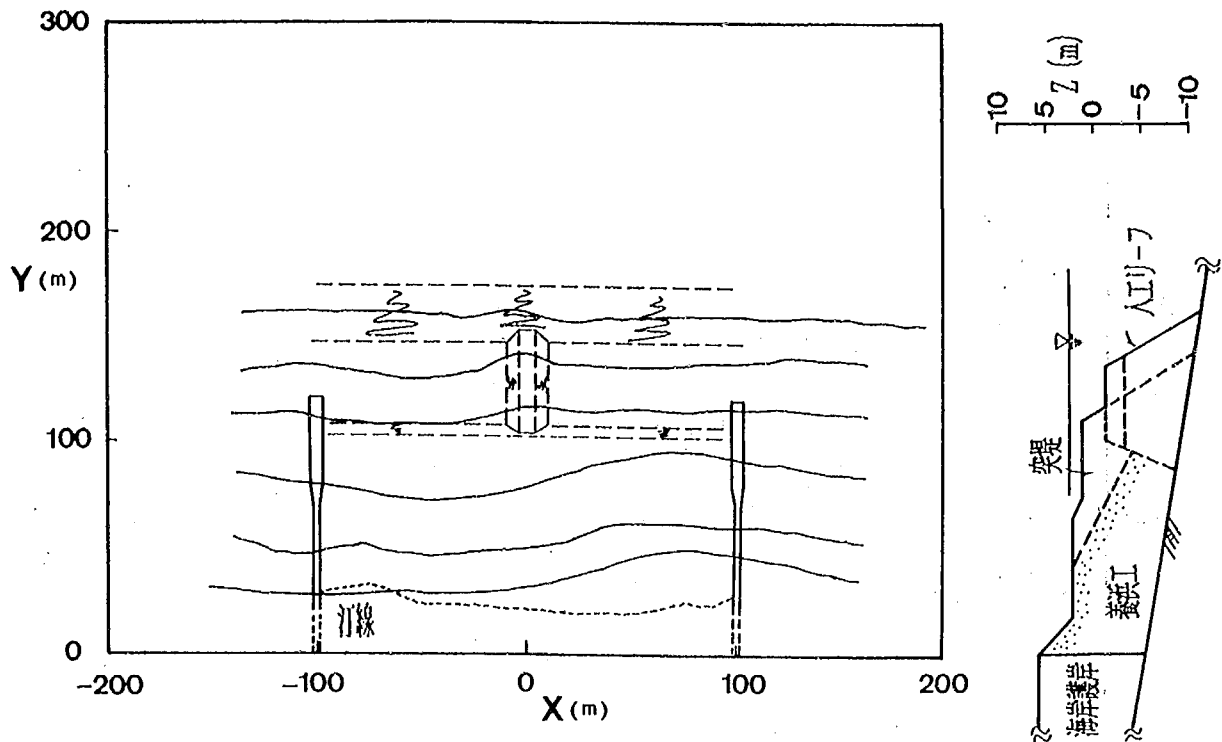


図-4.15 波峰線形（開口幅 20 m，開口部天端高 -3.0 m：
ケース②，造波開始 6 時間後）

人工リーフの岸側の区域において前者は時計回りの方向からの入射が極立っているのに対し、後者では逆になっている。これらのために強い沿岸流の発達方向が逆になったと考えられる。

波を作用し始めてから 6 時間後の深浅図を図-4.18 に、また図-4.14 に示した初期形状からの地形変化量の平面分布を図-4.19 に示す。図-4.18 はケース①の造波後 6 時間における深浅図（図-4.11）と良く似た状況を示す。また、地形変化の特徴としては、突堤間の中央部で侵食が進み、汀線付近と両側の突堤沿いで堆積が生じたことが指摘される。ケース①では著しい侵食箇所が 2 つあったが、ケース②では 1 つになったことが相

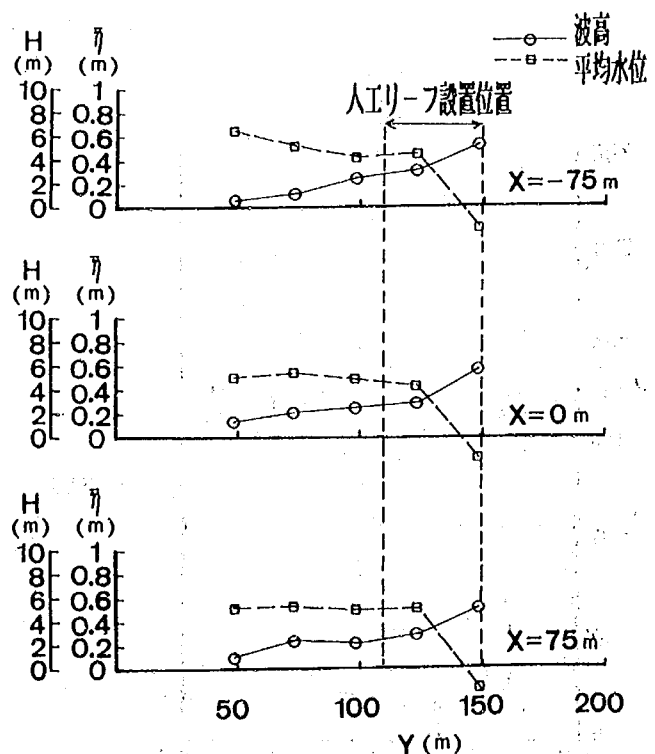


図-4.16 波高と平均水位の岸沖分布（開口幅 20 m，開口部天端高 -3.0 m：
ケース②，造波開始 6 時間後）

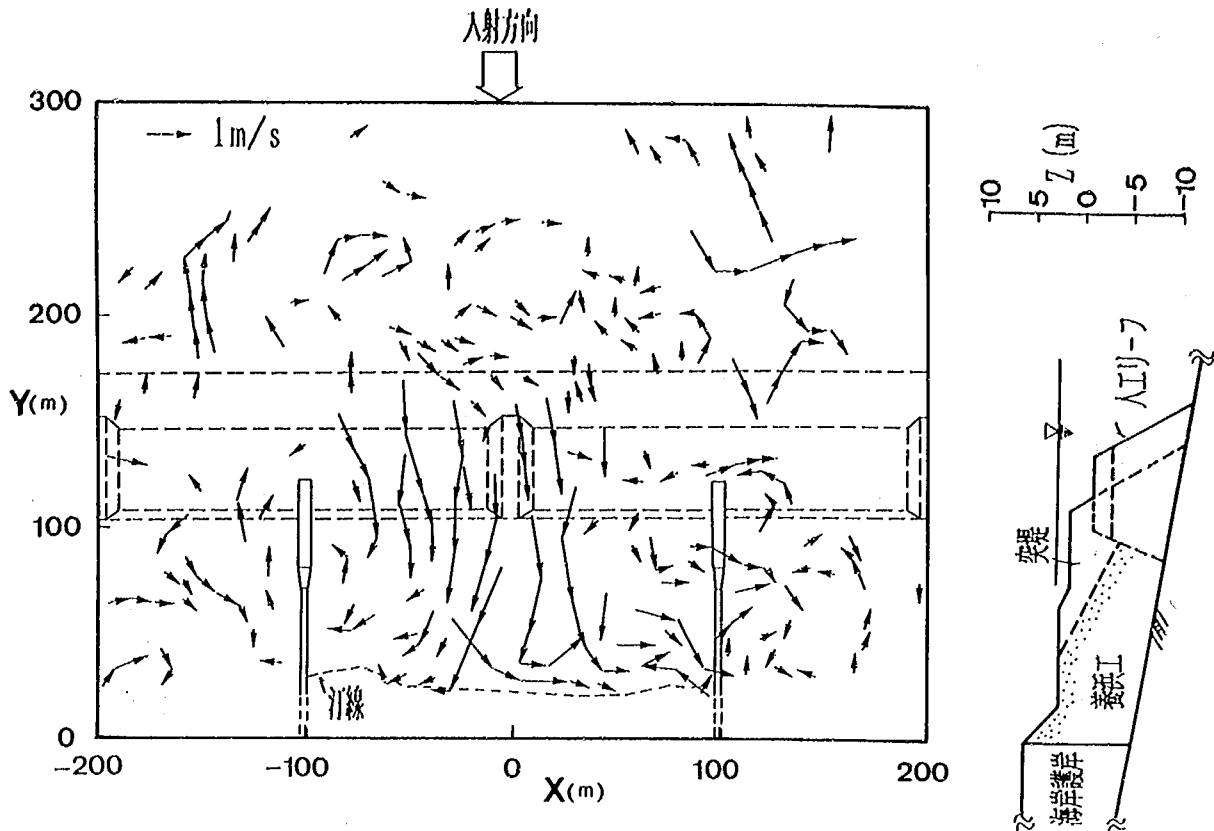


図-4.17 海浜流の流況（開口幅 20 m，開口部天端高
- 3.0 m：ケース②，造波開始 6 時間後）

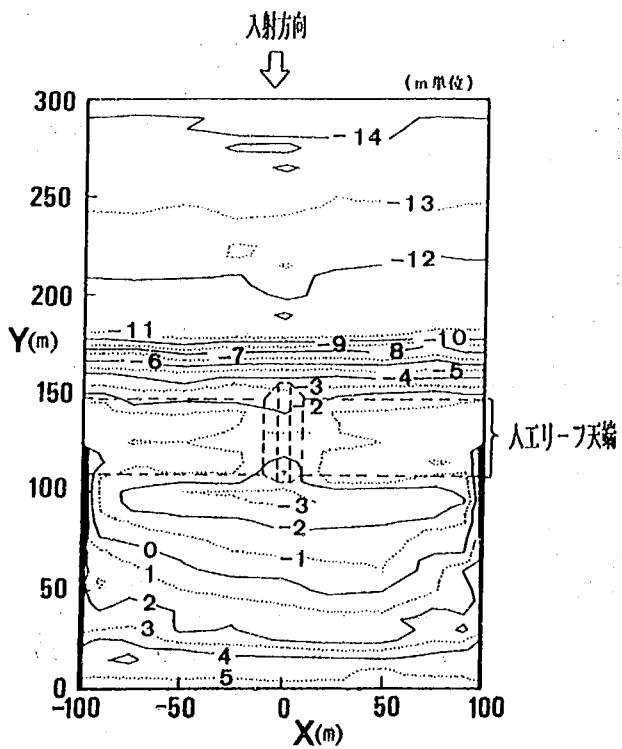


図-4.18 深浅図（開口幅 20 m，開口
部天端高 - 3.0 m：ケース②，
造波開始 6 時間後）

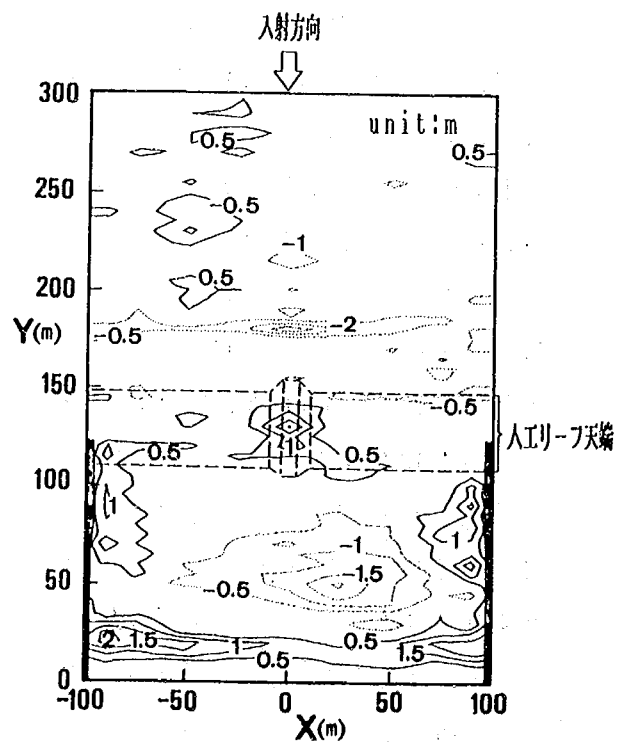


図-4.19 地形変化量の平面分布（開
口幅 20 m，開口部天端高
- 3.0 m：ケース②）

違点といえる。結局、ケース①と比較してケース②では開口部を設けたものの、開口幅が狭かったためにその影響は顕著ではなく、したがって直線状人工リーフの場合とほぼ同様な地形変化状況になった。図-4.20に示した海浜断面形の変化も上記の結論を裏付けている。なお、ケース②では人工リーフの沖合での流れがケース①と比較して弱かったためか、人工リーフ沖での洗掘はほとんど見られなかった。

(3) 開口幅 40 m、開口部天端高 - 3 m の人工リーフ
(ケース③)

ケース③では開口幅 40 m の人工リーフを設置し、構造物周辺の波、流れ、地形変化を調べた。図-4.21には初期海浜形状と人工リーフの平面形を示す。開口部を除く人工リーフと海浜の形状はケース①、②と同一である。また、開口部の天端高はケース②と同じで

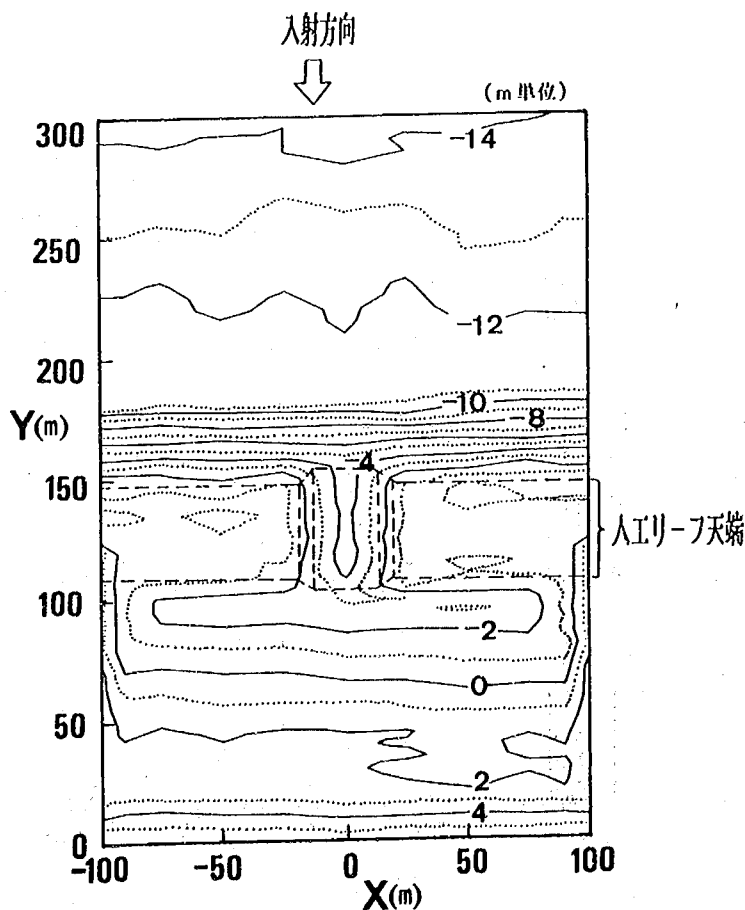


図-4.21 深浅図 (開口幅 40 m、開口部天端高 - 3.0 m : ケース③, 初期地形)

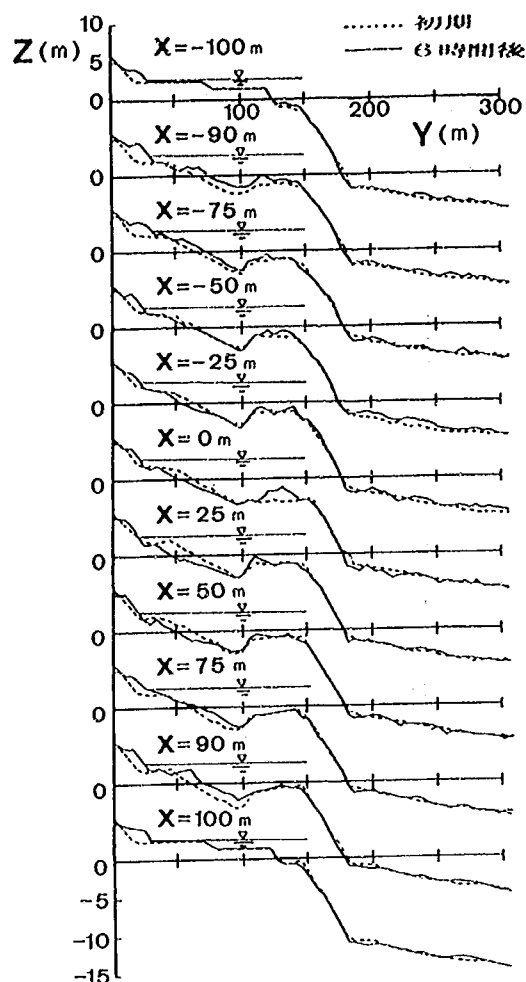


図-4.20 海浜断面形状の変化
(開口幅 20 m、開口部天端高 - 3.0 m : ケース②)

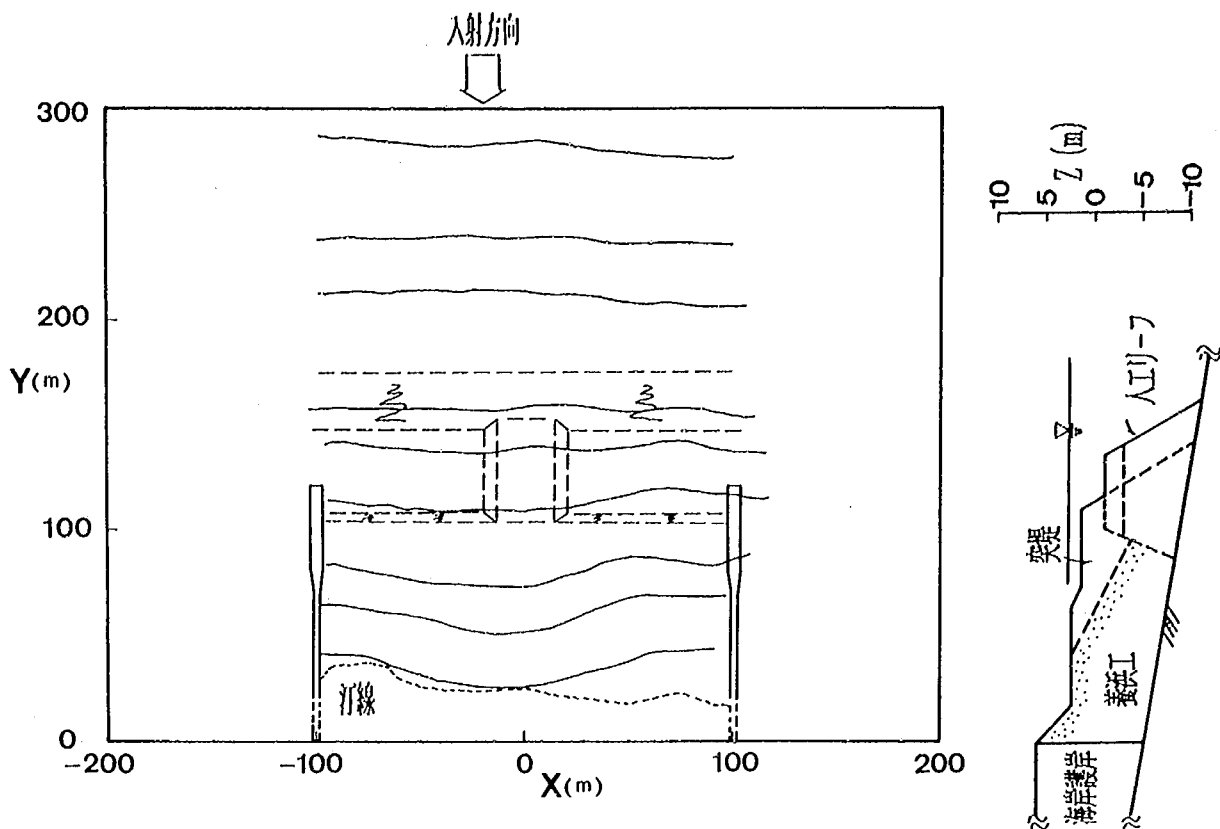


図-4.22 波峰線形（開口幅 40 m，開口部天端高 - 3.0 m：
ケース③，造波開始 6 時間後）

あるから，ケース②，③の比較により開口幅のみを変えた効果を調べることが可能となる。造波開始 6 時間後の波峰線形を図-4.22 に示す。リーフの開口部の沖側半分での波峰線形は，リーフ上より沖向きにやや突出しているが，リーフの通過後は中央部での波峰線形は逆に岸方向へ突出するようになる。この理由は，後に図-4.24 に示すように，リーフの沖側半分では沖向き流れが，逆に岸側半分では岸向き流れが卓越し，開口部中央を境にして流向が逆転するためである。対応する波高と平均水位の岸沖分布は図-4.23 に示すようである。両側の測線での波高・平均水位の分布と比較して中央の測線（ $x = 0$ m）では開口部があるために波高減衰と平均水位の上昇割合が緩や

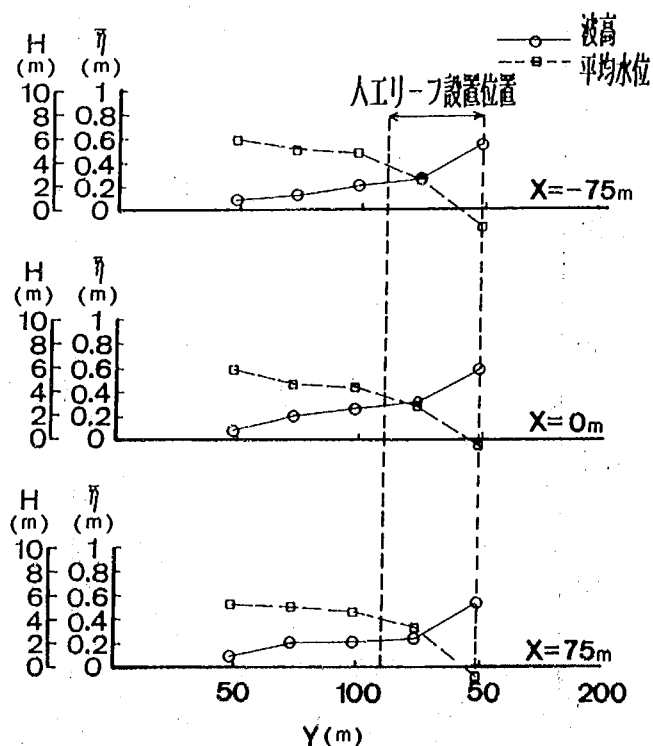


図-4.23 波高と平均水位の岸沖分布（開口幅 40 m，開口部天端高 - 3.0 m：ケース③，造波開始 6 時間後）

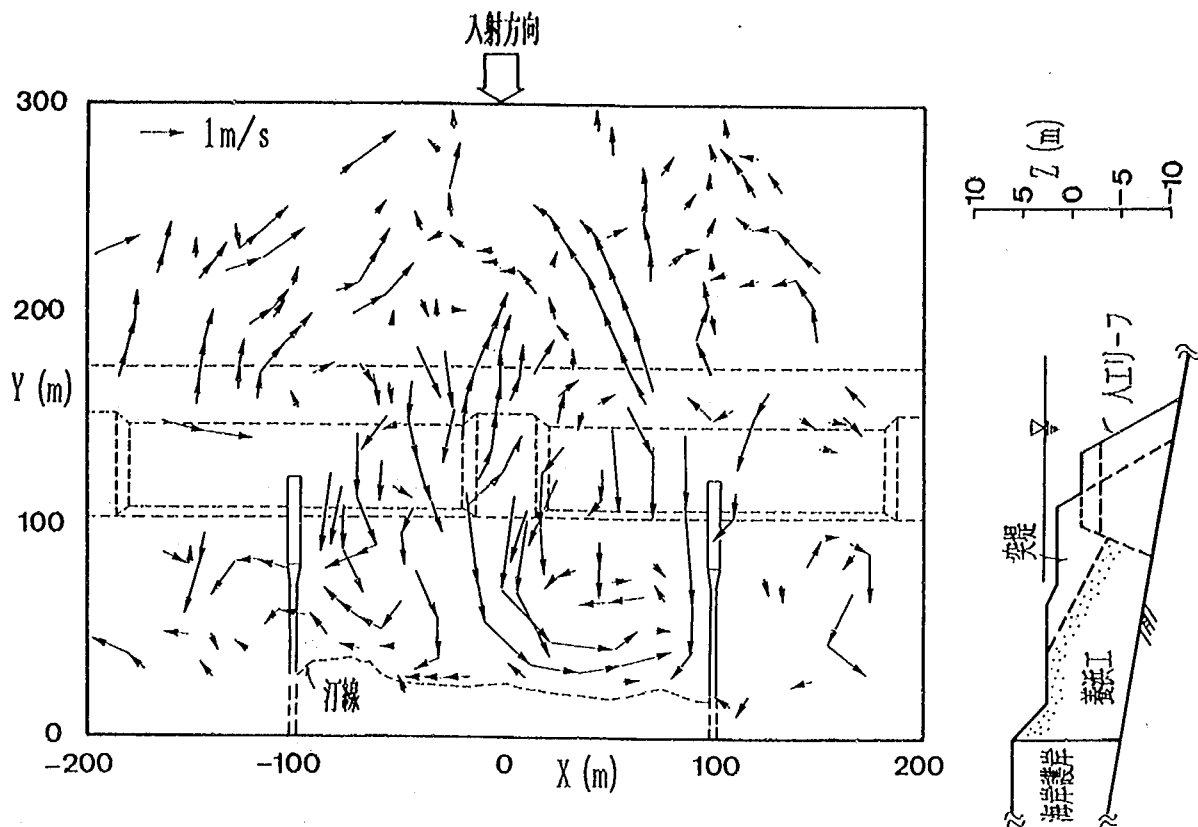


図-4.24 海浜流の流況（開口幅 40 m，開口部天端高
- 3.0 m：ケース③，造波開始 6 時間後）

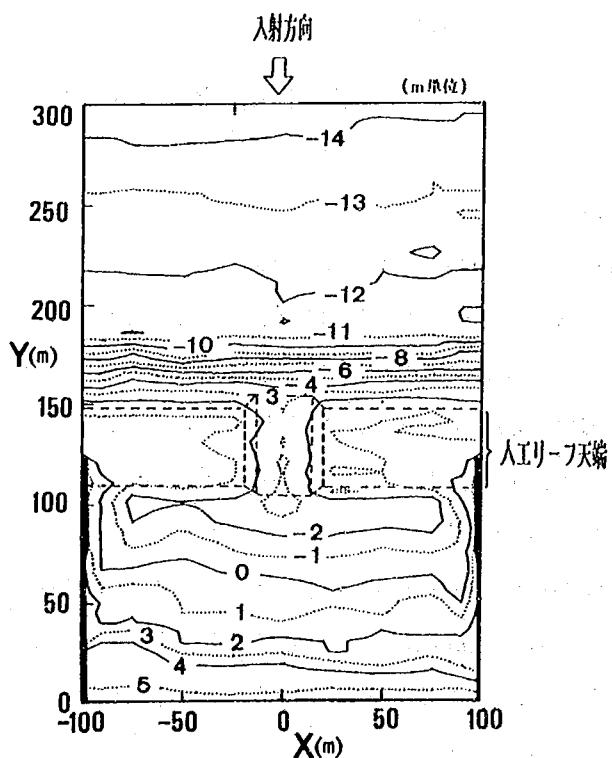


図-4.25 深浅図（開口幅 40 m，開
口部天端高 - 3.0 m：ケー
ス③，造波開始 6 時間後）

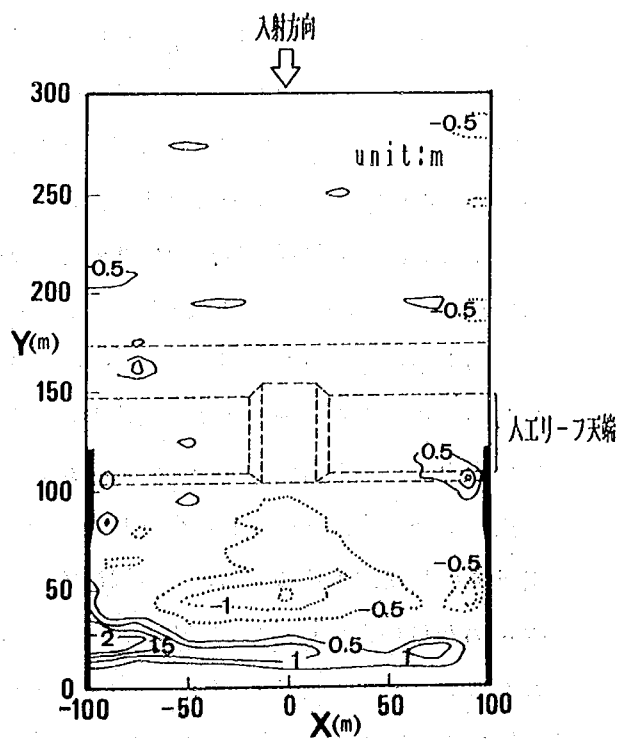


図-4.26 地形変化量の平面分布（開
口幅 40 m，開口部天端高
- 3.0 m：ケース③）

かである。また、ケース①、②の平均水位分布（図－4.9、4.16）と比較すると開口部が広がったために、平均水位の上昇量がさらに小さくなった。このように開口部の拡大は平均水位の上昇量を低下させる上でも有効である。

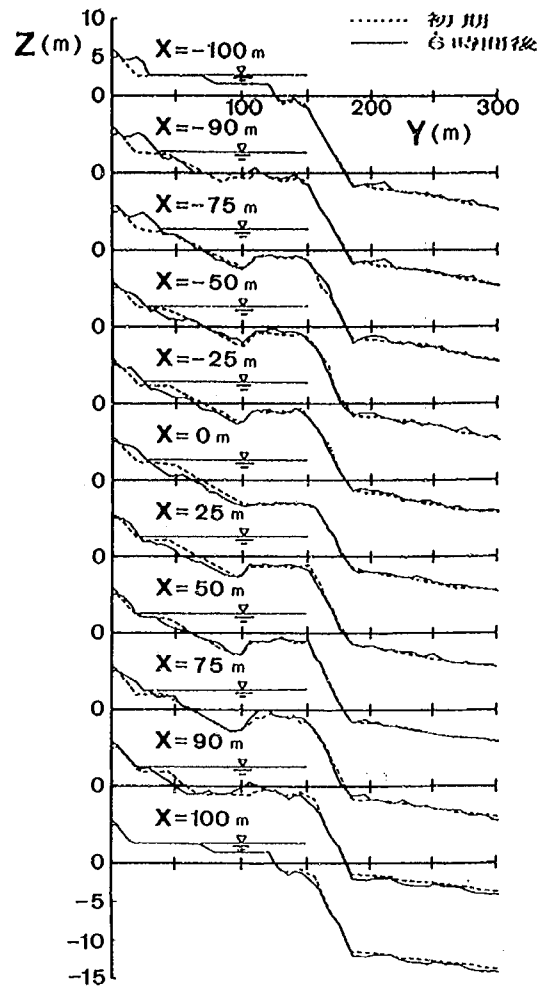
開口幅を40mと広げたことによって海浜流の流況にも大きな変化が生じた（図－4.24参照）。開口部上、中央より沖側半分では沖向き流れが、また、岸側半分では岸向き流れが生じた。直線上リーフの流況（図－4.10）や開口幅が20mと狭いリーフの流況（図－4.17）ではいずれもリーフの中央部では岸向きの流れであったから、これらは顕著な差違といえる。中央部での岸向き流れが弱くなったのに対し、図－4.24によると突堤周辺での岸向き流れが明らかに強くなった。

波作用後6時間の海浜形状を図－4.25に、また図－4.21に示した初期形状からの地形変化量の平面分布を図－4.26に示す。開口幅の狭い人工リーフ（ケース②）の海浜形状（図－4.18）と比較すると、ケース②では等深線が中央で最も凹形状となっていたが、ケース③では中央部も凹形状を示すものの、突堤近傍での等深線の鋭角状の後退が著しい。

ケース②ではこの付近の等深線は沖向きに突出していたから、その差違は極立っている。地形変化量の平面分布（図－4.26）に関しても相違が著しい。ケース②では汀線付近と突堤の隣接区域で土砂の堆積が見られた（図－4.19参照）が、ケース③では突堤沿いでの堆積区域はほとんど見られない。このような地形変化の相違が生じた主因は、海浜流の流況の相違があげられる。ケース②では中央より両端方向へと向いた流れが発達したのに対し、ケース③では中央部のみならず、突堤に沿って強い岸向きの流れが発達したため、その部分で堆積が生じにくくなったと考えられる。養浜砂の移動状況を比較すると、突堤に沿って土砂が沖向きに流出する可能性はケース②よりケース③の方が低いと言えよう。このことから、養浜砂が養浜区間内に止まる条件としては、20mの開口幅を有するケース②より40mの開口幅を有するケース③の方が優れていることが分かった。

(4) 開口幅20m、開口部天端高－4.5mの人工リーフ（ケース④）

開口幅20mで、開口部天端高が－3.0mの人工リーフ（ケース②）周辺の波、流れ、地形変化については(2)で述べた。ここでは開口幅はケース②と同様であるが、開口部の天端高を－4.5mとケ



図－4.27 海浜断面形状の変化（開口幅40m、開口部天端高－3.0：ケース③）

ース②よりも 1.5 m 下げた場合の実験結果について述べる。最初に、人工リーフの形状と初期海岸形状を図-4.28 に示す。また、図-4.29 には造波開始 6 時間後の波峰線形を示した。リーフの開口部中央より沖側においては、波峰線が沖方向に突出し、開口部中央より岸側およびリーフの岸側では波峰線が岸向きに大きく突出した。ケース②の場合(図-4.15)にも同様な特徴が見られたが、図-4.29 ではその特徴が著しくなった。この波峰線分布に対応する波高と平均水位の分布が図-4.30 である。代表的に選ばれた沖方向の 3 測線に沿う波高と平均水位の分布を示すが、開口幅は狭いものの、その天端上水深が大きくなったために、中央の測線のリーフ岸側の波高がやや上昇し、平均水位の上昇割合が他の 2 測線と比較して緩やかになった。ケー

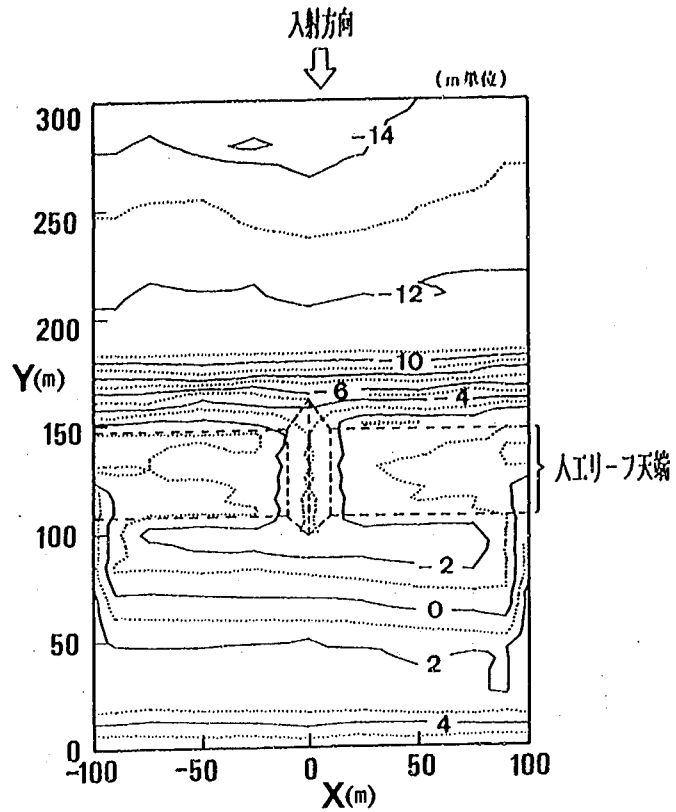


図-4.28 深浅図(開口幅 20 m, 開口部天端高 - 4.5 m: ケース④, 初期地形)

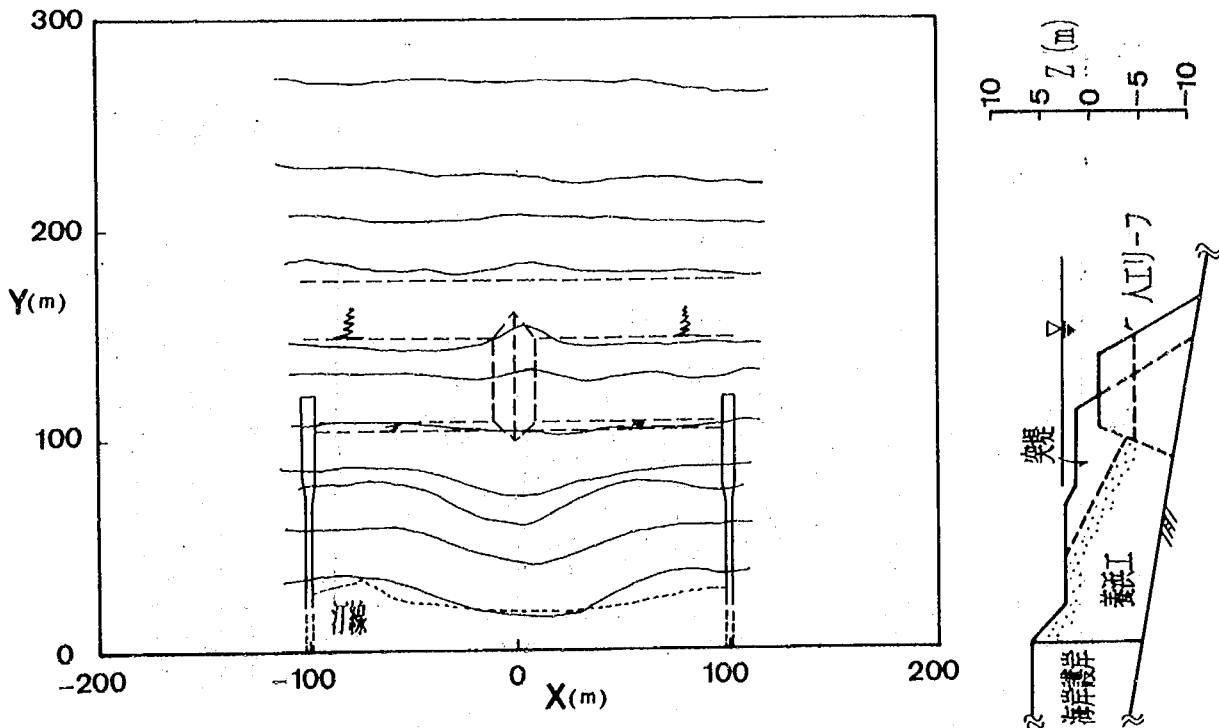
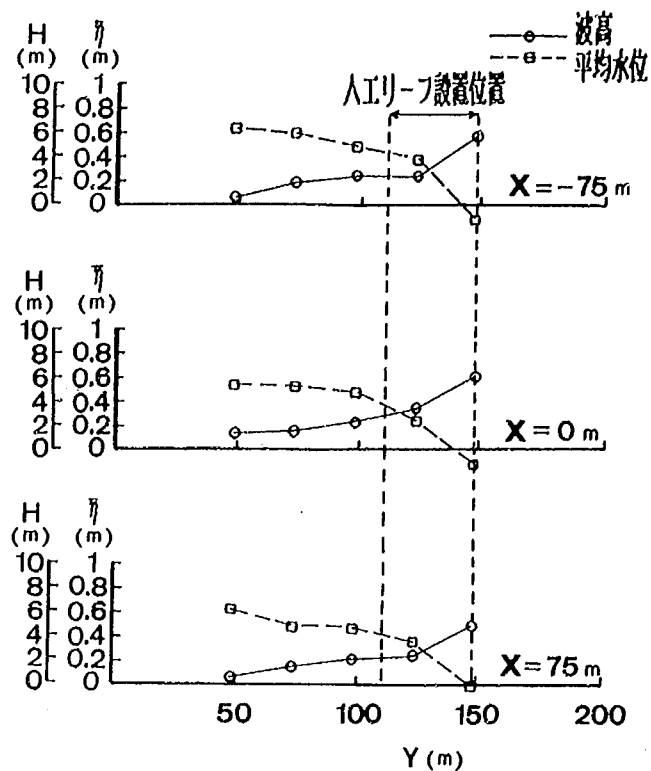


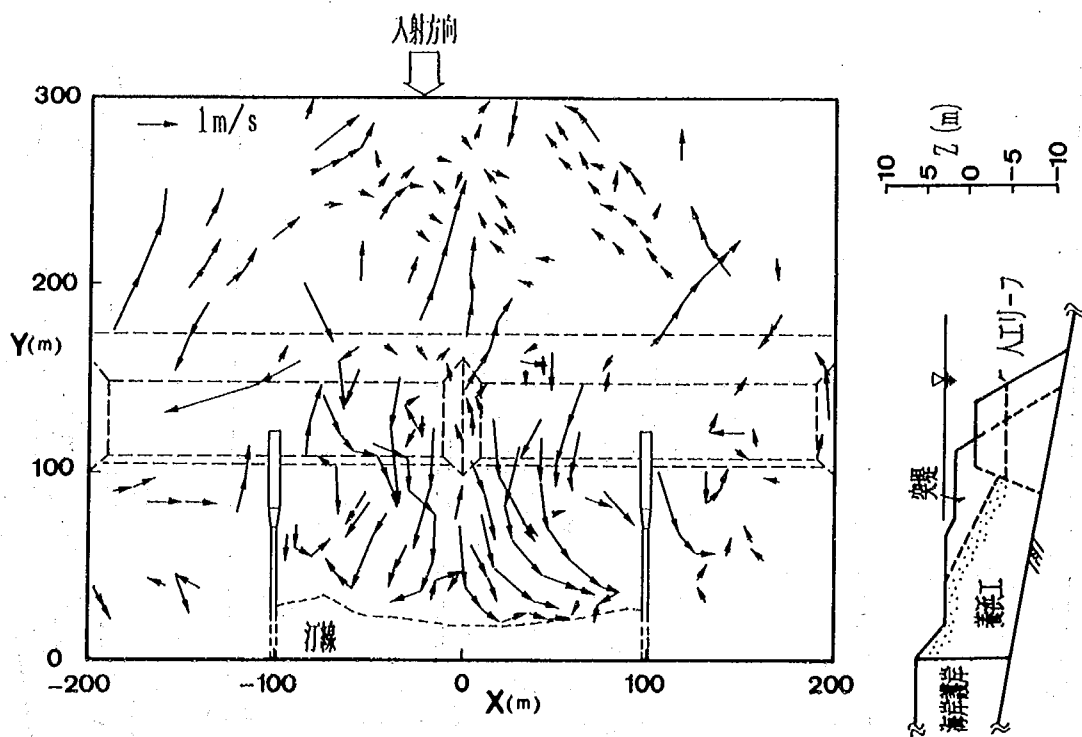
図-4.29 波峰線形(開口幅 20 m, 開口部天端高 - 4.5 m: ケース④, 造波開始 6 時間後)

ス②の場合（図－4.16），中央の測線の波高と平均水位は他の2測線における値と比較してほぼ同様であった。したがって，開口部の天端高を1.5 m下げたことによって，そこからのリーフ岸側への波浪の侵入が著しくなったことを表わしている。また，平均水位分布はケース③（開口幅40 m，天端高－3 m）の場合（図－4.23）と非常に良く似ており，直線状リーフと比較すれば水位上昇量が著しく低下した。

ケース④の海浜流の流況を図－4.31に示す。ケース②の流況（図－4.17）と比較すると，開口部の岸側で岸向きの強い流れが発生し，それが汀線に沿う方向へと向きを変え，両側の突堤へ向いて流れる状況はケース②とはほぼ同様である。しかし，開口部で離岸流が発生している



図－4.30 波高と平均水位の岸沖分布（開口幅20 m，開口部天端高－4.5 m：ケース④，造波開始6時間後）



図－4.31 海浜流の流況（開口幅20 m，開口部天端高－4.5 m：ケース④，造波開始6時間後）

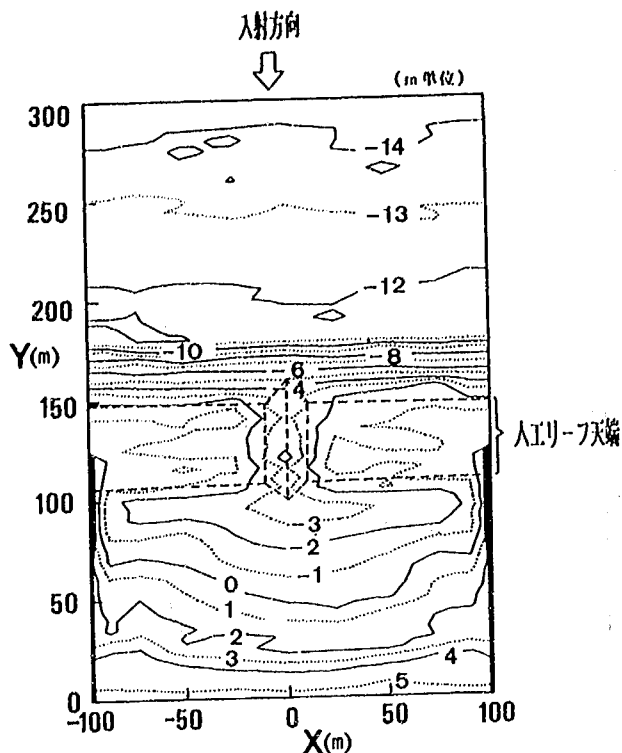


図-4.32 深浅図（開口幅 20 m，開口部天端高 - 4.5 m：ケース④，初期地形）

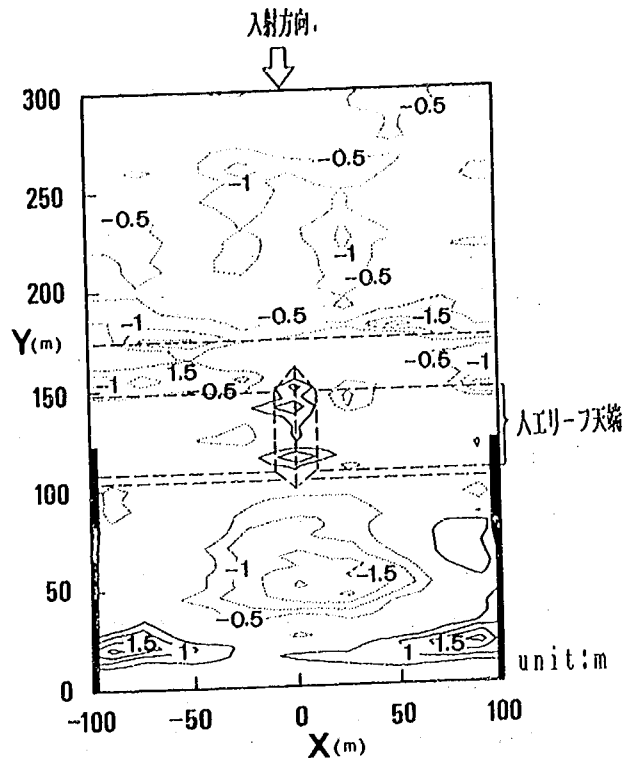


図-4.33 地形変化量の平面分布（開口幅 20 m，開口部天端高 - 4.5 m：ケース④）

点は明らかにケース②と異なり，これは開口幅を 40 m と広くしたケース③の流況で見られた特徴と一致する（図-4.24 参照）。開口部の天端高を下げることは開口幅を広げたのと同様な効果の流れに対して持つことが分かる。また，開口部で離岸流が発生したために図-4.29 に示したように波峰線形が開口部で冲向きに突出したと考えられる。海浜地形変化に関して，波を作用させてから 6 時間後の海浜形状を図-4.32 に，また図-4.28 に示した初期形状からの地形変化量の平面分布を図-4.33 に示す。更に，海浜断面形状の変化を図-4.34 に示す。海浜形状はケース②の場合（図-4.18）と似た状況を示すが，突堤間の中央部における 0 m 付近の等深線の岸方向への突出状況がより顕著になった。この原因はケース②と④とで波峰線形状が大きく異なり，ケース④の方が波峰線の岸方向への突出が著しいことから説明可能である（図-4.15，4.29 参照）。地形変化量の平面分布に関しては，開口部の岸側ではほぼ同心円状に侵食区域があり，汀線付近において土砂が堆積した。土砂の堆積量は突堤近傍ほど多い。中央部の侵食量をケース②の場合（図-4.19）と比較するとケース④の侵食量はケース②より大きい。このこ

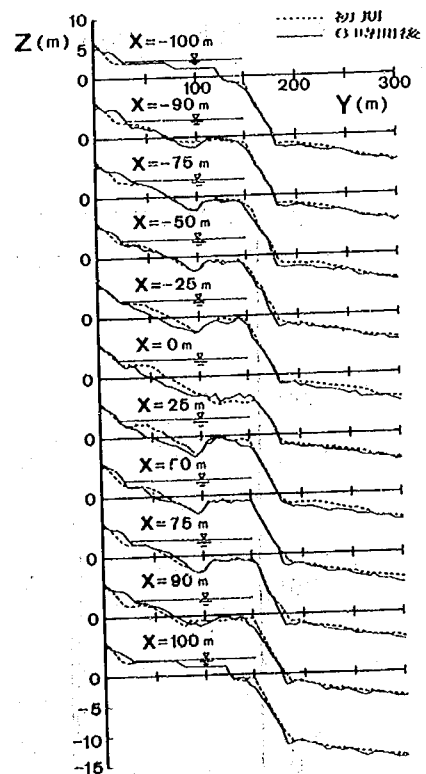


図-4.34 海浜断面形状の変化（開口幅 20 m，開口部天端高 - 4.5 m：ケース④）

とは開口部の天端高を下げたことによって、より多くの波のエネルギーが侵入し、このため地形変化量が大きくなったことを表わしている。

海浜断面形の変化に関しては、中央部の測線では侵食されてほぼ一様勾配の断面形となり、侵食土砂は両側へ移動し、バームを形成して堆積した。

(5) 開口幅 40 m, 開口部天端高 - 4.5 m の人工リーフ (ケース⑤)

開口幅 40 m の人工リーフを設置した場合の波、流れ、地形変化に関しては既にケース③として結果を明らかにした。ここで述べるケース⑤は、開口幅はケース③と同一であるが、開口部の天端高が - 4.5 m と、ケース③の場合より 1.5 m 下げられている。波、流れ、地形変化の実験結果を以下、順に述べる。

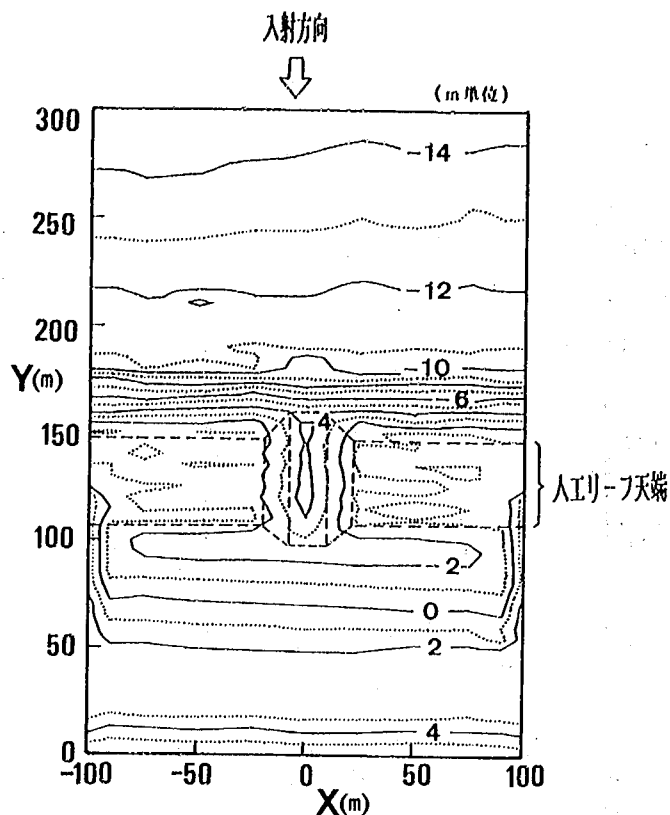


図-4.35 深浅図 (開口幅 40 m, 開口部天端高 - 4.5 m: ケース⑤, 初期地形)

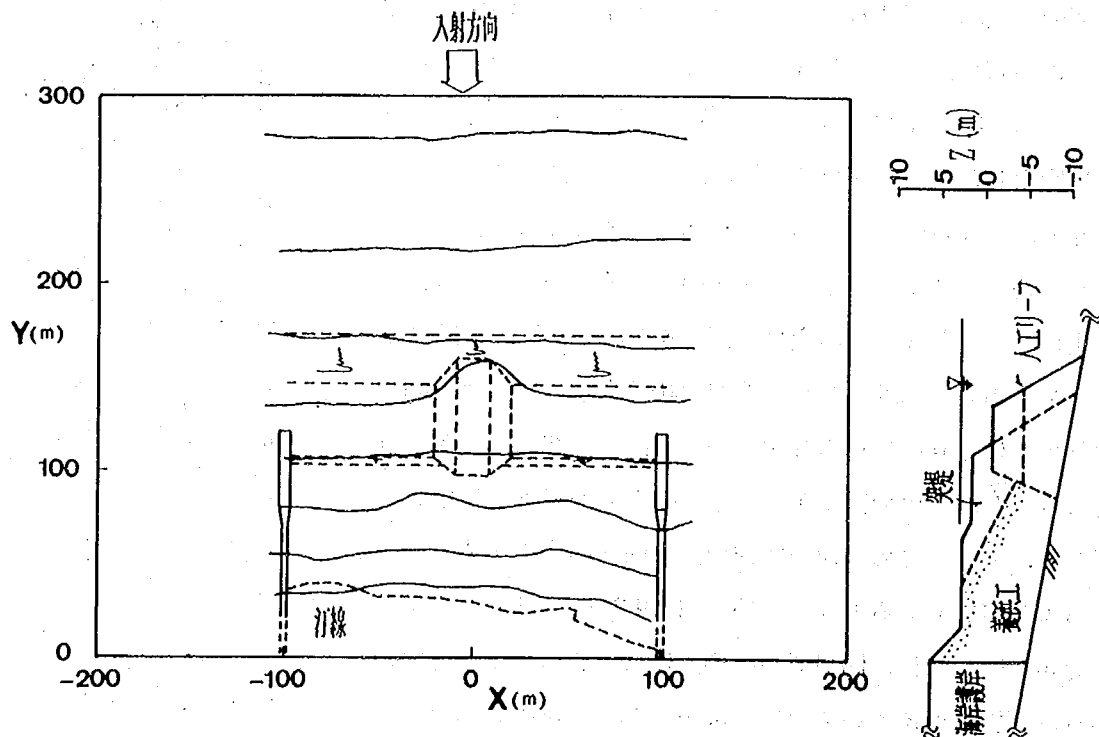


図-4.36 波峰線形 (開口幅 40 m, 開口部天端高 - 4.5 m: ケース⑤, 造波開始 6 時間後)

最初に人工リーフの形状と初期海浜形状を図-4.35に示す。ケース③の場合(図-4.21)と比較するとリーフの開口部形状のみが異なっている。次に、造波開始6時間後の波峰線形状が図-4.36である。ケース③の場合(図-4.22)と比較すると、この場合開口部中央より沖側における波峰線形の冲向きの突出が著しい。この理由は後に述べるように、この部分に強い離岸流が発達していることから説明できる。

代表3測線に沿う波高と平均水位の分布を図-4.37に示す。中央の $x=0$ m測線での平均水位の上昇割合は、他のケースと比較して非常に緩やかとなった。

海浜流の流況を図-4.38に示す。同じ開口幅を有するケース③の流況(図-4.

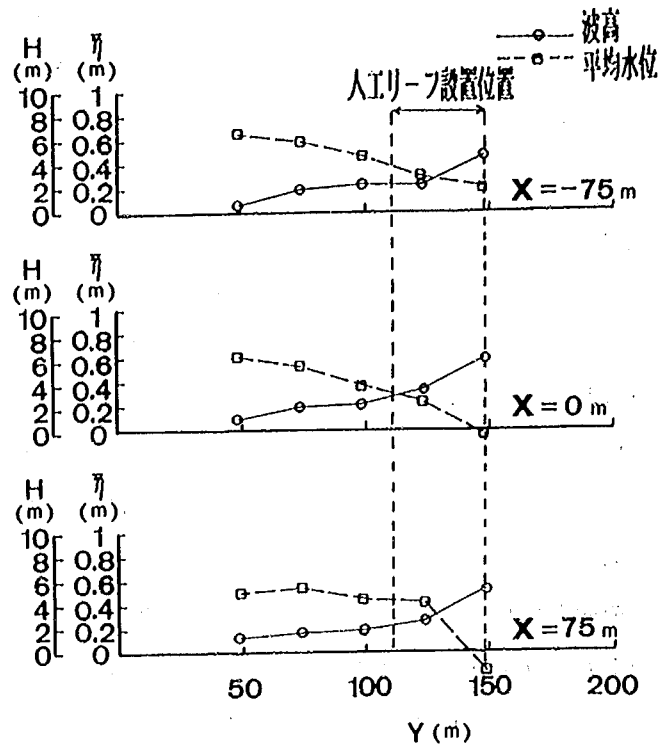


図-4.37 波高と平均水位の岸沖分布(開口幅40m, 開口部天端高-4.5m: ケース⑤, 造波開始6時間後)

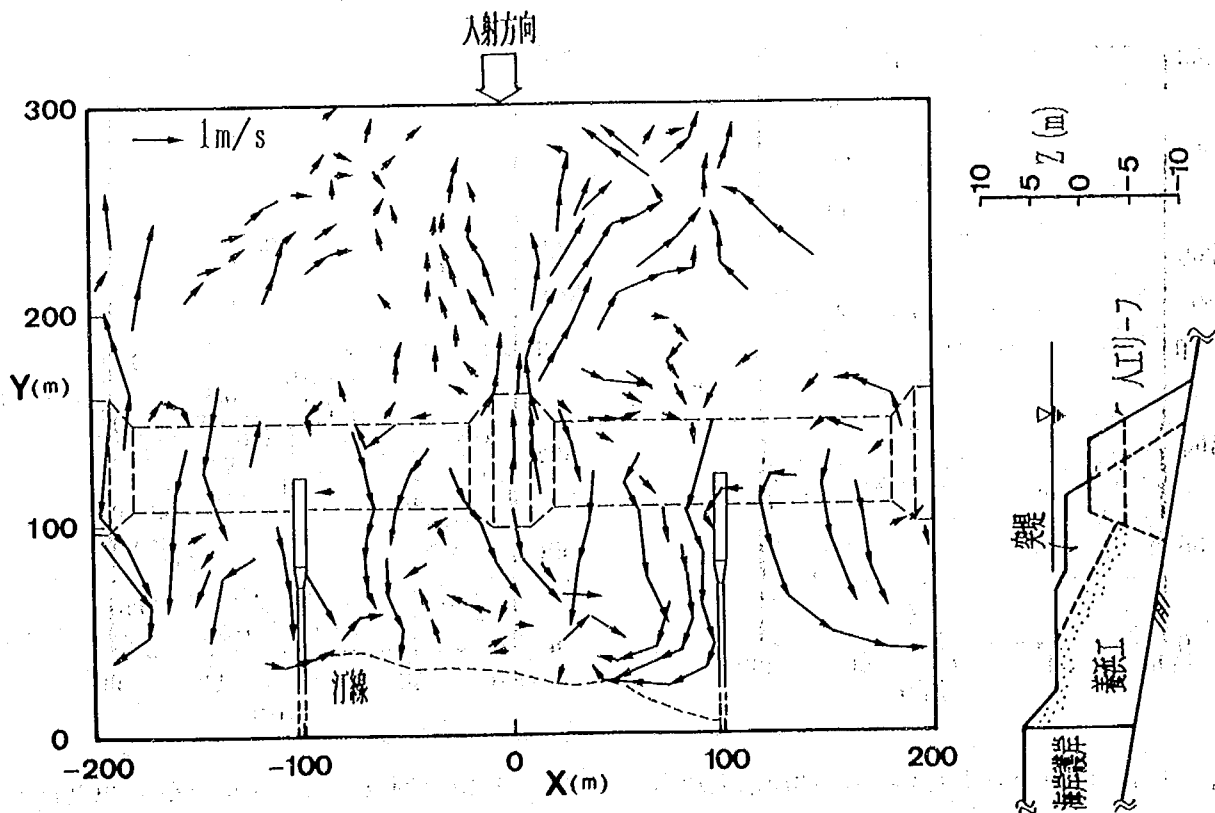


図-4.38 海浜流の流況(開口幅40m, 開口部天端高-4.5m: ケース⑤, 造波開始6時間後)

24)と比較すると、開口部の水深が増加したために流れの特徴が一層著しくなった。まず、開口部中央より沖側での離岸流がケース③の場合よりもはるかに強く発達し、また、突堤近傍における岸向き流れの発達も著しい。これに対し、開口部中央から岸方向を向いた流れは弱くなった。もともと人工リーフではリーフ上において強い岸向き流れが発達する(宇多ほか, 1988)が、開口部からの沖向き流れの発達と同時に、突堤付近においても岸向き流れが強くなったことが分かる。このように、開口部の天端幅は同一でも開口部の水深を大きくすると、人工リーフの岸側、沖側の流況は大きく変化する。また、この流況を開口部の水深は同一であるが、開口幅が20 mと狭いケース④の流況(図-4.31)と比較しても明らかに相違する。すなわちケース④では開口幅が狭いため、流れへの影響は小さく、開口部より岸向き流れが発達し、突堤近傍ではやや沖向き流れとなっていたが、ケース⑤では突堤近傍の流れは確実に岸向きである。このように開口部の水深が同様でも開口幅によって流況に大きな差が生ずる。

造波開始後6時間の海浜形状を図-4.39に、また図-4.35に示した初期地形からの地形変化量の平面分布を図-4.40に示す。さらに、海浜断面形の変化を図-4.41に示す。同じ開口幅を持つケース③の海浜形状(図-4.25)と比較すると、突堤に沿う部分で0 mの等深線が岸側に楔状とな

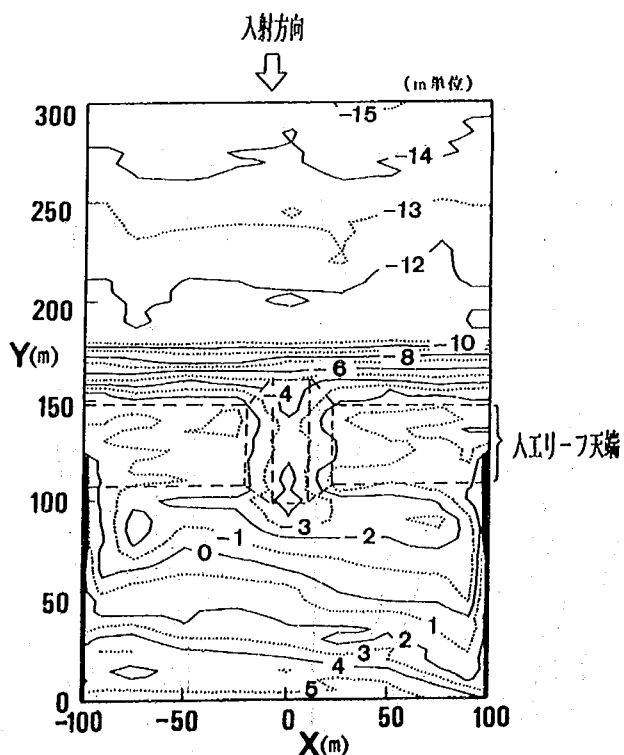


図-4.39 深浅図(開口幅40 m, 開口部天端高-4.5 m: ケース⑥, 造波開始6時間後)

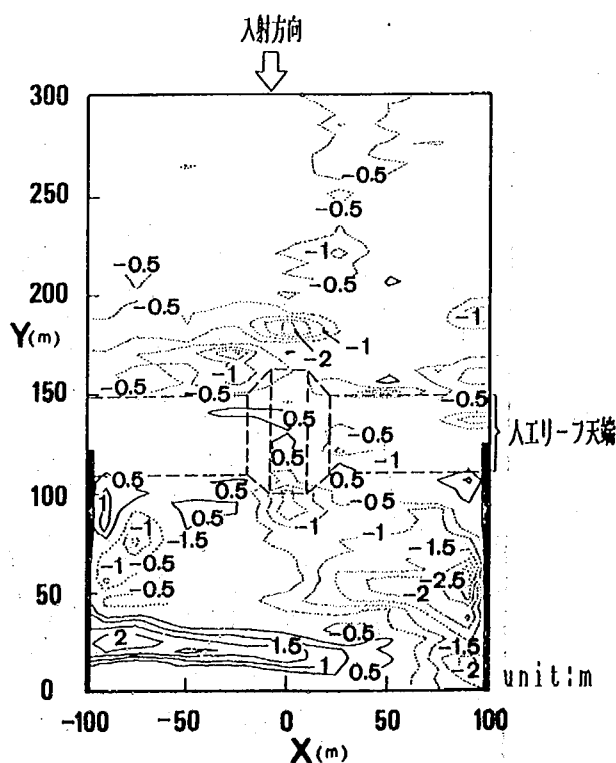


図-4.40 地形変化量の平面分布(開口幅40 m, 開口部天端高-4.5 m: ケース⑥)

っている点は両者でかなり良い対応を示す。これは両ケースともに突堤に沿って岸向きの強い流れが生じ、これによって侵食されたためと考えられる。地形変化量の平面分布に関しては、図-4.26と図-4.40を比較すると、突堤沿いでの侵食量と汀線付近での堆積量がケース⑥の方が大きい。結局、図-4.24、4.38に示した海浜流場の変化に応じてこのような地形変化量分布が変化したと考えられる。また開口部では離岸流が強いために海底面がかなり侵食された状況が図-4.40より見てとれる。海浜断面形の変化を図-4.41により調べると、突堤近傍の $x = 90\text{ m}$ 断面では大きく侵食されている。開口幅が 40 m と広く、開口部の天端高が -4.5 m と深い場合、開口部では強い離岸流が発生し、それを補償するために突堤近くのリーフ上では強い向岸流が生ずる。この向岸流は、突堤に沿う沖向きの土砂移動を生じさせない代わりに突堤近傍の土砂を中央部へと移動させる。ケース⑥の開口部の天端高は養浜断面より低いから、中央部より沖向きに流出する可能性を否定できない。このためケース⑥の養浜砂安定効果は同じ開口幅を持つケース③や、同じ開口部の天端高を持つケース④に比較して低いと考えられる。

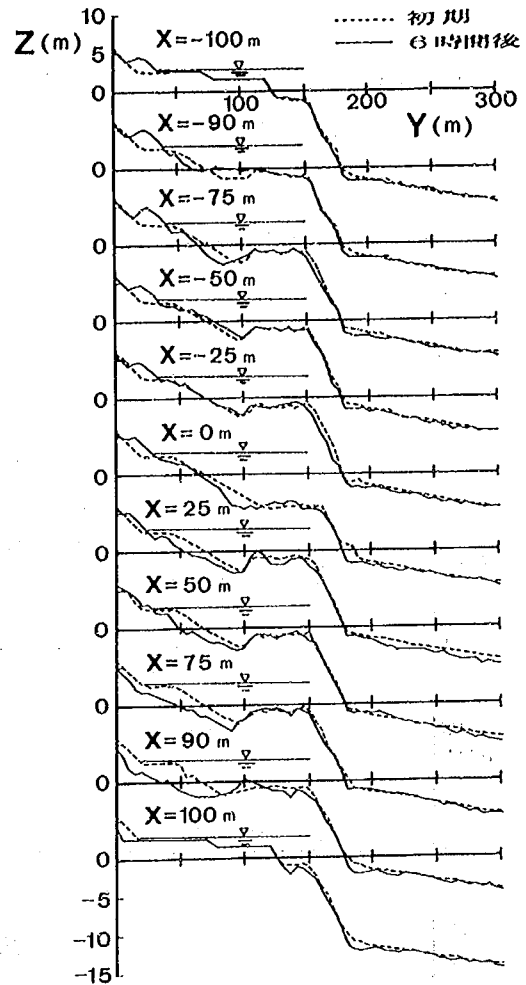


図-4.41 海浜断面形状の変化（開口幅 40 m 、開口部天端高 -4.5 m ：ケース⑤）

4.5 各ケースの相互比較

4.4節では各案ごとに波、流れ、地形変化の特徴について述べた。ここでは波高・平均水位分布、海浜流および海浜地形変化量の平面分布に関し、それらの相互比較を試みる。

(1) 波高・平均水位分布の比較

各ケースの実験データより、 $X = 0\text{ m}$ と $X = 75\text{ m}$ の2測線を選び、波高・平均水位の岸沖分布の相互比較を試みた。

最初に、人工リーフの開口幅を 20 m に保ち、開口部天端高を次第に下げた場合（ケース①、②、④）の波高・平均水位の分布を図-4.42に示す。 $X = 0\text{ m}$ 断面では、開口部の天端高が下がるにしたがいリーフ岸側での波高が増加し、平均水位の上昇量は小さくなった。このとき、例えば $Y = 125\text{ m}$ 地点で比較すると、ケース①に対するケース④の波高の増加割合は 5% であるのに対し、平均水位の上昇量の減少割合は 23% と、平均水位の上昇量の減少が著しい。ケース②、④に関しては、共に開口部が有るためにケース①よりも全体的に平均水位上昇量が減少しているが、開口部天端高

を下げたことは、特に $X = 125 \text{ m}$ 地点での平均水位上昇量の減少に寄与している。一方、 $X = 75 \text{ m}$ 断面では開口部を持たないケース①の人工リーフ岸側の平均水位がケース②、④よりも高くなっている。以上のように開口部の天端高を下げるにしたがいリーフ岸側の平均水位の上昇量が次第に減少することが分かる。

人工リーフの開口幅を 40 m に保ち、開口部天端高を次第に下げた場合（ケース①、③、⑤）の波高・平均水位の分布を図-4.43に示す。 $X = 0 \text{ m}$ 断面では、図-4.42の場合と同様に開口部の天端高が下がるにしたがい、リーフ岸側での波高が増加し、平均水位の上昇量が小さくなった。この

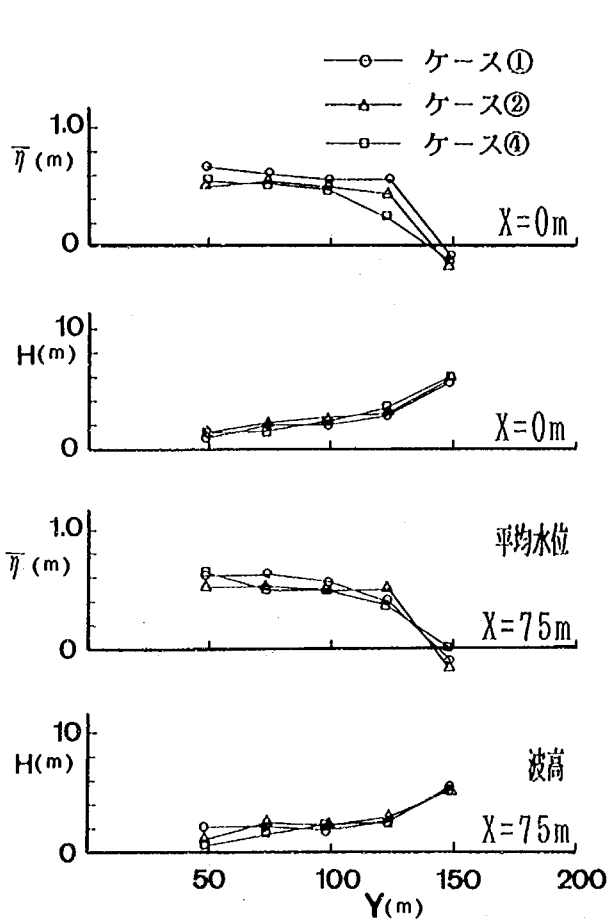


図-4.42 ケース①、②、④の波高・平均水位分布の比較

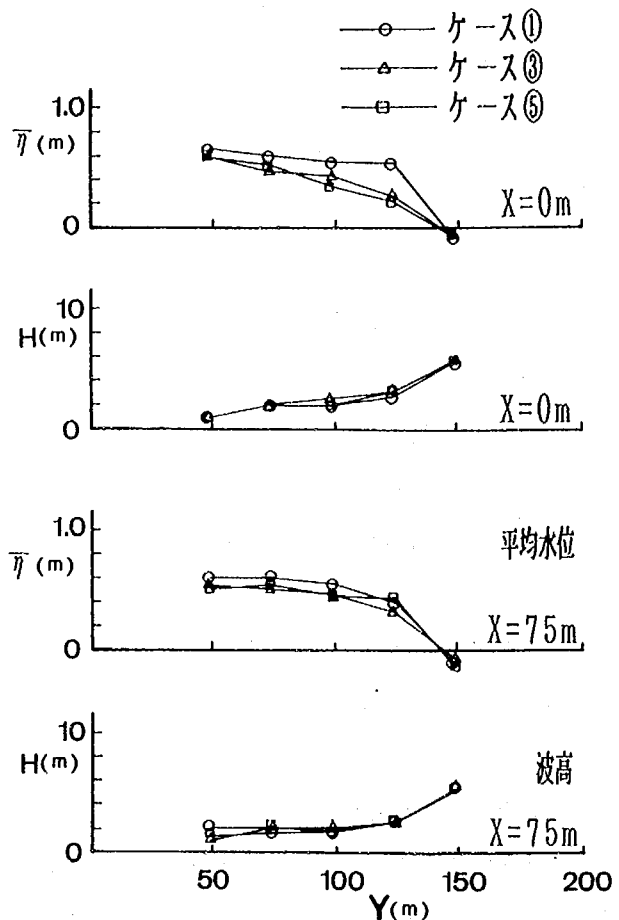


図-4.43 ケース①、③、⑤の波高・平均水位分布の比較

場合も波高の変化に比較して平均水位の上昇量の減少が著しく、また図-4.42の場合より開口幅が広がったためにこれらの特徴がはるかに顕著になった。ケース③、⑤は開口幅が 40 m と同じで、開口部天端高が -3 m (ケース③)、 -4.5 m (ケース⑤) と異なる。両者とも開口幅を拡げた効果によりケース①と比較して波高の増加、平均水位上昇量の著しい減少をみたが、開口部天端高を下げた時の効果は、これに比較してそれほど大きくない。一方、 $X = 75 \text{ m}$ 断面では、ケース①に対しケース③、⑤の平均水位の上昇量の減少が顕著に表われている。

開口部天端高を -3.0 m に保ち、開口幅を次第に広げた場合（ケース①、②、③）の波高・平均水

位の分布を図-4.44に示す。 $X=0\text{m}$ 断面の波高・平均水位分布の変化状況は図-4.42の場合とほぼ同一である。開口幅を広げてもリーフ岸側の波高の増加はそれほど大きくないのに対し、砕波点付近の平均水位上昇量の低下は大きく、また平均水位の場所的勾配が緩くなった。また $X=75\text{m}$ 断面では、リーフより岸側の区域でのケース②、③の水位上昇量はケース①より明らかに低下している。

最後に、開口部天端高を -4.5m に保ち、開口幅を次第に広げた場合(ケース①、④、⑤)の波高・平均水位の分布を図-4.46に示すが、結果は図-4.45の場合と同様である。

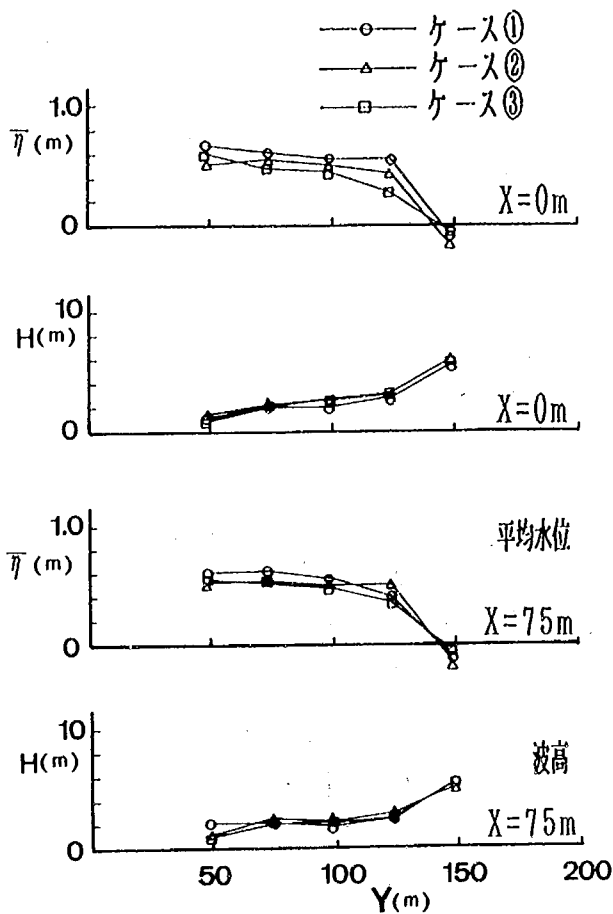


図-4.44 ケース①、②、③の波高・平均水位分布の比較

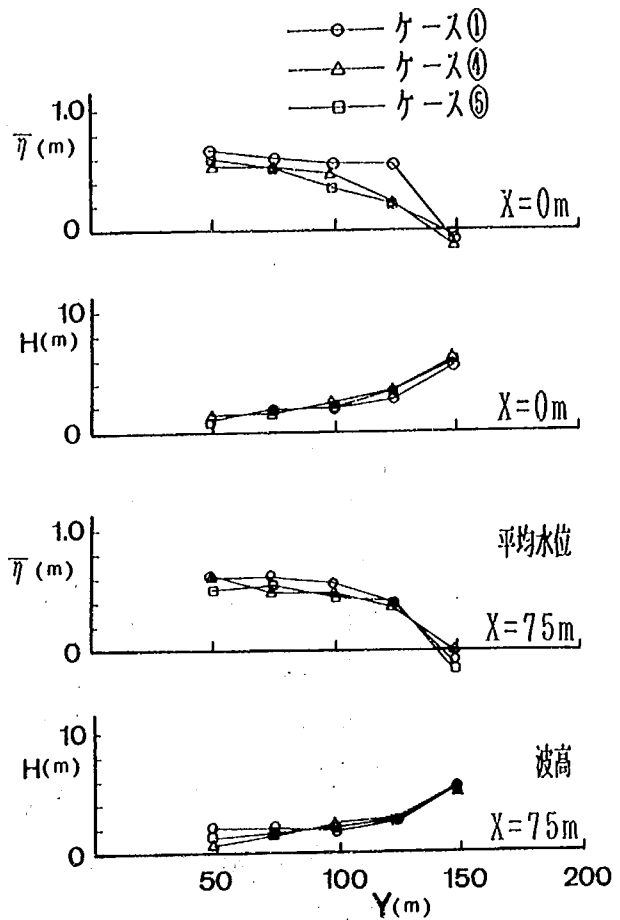


図-4.45 ケース①、④、⑤の波高・平均水位分布の比較

(2) 海浜流の流況比較

最初に人工リーフの開口幅を 20m と一定に保ち、開口部天端高を変化させた場合(ケース①、②、④)の海浜流の流況を図-4.46に示す。直線状リーフの場合を基準とすると、開口部の天端高が低くなると、次第に開口部より離岸流が発達し始める状況が見てとれる。しかしながらリーフ中央部付近の岸側隣接部において強い向岸流が発生し、その流れが沿岸流へと変化する状況には変化が見られない。

人工リーフの開口幅を 40m に保ち、開口部天端高を次第に深くした場合(ケース①、③、⑤)の海浜流の流況を図-4.47に示す。開口部のない場合は中央部で強い向岸流が発達するが、 40m の

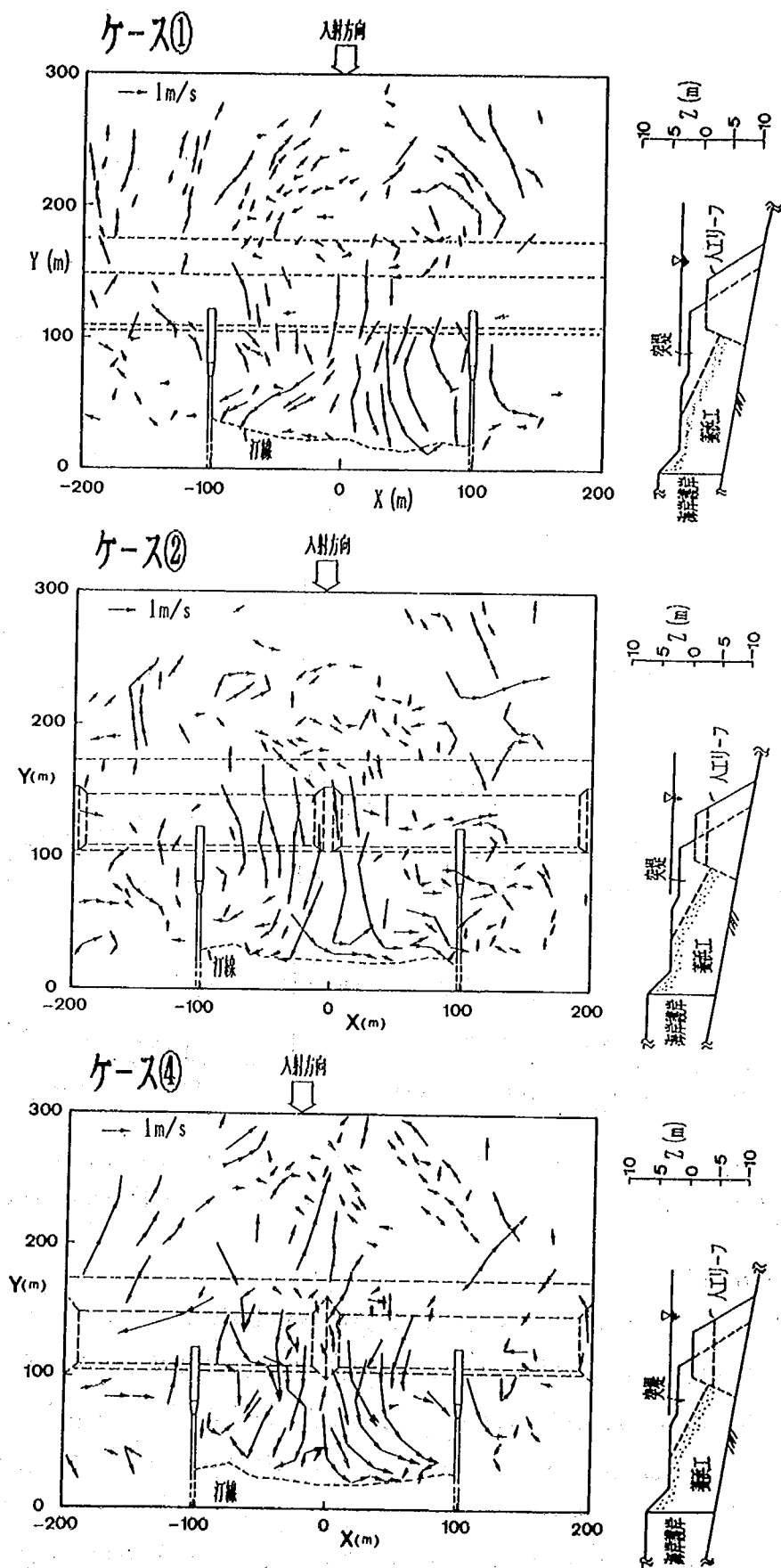


図-4.46 ケース①, ②, ④の海浜流の流況比較(造波開始6時間後)

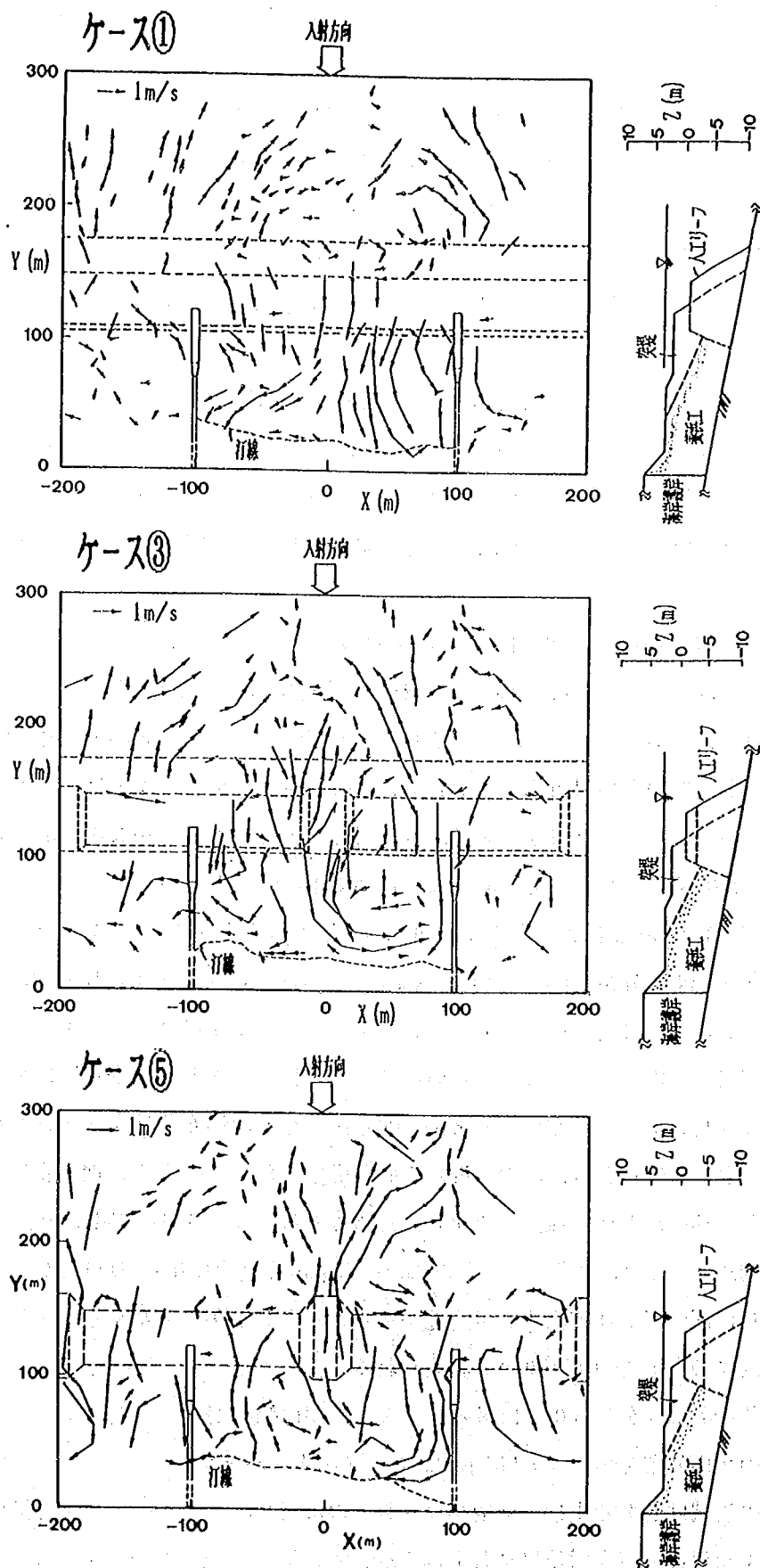


図-4.47 ケース①, ③, ⑤の海浜流の流況比較 (造波開始6時間後)

開口幅を設け、天端高を下げると開口部からの離岸流の発達が顕著になる。直線状リーフでは突堤付近においてやや沖向き流れが生じたが、ケース⑥の場合、突堤沿いでは向岸流の発達が著しい。

開口部天端高を -3.0 m に保ち、開口幅を次第に広げた場合（ケース①，②，③）の海浜流の流況を図-4.48に示す。開口幅が広がるとともに開口部で離岸流の発達が顕著になる。開口幅 20 m では離岸流は発達せず、直線状リーフの流況とほぼ同様であるが、開口幅 40 m の場合強い離岸流が生じた。また、突堤近くのリーフ上の流れは開口幅が広がるとともに明らかに岸向きとなる。開口部の幅を広げることは、海浜流の流況に対し開口部の天端高を下げることにほぼ同等の効果を持つことが分かる。

最後に、開口部天端高を -4.5 m に保ち、開口幅を次第に広げた場合（ケース①，④，⑤）の海浜流の流況を図-4.49に示す。開口幅 20 m の場合の流況は直線状リーフの場合と同様、開口部の岸側で強い向岸流が発達していたが、開口幅 40 m の場合には中央部よりも両側の突堤付近における向岸流の発達が著しい。また開口部を広げると、開口部上での離岸流が次第に顕著となった。

(3) 海浜地形変化の比較

開口幅を 20 m に保ったまま、開口部の天端上水深を深くした場合（ケース①，②，④）の海浜地形変化量の平面分布を図-4.50に示す。いずれの場合も突堤間の中央部が侵食され、汀線付近に堆積する状況は共通である。しかし、直線状リーフと開口部天端高 -3.0 m の場合には突堤に沿って堆積域が見られ、突堤先端付近まで堆積しているのに対し、ケース④ではこのような土砂堆積はほとんどみられない。このことはケース①，②に対してケース④の方が突堤に沿って土砂が沖合へ流出する可能性が低く、したがって養浜砂の安定効果が良いことを示している。

同様にして開口幅を 40 m に保ったまま開口部の天端上水深を深くした場合（ケース①，③，⑤）の海浜地形変化量の平面分布を図-4.51に示す。ケース③ではケース①に比較的似た変化が生じ、中央部で侵食され、汀線付近に広く堆積した。しかし、その変化量はケース①よりずっと小さい。また、ケース③では突堤沿いにおける著しい堆積は見られず、養浜砂の安定性はかなり良好である。開口部の天端高が低いケース⑤ではケース①，③と比較して地形変化状況が大きく変化した。すなわち突堤沿いで著しく侵食され、汀線付近に土砂が堆積した。このように地形変化状況が大きく変わった理由は既に述べたように流況が変化したためである（図-4.47参照）。ケース⑤では開口部より離岸流が発達しており、またリーフ開口部の天端高は養浜地盤高より低いから、突堤間の中央部に集まった底質は開口部より流出する可能性がある。このことから少なくともケース⑤はケース③と比較して養浜砂の安定化効果が低いと考えられる。

次に、開口部の天端高を -3.0 m に保ったまま、開口幅を変えた場合（ケース①，②，③）の海浜地形変化量の平面分布を図-4.52に示す。ケース②とケース③を比較すると、ケース②では突堤沿いに突堤の先端付近まで土砂の堆積が見られるのに対し、ケース③では突堤沿いでの土砂堆積は見られず、また侵食量の絶対値自身も小さくなっている。このことからケース②に対してケース③の方が養浜砂の安定化効果が高いと考えられる。

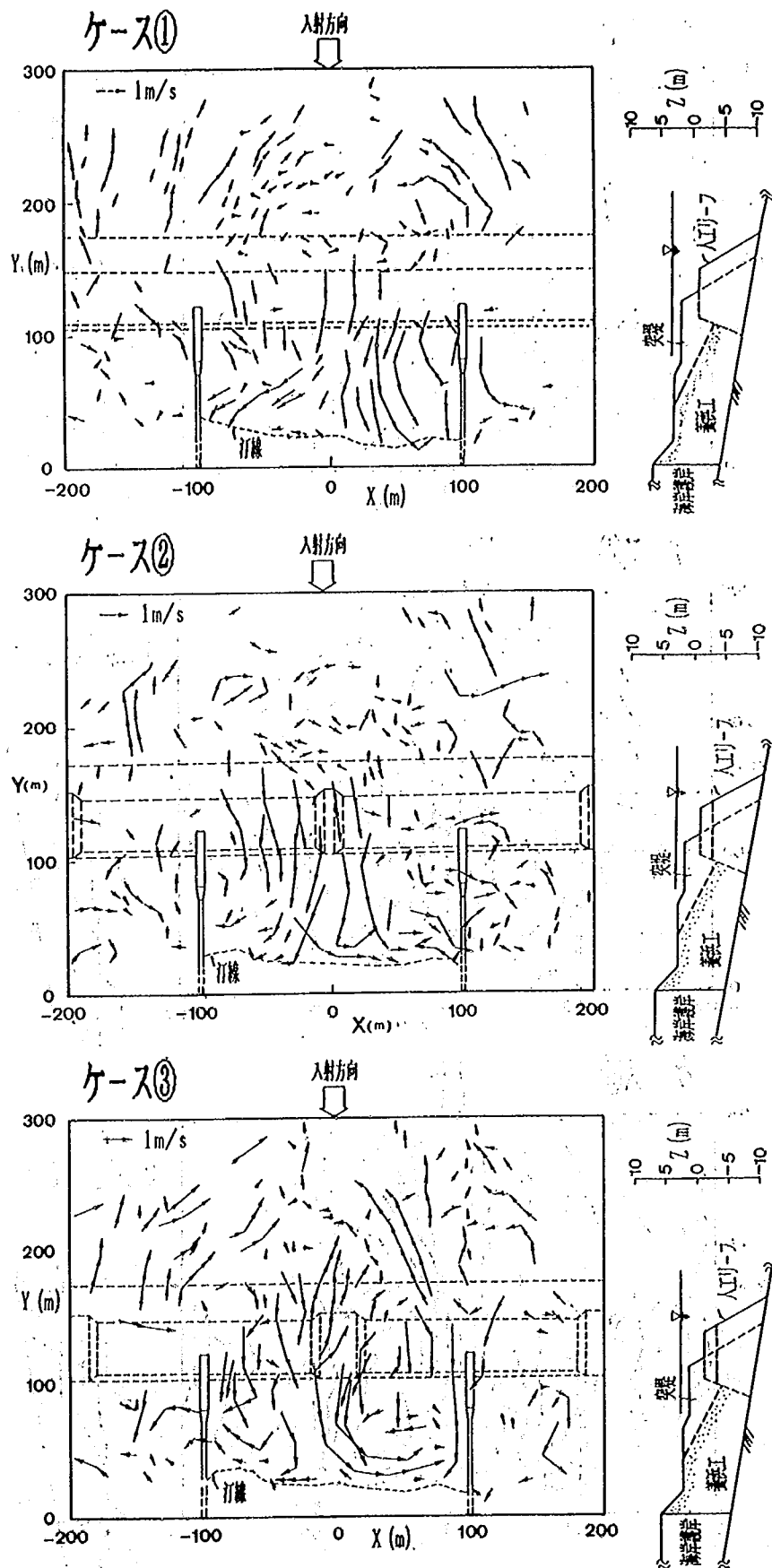


図-4.48 ケース①, ②, ③の海浜流の流況比較 (造波開始6時間後)

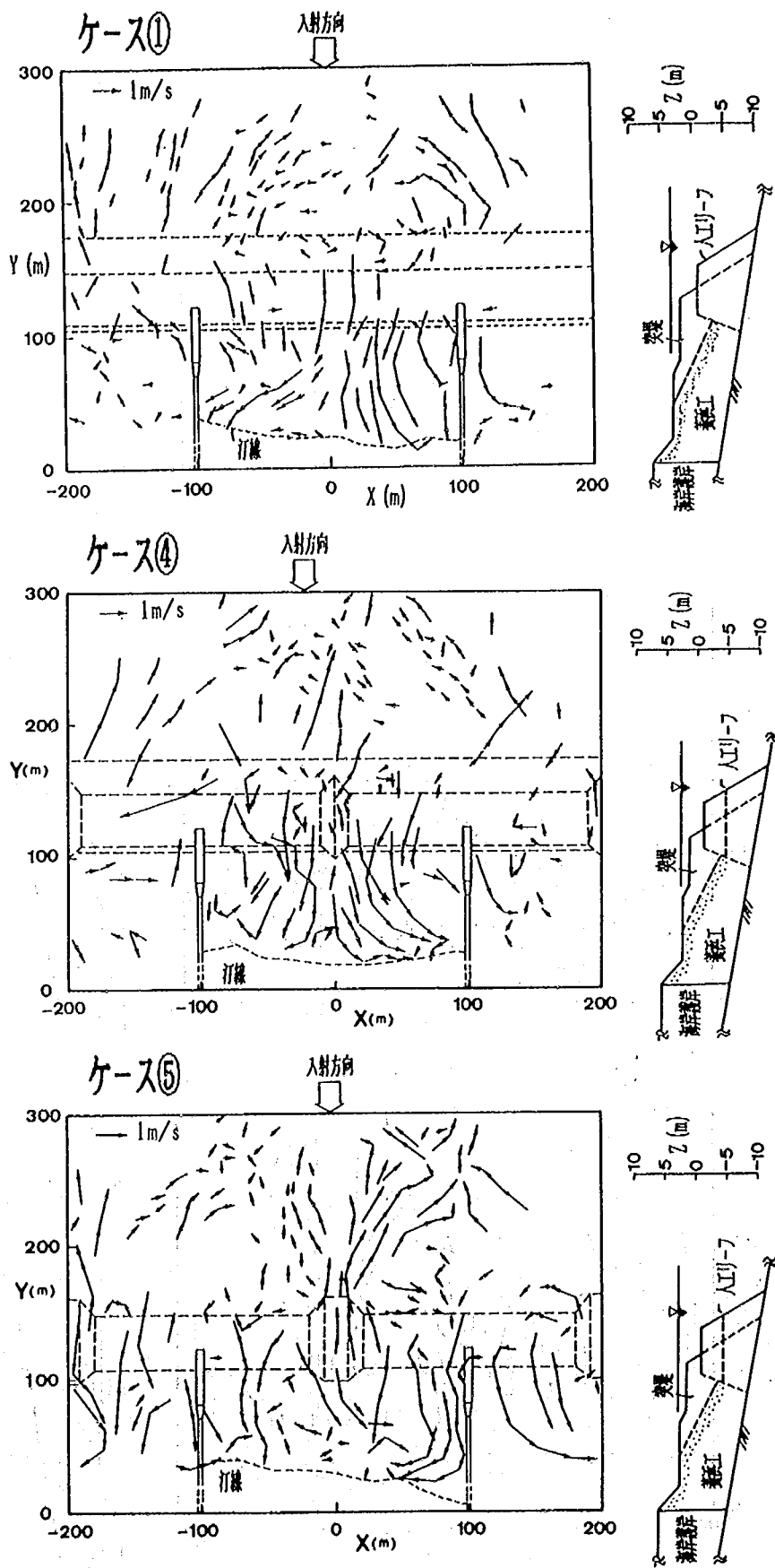
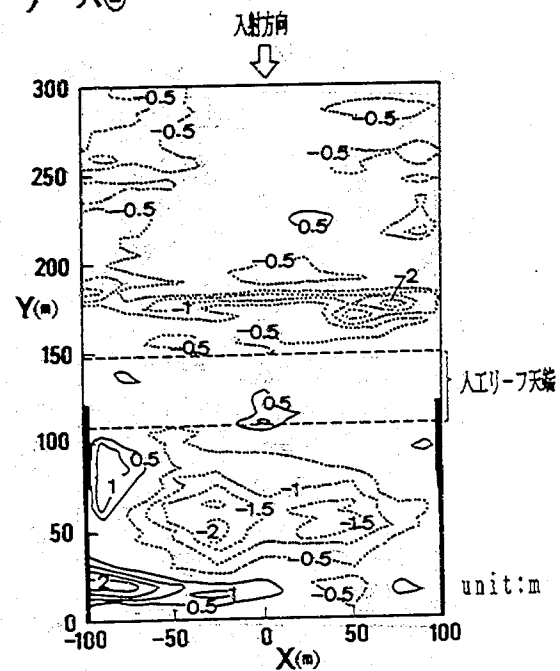
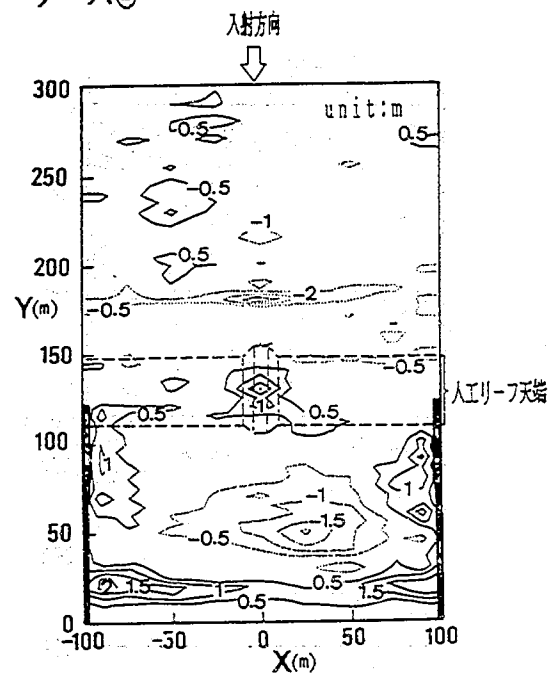


図-4.49 ケース①, ④, ⑤の海浜流の流況比較 (造波開始6時間後)



ケース②



ケース④

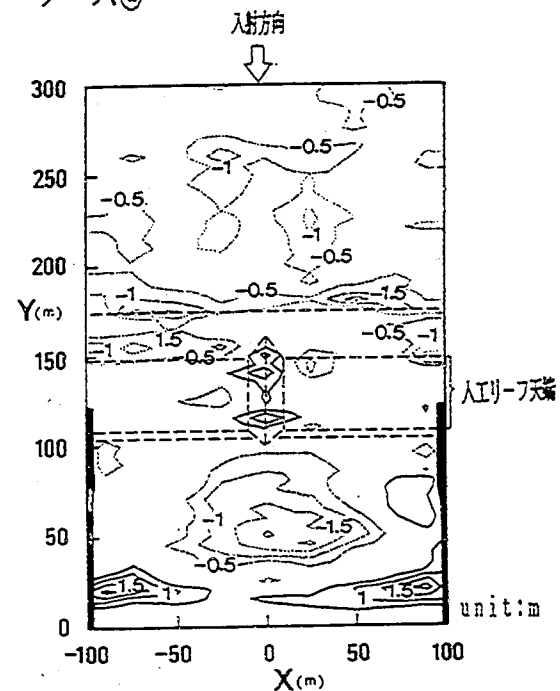
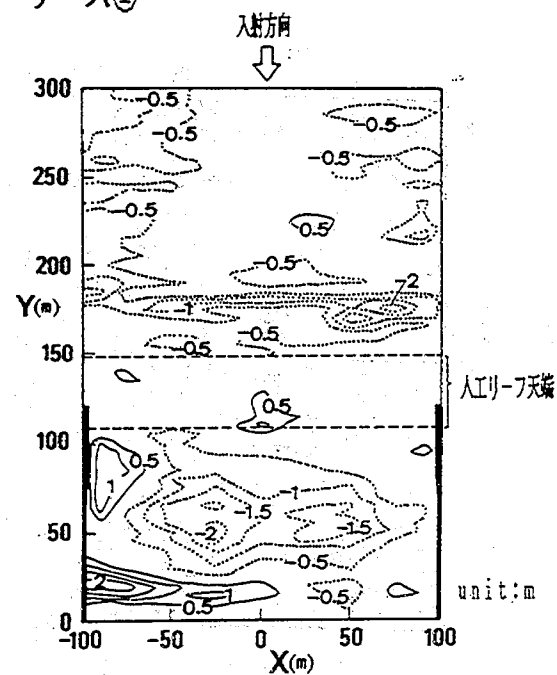
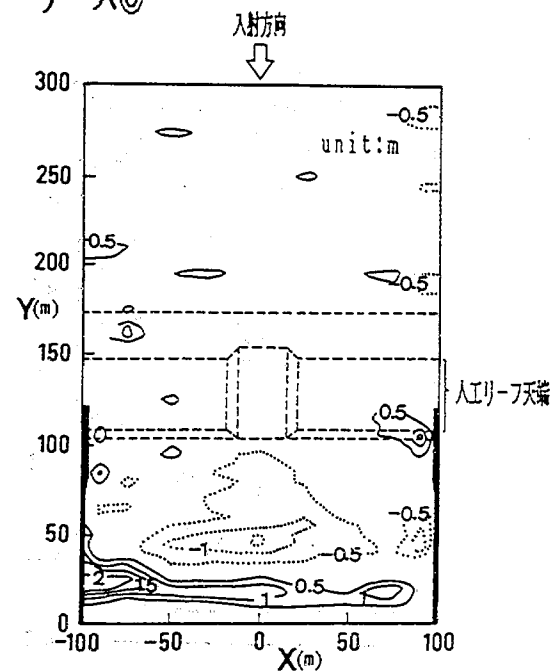


図-4.50 ケース①、②、④の地形変化量の平面分布の比較

ケース①



ケース③



ケース⑤

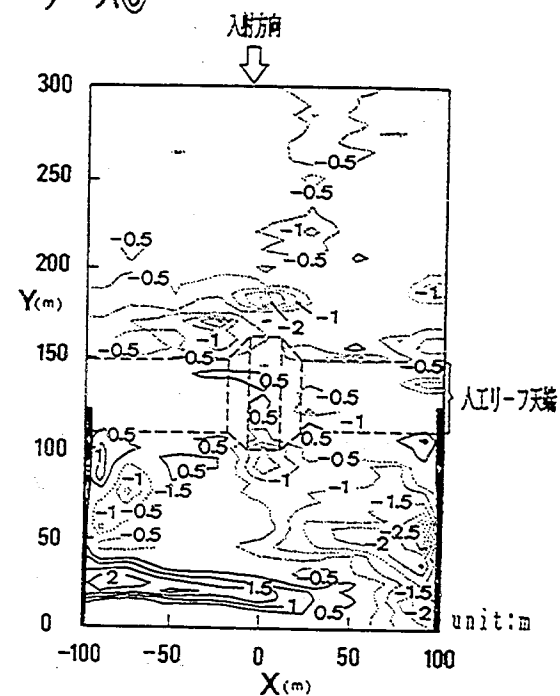
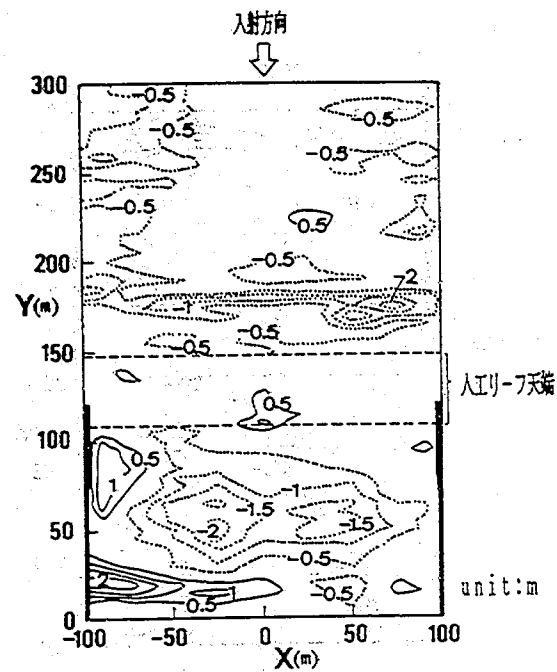
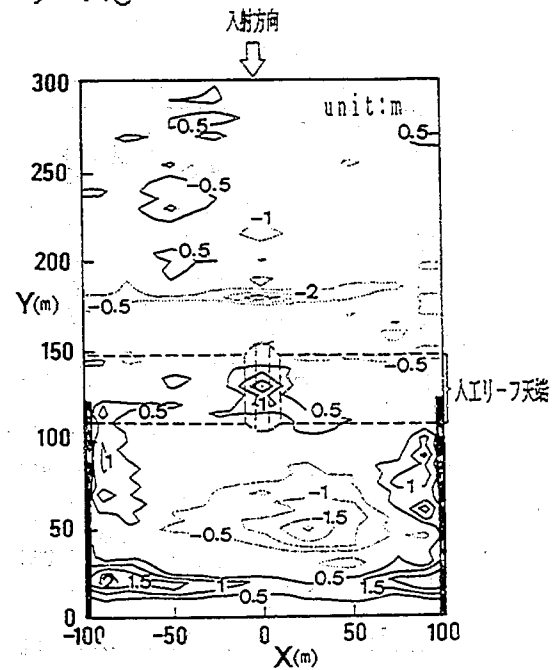


図-4.51 ケース①、③、⑤の地形変化量の平面分布の比較

ケース①



ケース②



ケース③

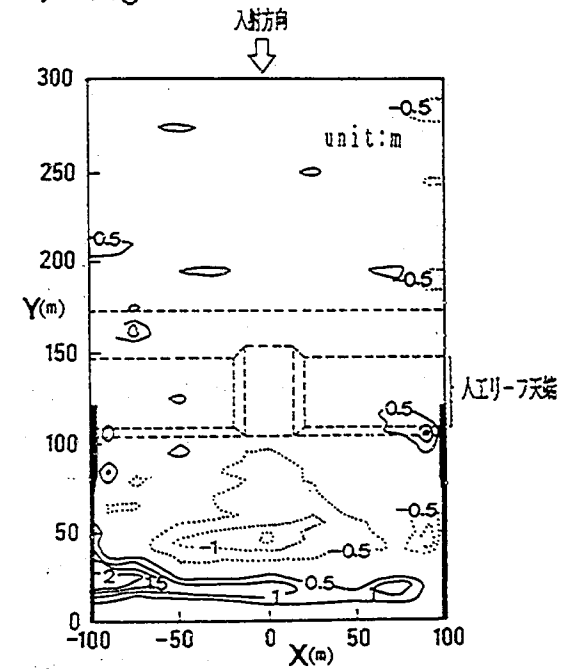
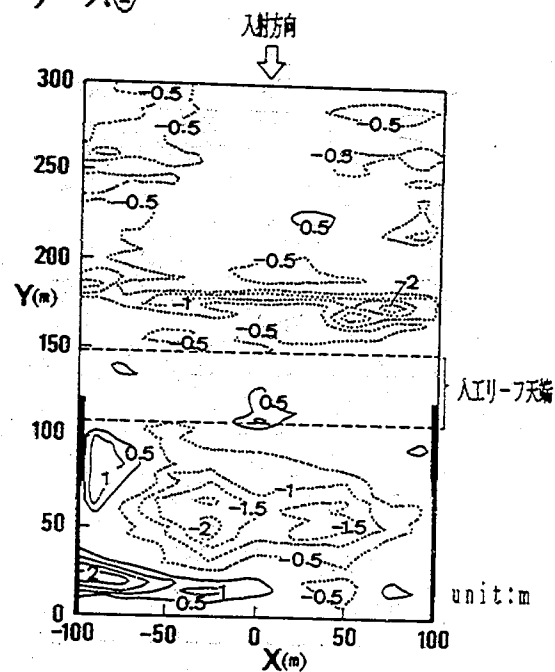
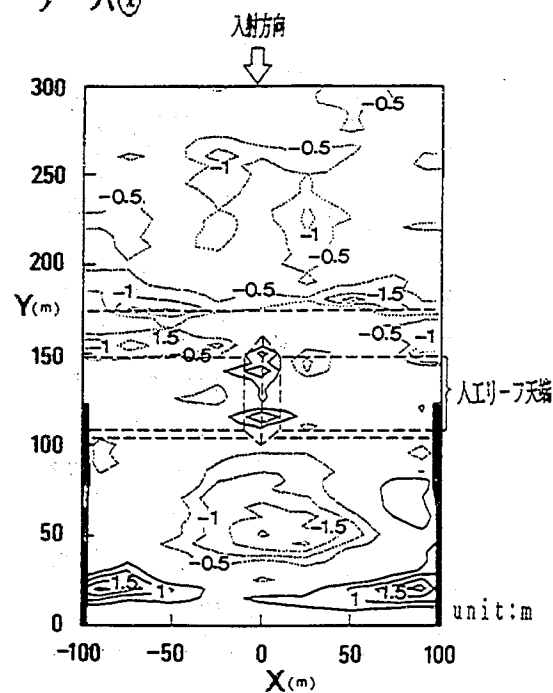


図-4.52 ケース①、②、③の地形変化量の平面分布の比較

ケース①



ケース④



ケース⑤

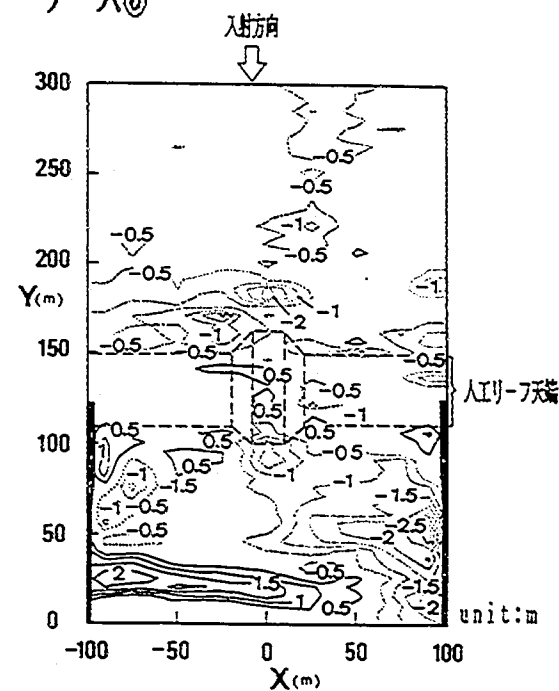


図-4.53 ケース①、④、⑤の地形変化量の平面分布の比較

最後に、開口部の天端高を -4.5m に保ったままで開口幅を変えた場合（ケース①，④，⑤）の地形変化量の平面分布を図-4.53に示す。いずれの場合も地形変化は他との相違を示す。地形変化量の絶対値が最も小さいのはケース④であり安定化効果が最も著しい。ケース④と⑤ではケース④の方が安定化効果が高いと考えられる。

以上の議論によれば、養浜砂の安定化効果が比較的高かったのはケース③と④であった。そこで図-4.54において両者を比較した。両者で良く似た分布形を示しているが、ケース③の方が侵食量が小さく、また全体に変化がなだらかなのである。このことより、最終的に養浜砂の安定化効果が最も良好なのはケース③と判断できる。

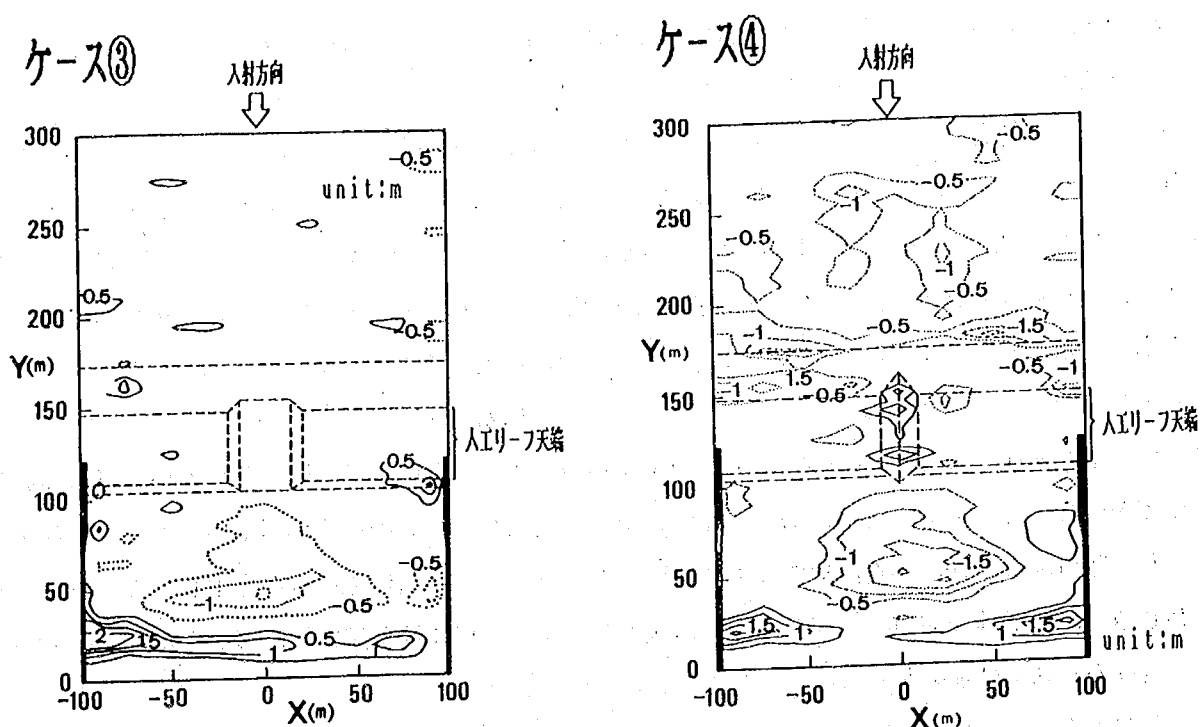


図-4.54 ケース③，④の地形変化量の平面分布の比較

4.6 結 論

本研究によって得られた主要な要点は以下のように要約される。

- ① 明石海峡のように強い潮流が作用する場合に養浜砂の安定性を確保する方法として、ここでは突堤と人工リーフにより潮流を阻止し、流れを沖合へと移動させる方法について検討した。実験結果によれば、これらの構造物により潮流の作用の弱い海域を創り出すことが可能なことが分かった。
- ② 人工リーフの開口幅を広げ、また開口部の天端高を下げるとともに、リーフより岸側の区域での平均水位の上昇量は次第に低下した。この場合、リーフ岸側での波高は増加したが、その変化割合は平均水位の上昇量の変化と比較してずっと小さくなった。リーフ岸側での平均水位の上昇は、護岸への打ち上げ高を増大させるので、上昇量は低いほど良い。このことからリーフより岸側への侵

入波高がそれほど高くない範囲において開口部を設けることが望ましい。

- ③ 直線状人工リーフを設置した場合（ケース①）には、リーフ中央部において岸向き流れが、また突堤に沿っては沖向き流れが生ずる。リーフ岸側の養浜区域では中央部が侵食され、その土砂は前浜上と突堤に沿った区域に堆積した。突堤に沿う区域ではこの土砂が沖向き流れによって流失してしまう可能性がある。
- ④ 開口幅 20 m、天端高 - 3.0 m の開口部を設けた場合（ケース②）の波高分布、流況、および海浜地形変化は直線状リーフの場合とほとんど同様であり、開口部を設けた効果は明瞭ではない。
- ⑤ 開口幅 40 m、天端高 - 3.0 m の開口部を設けた場合（ケース③）は、直線状リーフや開口幅 20 m のリーフと比べて流況と地形変化状況が大きく変化した。まず、開口部の中央部より沖側では離岸流、岸側では向岸流が発生するとともに、突堤に沿って岸向き流れが生じた。こうした流れの変化が主因となってケース①、②で見られた養浜砂が突堤に沿って沖方向へ移動する状況は見られなくなり、リーフ岸側から侵食された土砂は主として前浜上に堆積した。このことは養浜砂の安定性確保の上では開口幅 40 m のリーフが直線状リーフや開口幅 20 m のリーフより優れていることを示す。
- ⑥ 開口幅を 20 m としたままで開口部の天端高を - 4.5 m とした場合（ケース④）、開口部上の離岸流、向岸流の発生状況は開口幅 40 m、開口部天端高 - 3 m のリーフ（ケース③）の場合と良く似たものとなった。しかし、ケース③に比較して侵食量が大きく、また全体に地形変化が急となった。このことから、ケース④はケース③よりも養浜砂安定化効果が低いことが分かった。
- ⑦ 開口幅が 40 m で、開口部天端高が - 4.5 m の場合（ケース⑤）では、開口部において最も強い離岸流が生じるとともに、突堤に沿って強い向岸流が発生した。このため突堤沿いに著しい侵食が生じた。開口部の天端高が養浜地盤高より低いこと、またここで強い離岸流が発生したことを考えあわせると、養浜砂が開口部を通じて沖合へ流出してしまう可能性が高い。このことからケース⑤の養浜砂安定効果は他のケースに比較して低いと判断された。
- ⑧ 各案の相互比較によれば、養浜砂安定効果が最も高く、リーフ岸側での平均水位上昇量が十分小さくなるのは、ケース③（開口幅 40 m、開口部天端高 - 3.0 m）であった。

参考文献

宇多高明・小俣 篤・横山揚久（1988）：人工リーフの機能と設計法，土木研究所資料，第 2696 号，p. 79.

宇多高明・坂野 章・竹淵 勉（1989）：高知海岸人工リーフ水理模型実験報告書，土木研究所資料，第 2782 号，p. 42.

第5章 波が斜め入射する条件での人工リーフ周辺の波、流れ、地形変化に関する実験的検討

5.1 まえがき

第4章では人工リーフの法線に対し波が直角入射する条件において構造物による養浜砂流出防止効果を調べた。一方、第2章で述べたように、東播海岸では波の入射方向が季節的に変化するので、直角入射の条件で養浜砂の流出防止効果がいかに高くても、波が斜め入射する条件で養浜砂が流出してしまえば、全体としては土砂損失が生ずる。そのため養浜区間に波が斜め入射する条件においても同様な検討が必要となる。

最近、宇多・坂野(1989)は、突堤間に挟まれた海浜において波向が周期的に変化する場合の海浜地形変化を調べた。本実験では単一方向より波を入射させているので条件に多少違いはあるが、これと同様な手法により突堤間の海浜変形状況を調べた。実験結果によれば人工リーフを設置した場合の海浜変形は、人工リーフなしの場合の海浜変形と根本的に異なり、前浜付近の土砂の沖合流出が防止されることが明らかとなった。

5.2 実験方法

実験には第4章で用いたと同じ平面水槽を用いた。実験では波が斜め入射する条件において、人工リーフの養浜砂流出防止効果を検討した。このため図-5.1に示すように、人工リーフの法線と反時

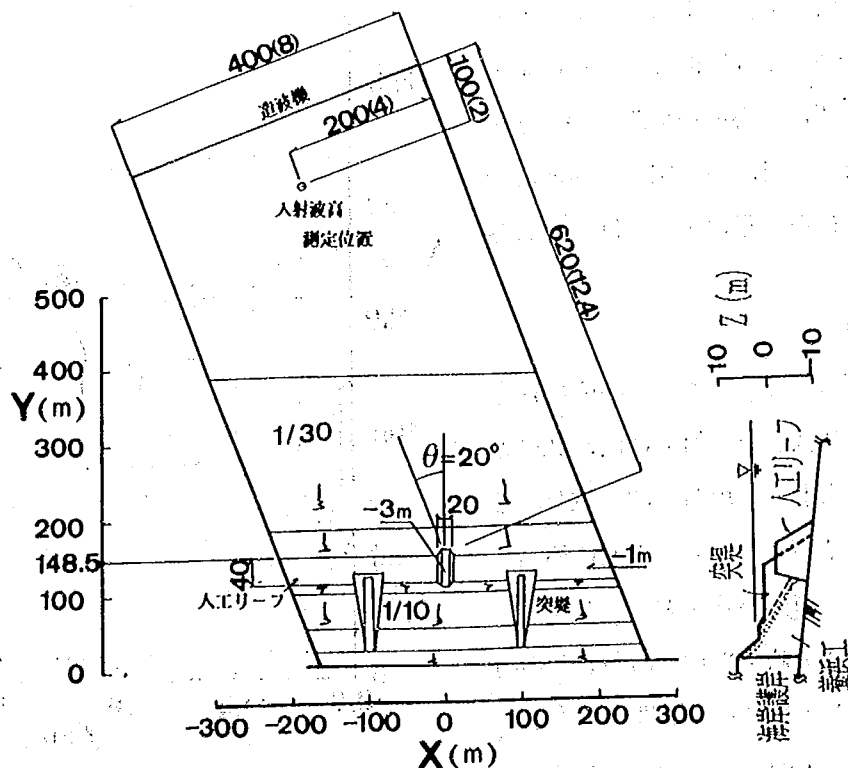


図-5.1 移動床平面実験(斜め入射)の装置

計回りに 20° をなす方向から波が入射するよう造波機を設置した。ここに、波の入射方向を 20° とした理由は次のようである。まず、松江地区での汀線変化（図-2.5）を参照すると、No1 突堤のつけ根における汀線変動の振幅は約 10 m、また侵食、堆積を生じない中立点は $x \approx 70$ m にある。いま汀線が波の入射方向にほぼ直角になる性質を利用すれば、図-2.5 の 2 時期の汀線のなす角は入射角の変動値に等しくなる。したがって入射角は $\theta \approx 8^\circ$ となる。実験対象の垂水地区では海底が急深であるから、入射角の変動は更に大きくなる。そこで一応 $\theta \approx 20^\circ$ とおくこととした。この値はやや過大である可能性もあるが、より安全側の解を求める意味でこの値を採用した。そのほか人工リーフや突堤の配置、海浜断面形は第 4 章の場合と同様である。ただし、人工リーフの諸元として開口幅は 20 m、開口部天端高は -3 m とした。なお、ここでも水位の基準は T.P.0 m にとり、実験結果は現地スケールで表示する。模型値に換算するには長さを 1/50 倍すれば良い。

実験は表-5.1 に示すように 4 ケースから成り、人工リーフを設置する場合としない場合について、低潮位と高潮位の条件で波、流れ、地形変化を調べた。ここに、潮位変化と同時に作用波浪も変化させている。

測定項目は海浜形状、波高・平均水位分布、波峰線形、海浜流の流況であって、海浜地形は実験開始と造波開始 3 時間後に、他の測定項目は全て 3 時間後の海浜地形測定の実施後直ちに測定した。また、波峰線形や海浜流の流況測定の方法は第 4 章の場合と同一である。

5.3 実験結果

(1) ケース①（人工リーフなし、潮位 0.6 m）

2 本の突堤に挟まれた海浜に波が 20° の方向より斜め入射する場合の波、流れ、地形変化の実験結果について以下順に述べる。

最初に、初期海浜形状を図-5.2 に示す。初期の等深線は x 軸に平行である。この海浜地形に対し波を斜めに 3 時間入射させた時の波峰線形の平面分布を図-5.3 に示す。波は海岸線の法線に関し反時計周りの方向

表-5.1 各ケースの実験条件

ケース	人工リーフの有無	潮位 (T.P.m)	波高 H_0 (m)	周期 T(s)
①	無	0.6	2	6
②	有	0.6	2	6
③	無	2.8	4.6	8
④	有	2.8	4.6	8

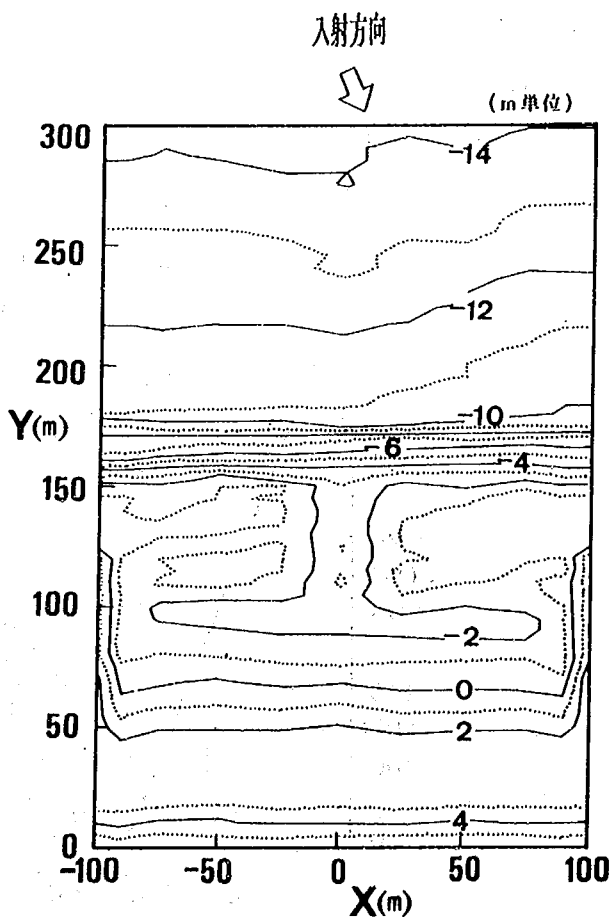


図-5.2 深浅図（人工リーフ無、潮位 0.6 m
：ケース①、初期地形）

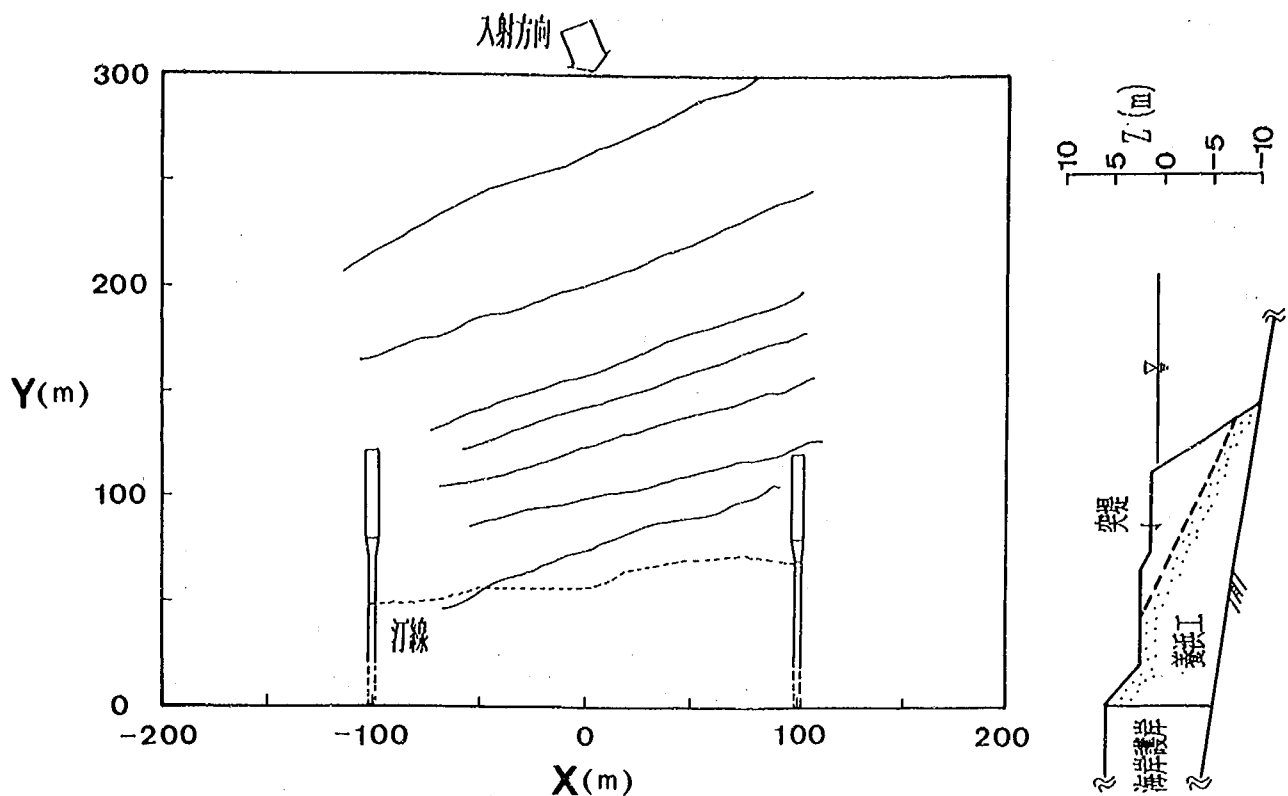


図-5.3 波峰線形 (人工リーフ無, 潮位 0.6 m, ケース①, 造波開始 3 時間後)

より海浜に入射し, あまり屈折せずに汀線に達している。この場合の波高と平均水位の岸沖方向分布は図-5.4 のようである。どの測線においても波高変化はなだらかである。一方, 波が斜め入射したために, 突堤の遮蔽域内に位置する $x = -75$ m 測線での水位上昇量はわずかであるが, 右側に位置する測線ほど水位上昇量が増大する。波作用後 6 時間における海浜流の平面流況を図-5.5 に示す。海浜流の流速はそれほど大きくはないが, 左側の突堤に沿う向岸流と, 左端から中央へ向かう沿岸流, および突堤間のほぼ中央よりやや右手方向を向いた離岸流が生じていることが見てとれる。

波作用後 3 時間における海浜形状を図

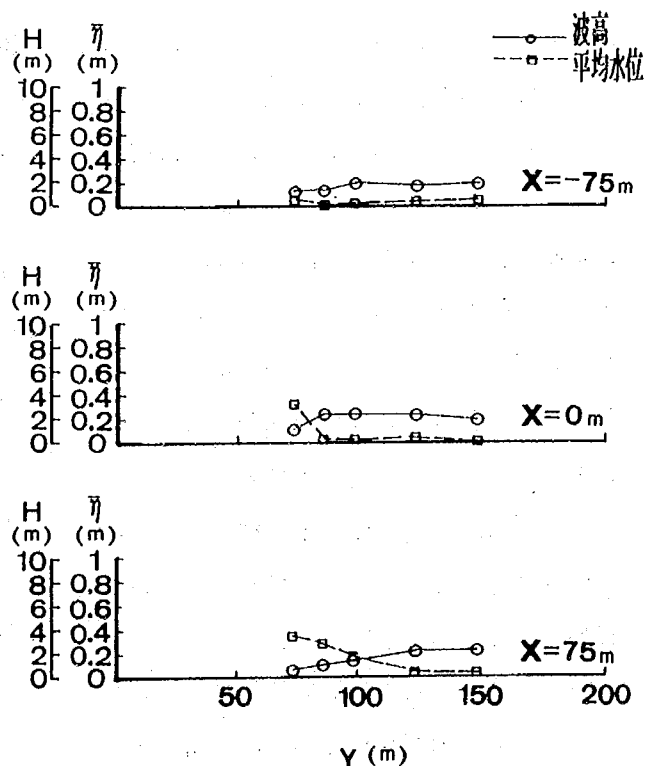


図-5.4 波高と平均水位の岸沖分布 (人工リーフ無, 潮位 0.6 m: ケース①, 造波開始 3 時間後)

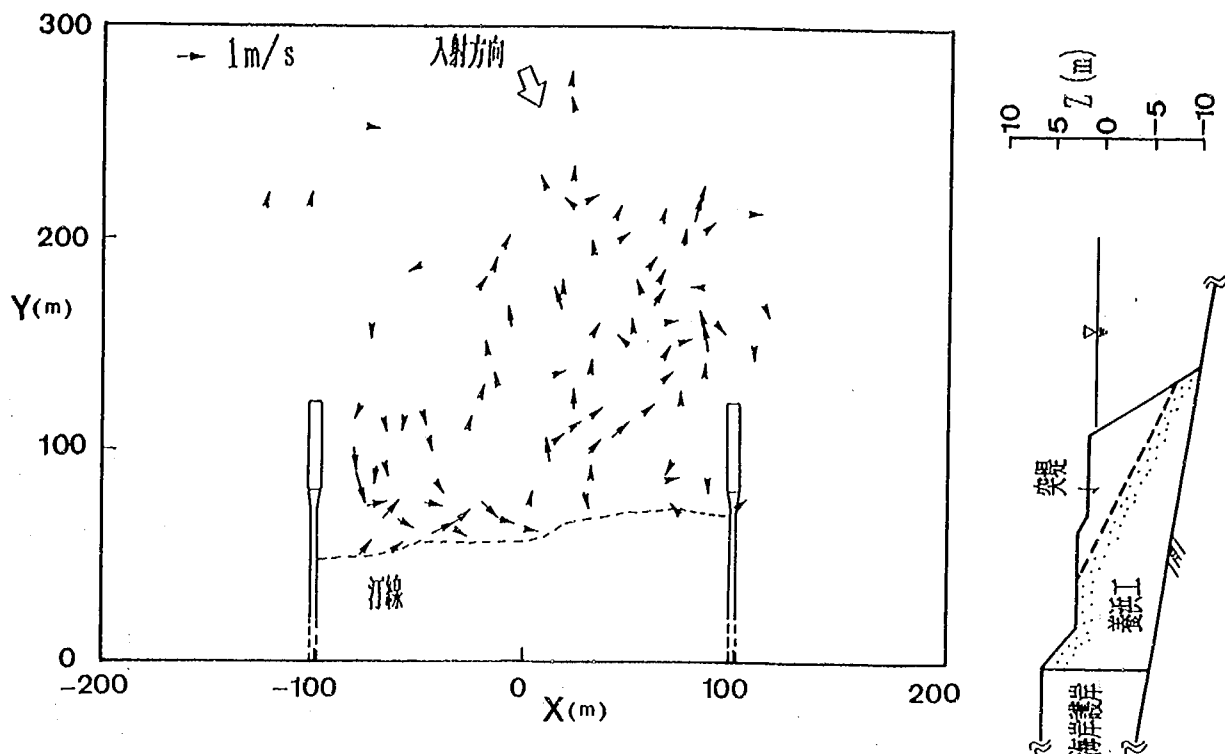


図- 5.5 海浜流の流況(人工リーフ無, 潮位 0.6 m : ケース①, 造波開始 3 時間後)

図- 5.6 に示す。初期海浜形状は図- 5.2 に示したように、等深線はいずれも x 軸と平行であった。したがって、図- 5.6 によると、突堤間の中央より左側では 1 m ~ -3 m までの間の等深線が後退し、右側では前進したことが理解できる。この結果、中央より左側では汀線付近の勾配が急に、また右側では勾配が緩やかになった。さらに、中央より左側の区域では侵食が進んだことにより -3 m 付近に緩勾配斜面が形成された。以上の地形変化に、絶対値に多少の違いはあるものの、東播海岸の松江地区で見られた地形変化とかなり良い一致を示している(図- 2.6, 2.7 参照)。

図- 5.2 に示した初期形状を基準として 3 時間までの地形変化量の平面分布をまとめると図- 5.7 となる。突堤間の中央より左側の区域では侵食が、また右側の区域で

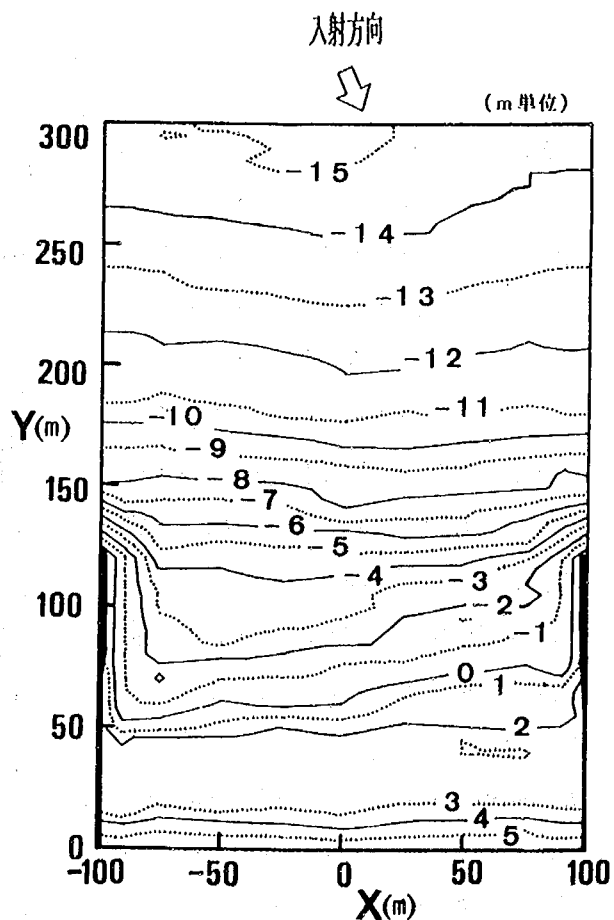


図- 5.6 深浅図(人工リーフ無, 潮位 0.6 m : ケース①, 造波開始 3 時間後)

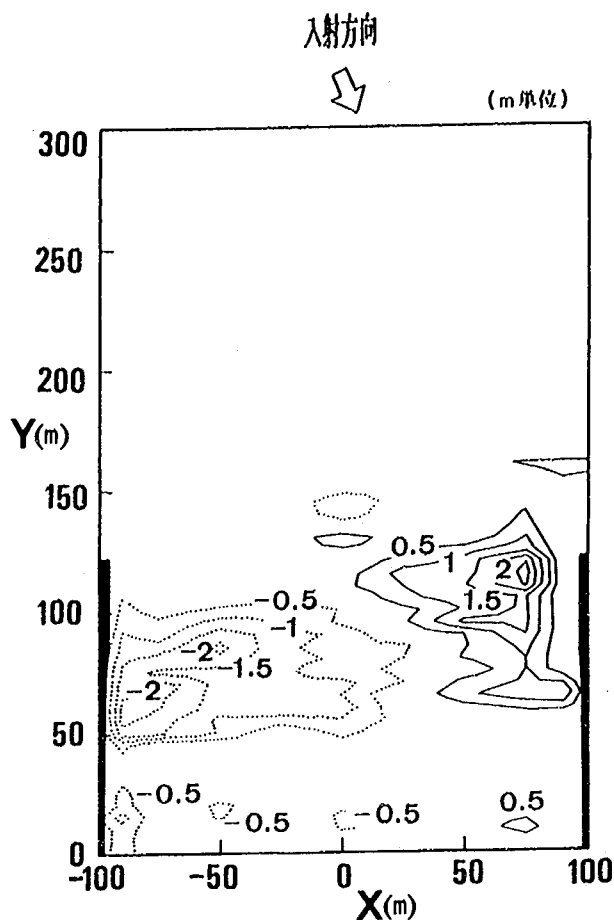


図-5.7 地形変化量の平面分布(人工リーフ無, 潮位 0.6 m : ケース①)

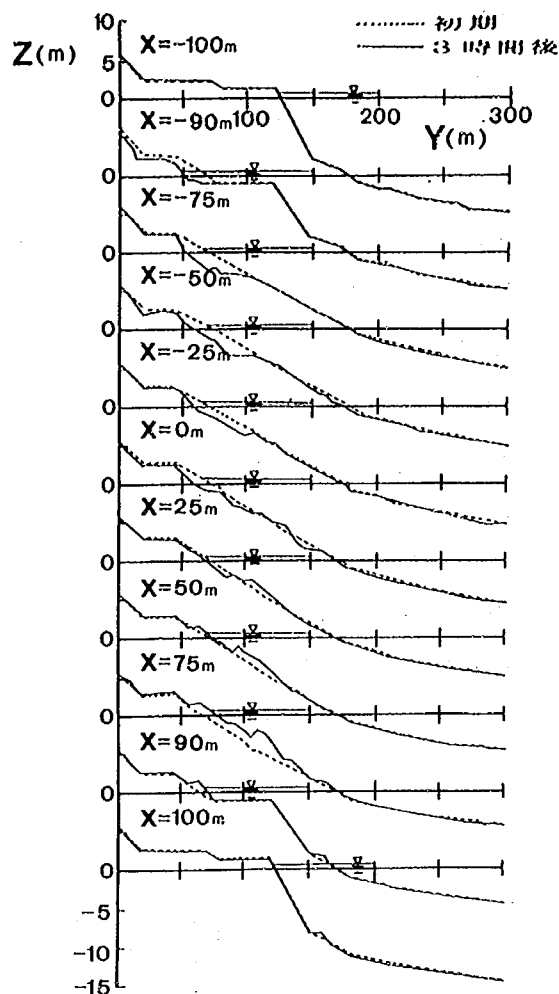


図-5.8 海浜断面形状の変化(人工リーフ無, 潮位 0.6 m : ケース①)

は堆積が生じたが、侵食の最も激しい位置は比較的汀線近くにあるのに対し、堆積の最も著しい区域は右側の突堤先端付近にある。これは突堤間の養浜砂が右側の突堤に沿って沖へ流出したことを意味する。

海浜断面形の変化に関しては、図-5.8を参照すると、 $x = -75\text{ m}$ 断面では -3 m 以浅で平坦面が形成されつつ侵食が進み、逆に $x = 75\text{ m}$ 断面では主として海面下で著しく堆積し、堆積域の先端は -7.5 m にまで及んだ。このように、人工リーフを設置せずに突堤間に養浜した場合、波が斜め入射したとき前浜付近の土砂は沿岸方向に移動しつつ沖方向へと流出してしまうことが分かる。

(2) ケース② (人工リーフ有, 潮位 0.6 m)

ケース①では人工リーフを設置しない場合の実験結果について述べた。ここでは開口部を有する人工リーフを設置した時の実験結果について明らかにする。ここに、使用した人工リーフの諸元としては、天端高が -1 m 、開口幅が 20 m 、開口部天端高が -3 m である。第4章での議論によれば、養浜砂を安定化させる上で最も有効と考えられたのは、ケース③(開口幅 40 m 、開口部天端高 -3 m)の人工リーフであった。ここで取り上げた人工リーフは開口部天端高は -3 m と等しいが、開

口幅は 20 m の場合である。実際には開口幅 40 m のケースについて実験を行うことが望ましいが、実験中にはケース②（開口幅 20 m）とケース③（開口幅 40 m）のいずれが望ましい形態であるか判断できず、実験終了後結果的にケース③の方が望ましいことが判明した。このことからここではケース②の人工リーフの実験結果について述べる。しかし、後述するように、人工リーフを設置することの効果は設置しない場合に対し非常に大きいから、開口部が変化してもそれほど特性が大きく変化するとは考えられない。このことから開口幅 20 m であっても人工リーフを設置した効果を明らかにしようとえられる。

最初に、初期海岸形状を図-5.9に、また造波開始3時間後の波峰線の平面形状を図-5.10に示す。人工リーフがあるためにリーフ上での波の屈折が著しい。しかし、開口部では波の屈折割合が小さいために波峰線の屈曲は局所的である。対応する波高と平均水位の分布は図-5.11のようである。3測線ともリーフ内では波高は大きく低下し、場所的变化も小さい。一方、平均水位の上昇量に関しては突堤により波が遮蔽される $x = -75$ m 測線ではやや小さく、逆に $x = 75$ m 測線では大きくなっている。この特性はケース①の場合と同様である。更に、平均水位は、リーフ内の全域で上昇しており、その絶対値もケース①に比べて大きい。これはリーフが存在し、開口幅が狭いた

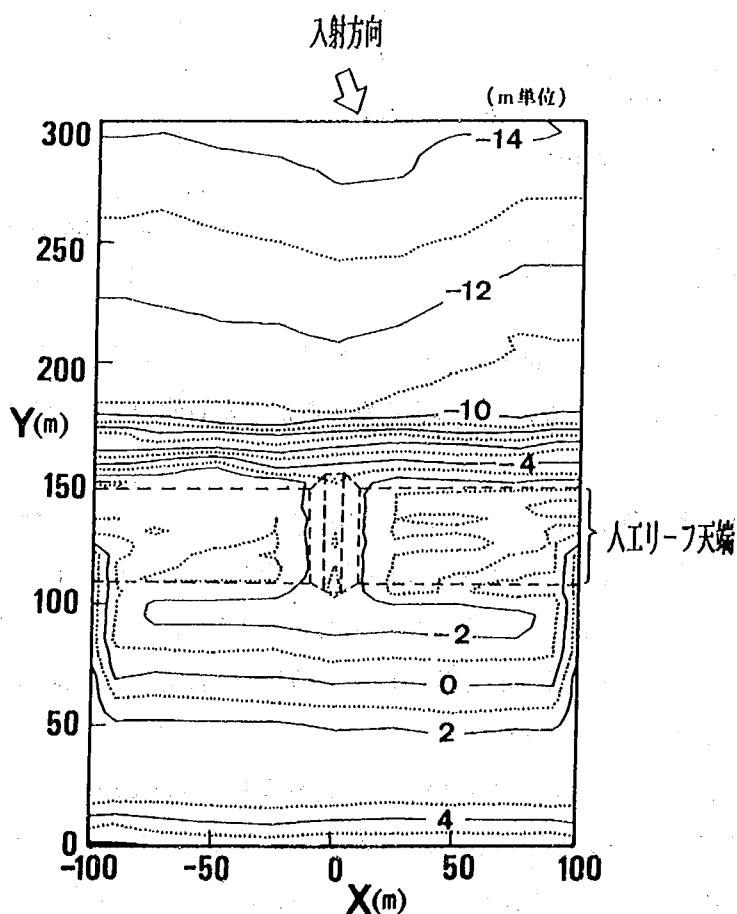


図-5.9 深浅図（人工リーフ有、潮位 0.6 m：ケース②，初期地形）

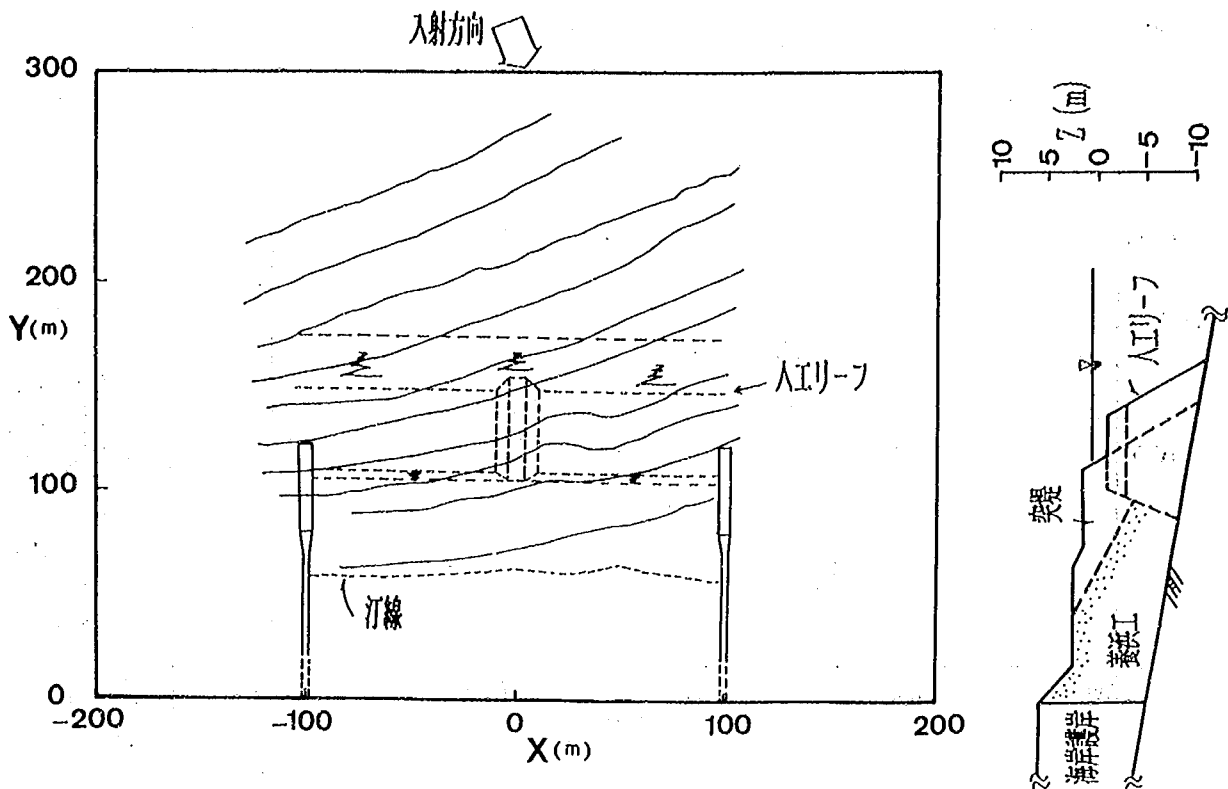


図-5.10 波峰線形（人工リーフ有，潮位 0.6 m：ケース②
造波開始 3 時間後）

め岸側へ輸送された質量が沖へ戻れなかったためである。

海浜流の流況を図-5.12に示す。波が斜め入射するために、リーフ上で右手方向を向いた沿岸流が良く発達している。また人工リーフ中央と右側の突堤の間の沖合部ではケース①の場合と同様、斜め沖方向を向いた離岸流が発達した。

波を作用してから 3 時間後の海浜形状を図-5.13に示す。突堤および人工リーフに挟まれた区間の等深線は x 軸と平行であり、ほぼ初期形状を保っている（図-5.9参照）。ケース①の場合（図-5.6），突堤間で著しい地形変化が生じたのに対し，ケース②の場合の地形変化はごくわずかである。これは沖合にある人工リーフの消波効果によるものである。初期形

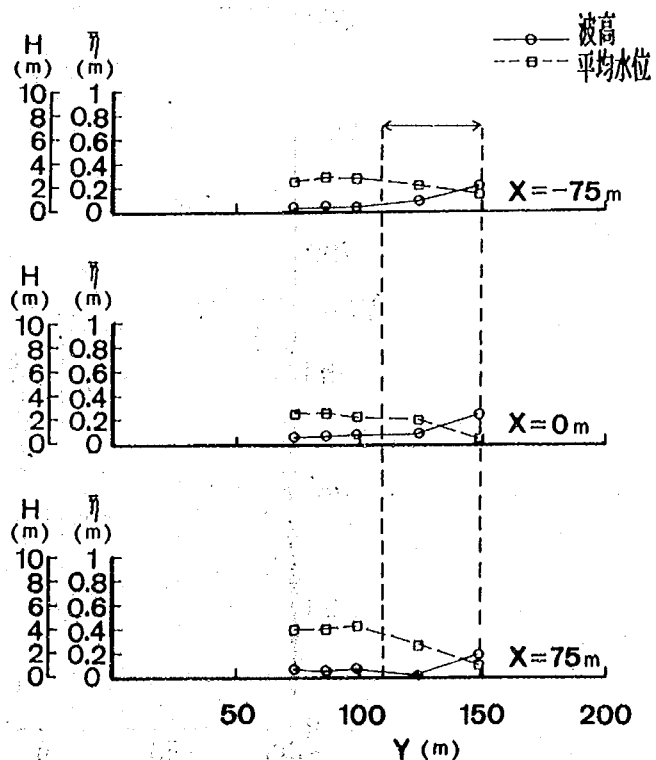


図-5.11 波高と平均水位の岸沖分布（人工リーフ有，潮位 0.6 m：ケース②，造波開始 3 時間後）

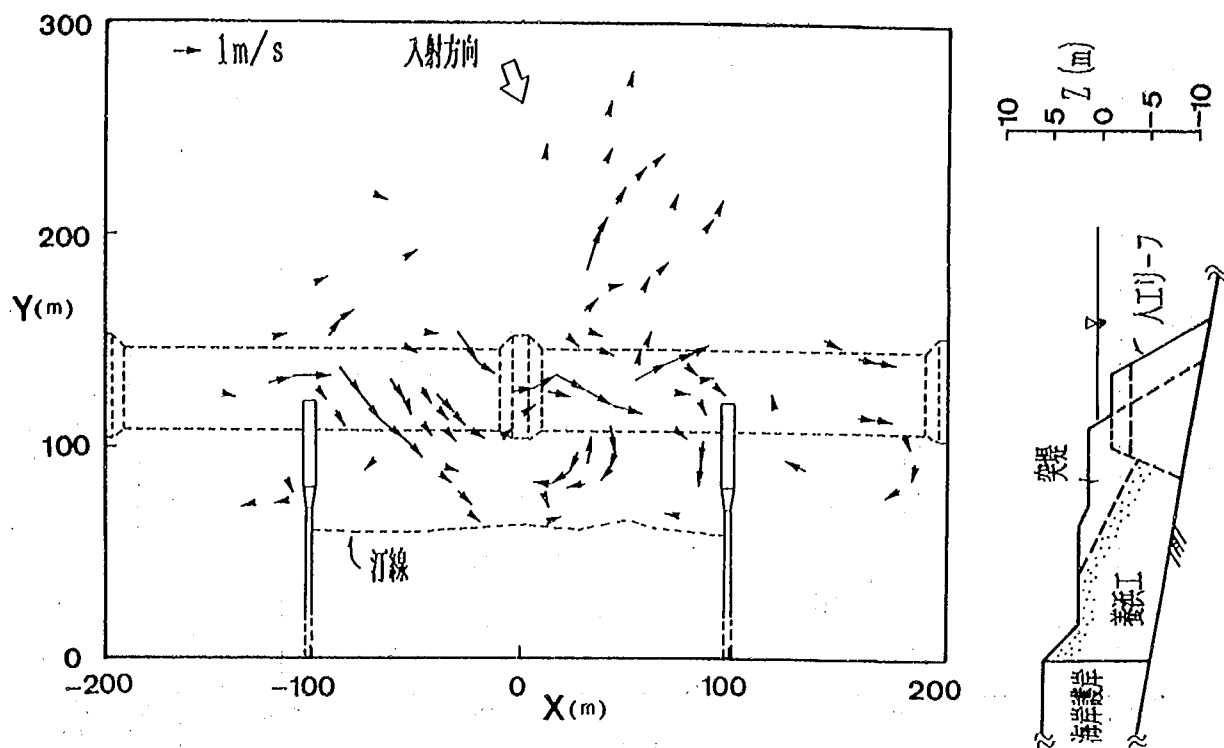


図-5.12 海浜流の流況（人工リーフ有，潮位 0.6 m：ケース②，造波開始 3 時間後）

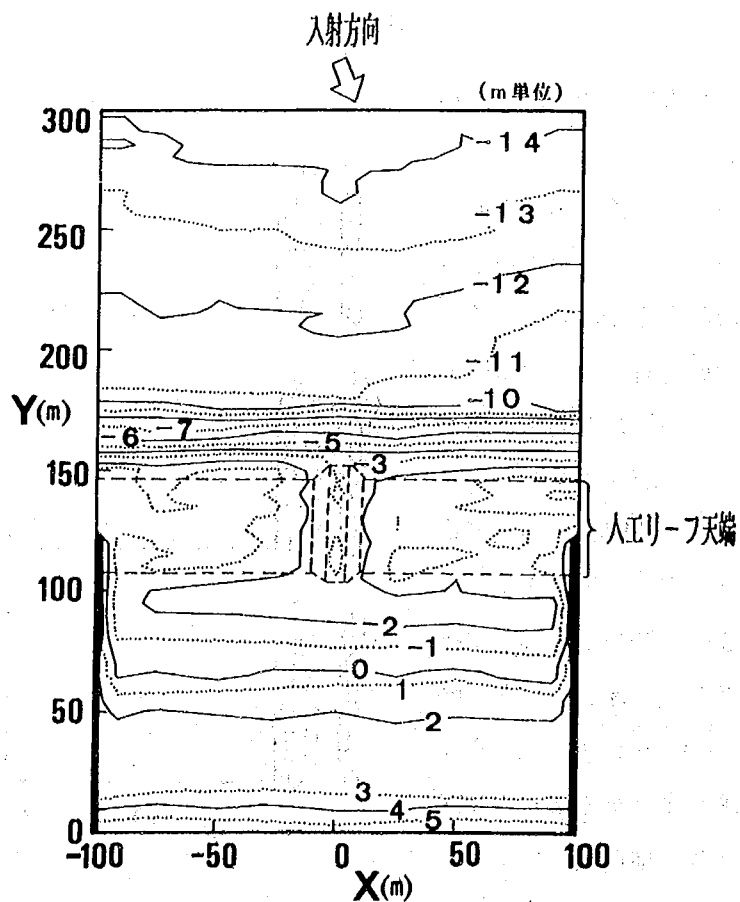


図-5.13 深浅図（人工リーフ有，潮位 0.6 m：ケース②，造波開始 3 時間後）

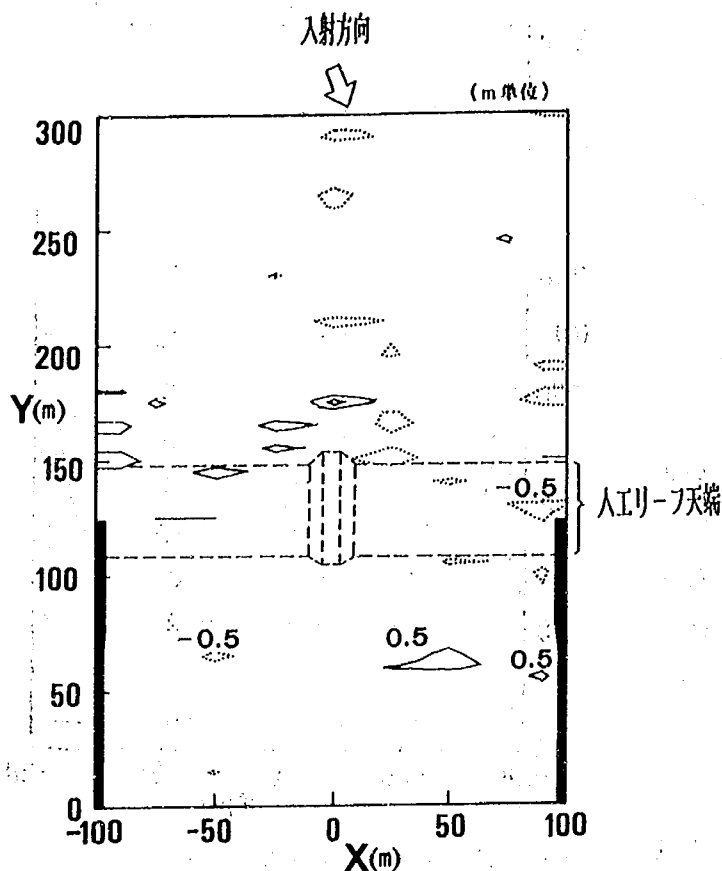


図-5.14 地形変化量の平面分布(人工リーフ有, 潮位 0.6 m: ケース②)

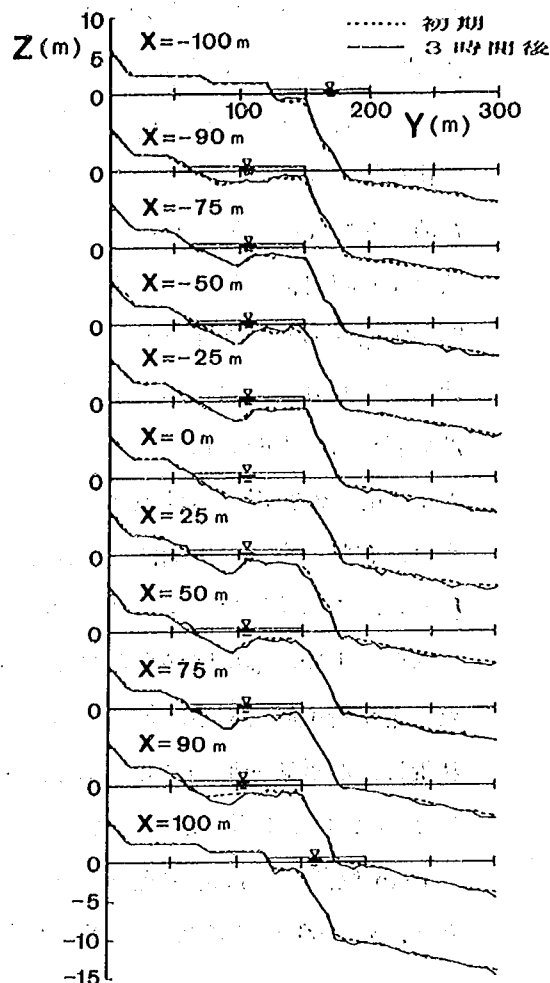


図-5.15 海浜断面形状の変化(人工リーフ有, 潮位 0.6 m: ケース②)

状を基準とした時の3時間後までの地形変化量の平面分布(図-5.14)によっても人工リーフより岸側での地形変化量は非常に小さく, ケース①の場合(図-5.7)と比較するとそれらの差は明瞭である。海浜変形が小さかったことは海浜断面形の比較図(図-5.15)によっても理解される。

人工リーフの岸側ではほとんど海浜変形は生じておらず, 海浜は安定していたことが分かる。

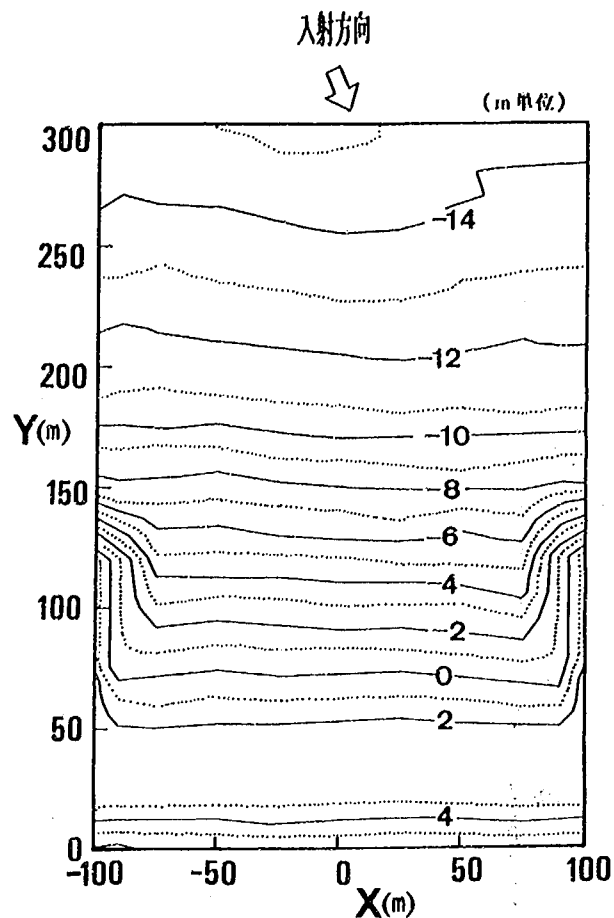
(3) ケース③(人工リーフ無, 潮位 2.8 m)

ケース①, ②の場合と同様の手法で検討を進めた。ケース③はケース①と比較して, 構造物等の条件は同一であるが, 潮位が 2.8 m とケース①よりも 2.2 m 高い条件である。最初に初期海浜形状を図-5.16 に, また造波開始3時間後の波峰線の平面形状を図-5.17 に示す。汀線に対し波は斜めに入射している。代表3測線に沿う波高と平均水位の分布を図-5.18 に示す。水深が増大したために砕波点も岸側へ移動している。砕波に伴う水位上昇量は, ケース①, ②と同様, $x = -75$ m 測線に対して $x = 75$ m 測線の方がはるかに大きい。これは波が斜め入射したためである。

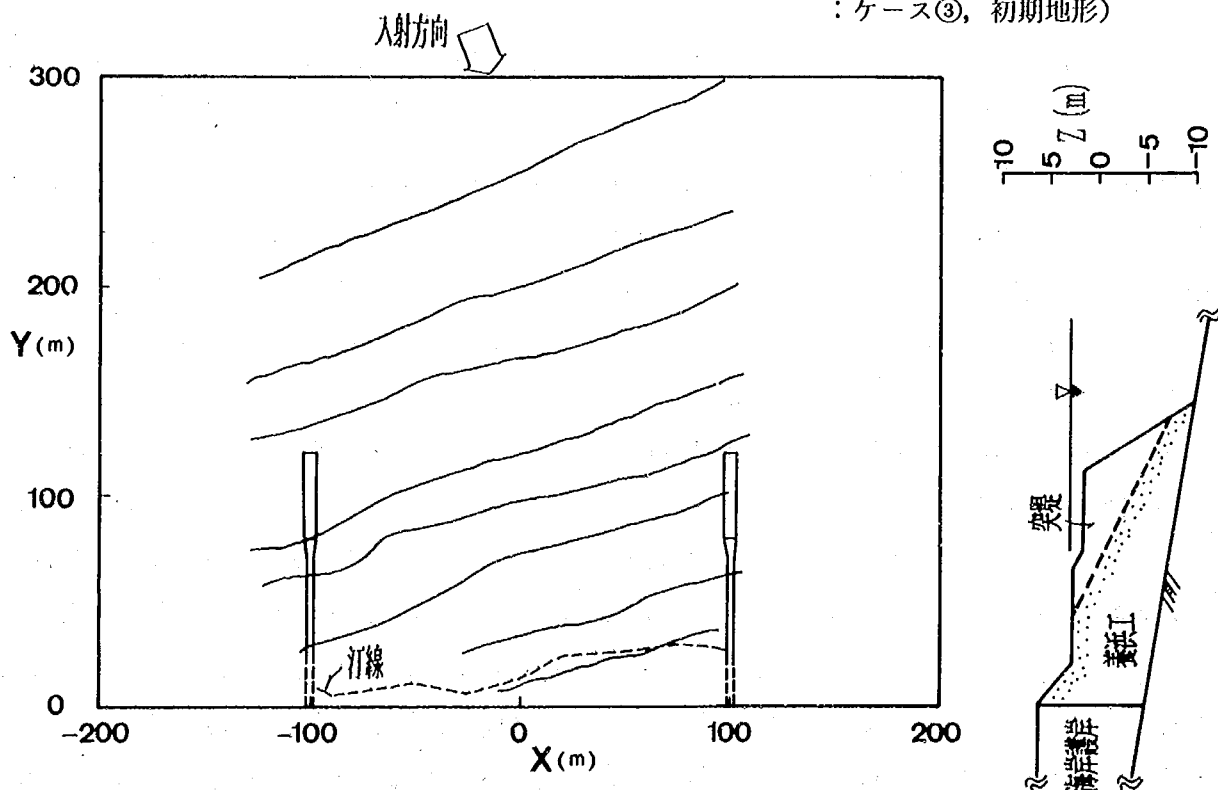
海浜流の流況を図-5.19 に示す。突堤間の中央部より斜め下手方向へと強い離岸流が発生した。また突堤を横切って下手方向へと流れる沿岸流も見られる。海浜流流速の絶対値はケース①よりも

大きいが、流れの全体的傾向はケース①の場合（図－5.5）とほぼ同様である。

次に、波を作用させてから3時間後の海岸形状を図－5.20に示す。波が斜め入射したために突堤間の中央を通る軸に関して海岸形状が左右非対称となった。特に2～4 mの間の等深線の非対称性が著しい。この海岸形状と図－5.16に示した初期地形との差より地形変化量の平面分布が算出される（図－5.21）。左側の突堤のつけ根部分が大きく侵食され、右側の突堤の先端沖で大きく土砂が堆積した。この状況は、ケース①の結果と似ているが、土砂の堆積区域がかなり沖合となったことが特徴的である。沖合への土砂の流出状況は、海岸断面形の変化を示した図－5.22によってさらに明らかになる。例えば $x = -75$ m 位置では汀線付近が大きく侵食されたが、 $x = 90$ m 位置では突堤の沖合に大量



図－5.16 深浅図（人工リーフ無，潮位 2.8 m
：ケース③，初期地形）



図－5.17 波峰線形（人工リーフ無，潮位 2.8 m：ケース③，造波開始 3 時間後）

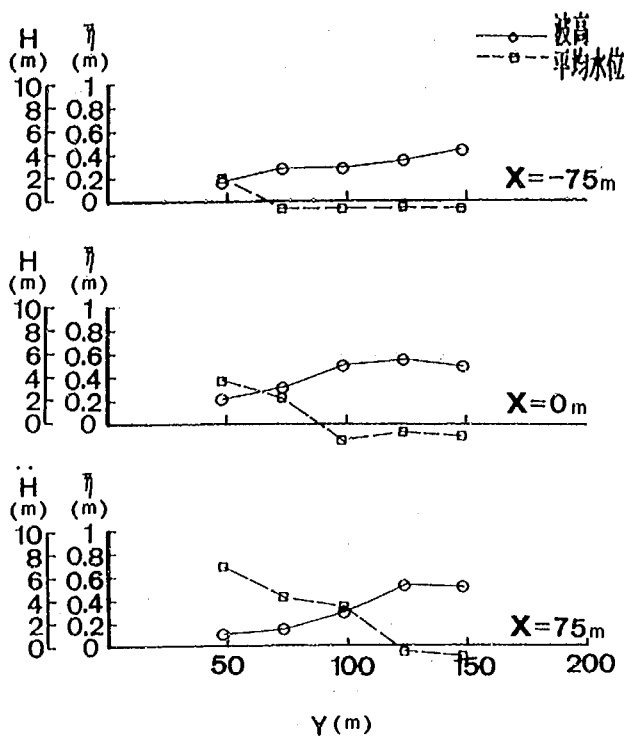


図-5.18 波高と平均水位の岸沖分布
(人工リーフ無, 潮位 2.8m; ケース③, 造波開始 3 時間後)

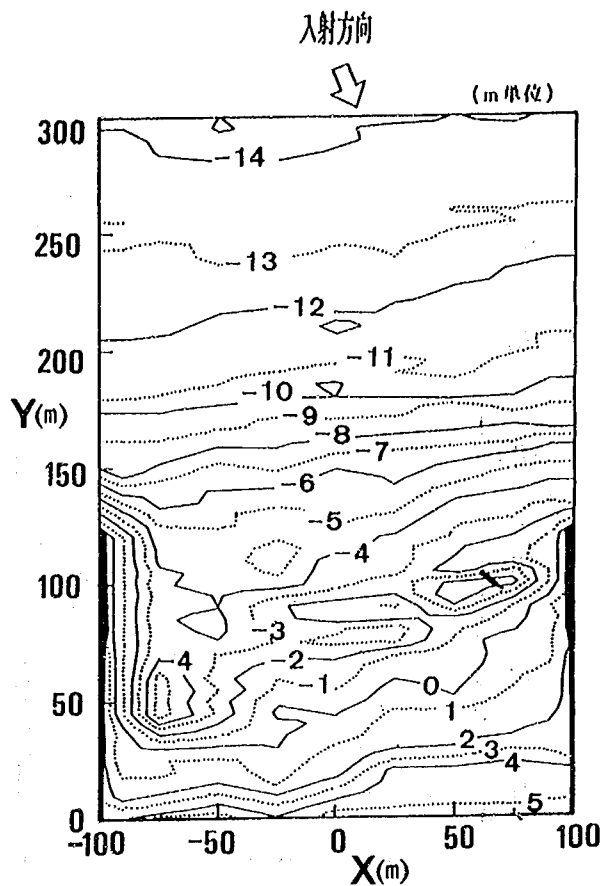


図-5.20 深浅図(人工リーフ無, 潮位 2.8m
: ケース③, 造波開始 3 時間後)

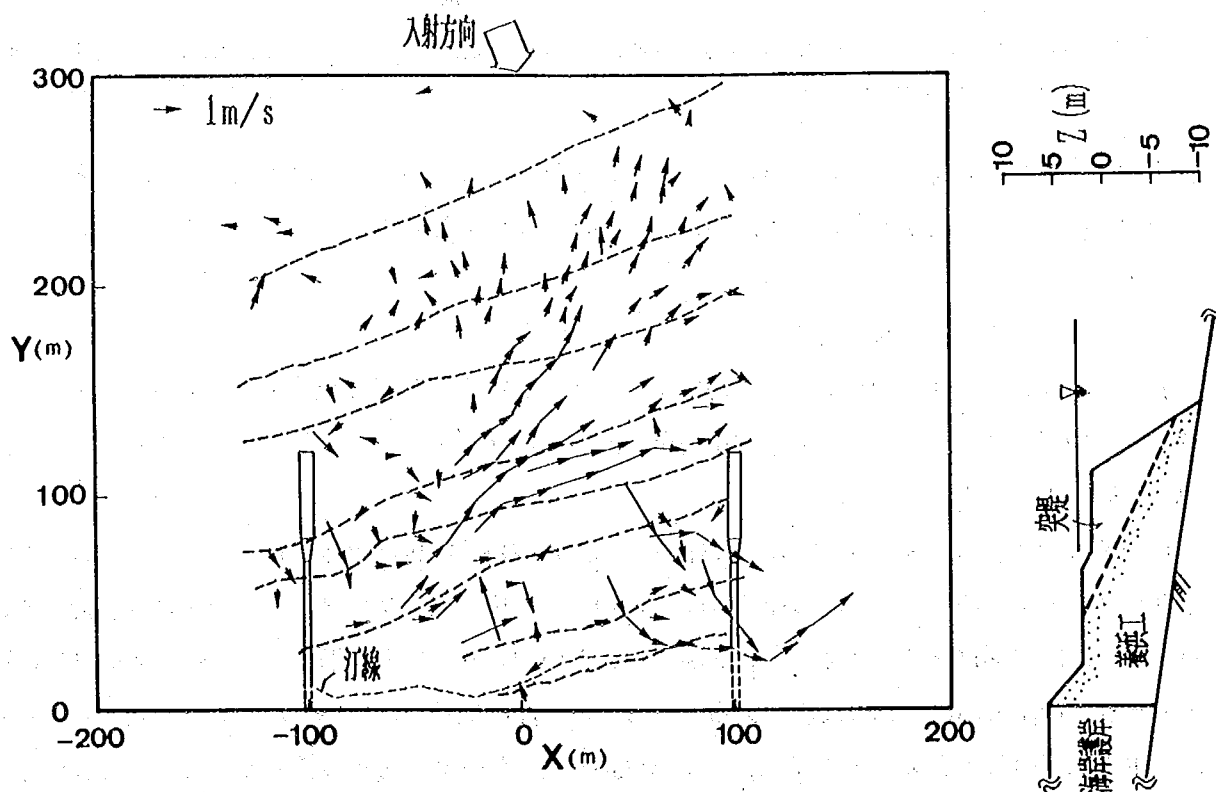


図-5.19 海浜流の流況(人工リーフ無, 潮位 2.8m; ケース③, 造波開始 3 時間後)

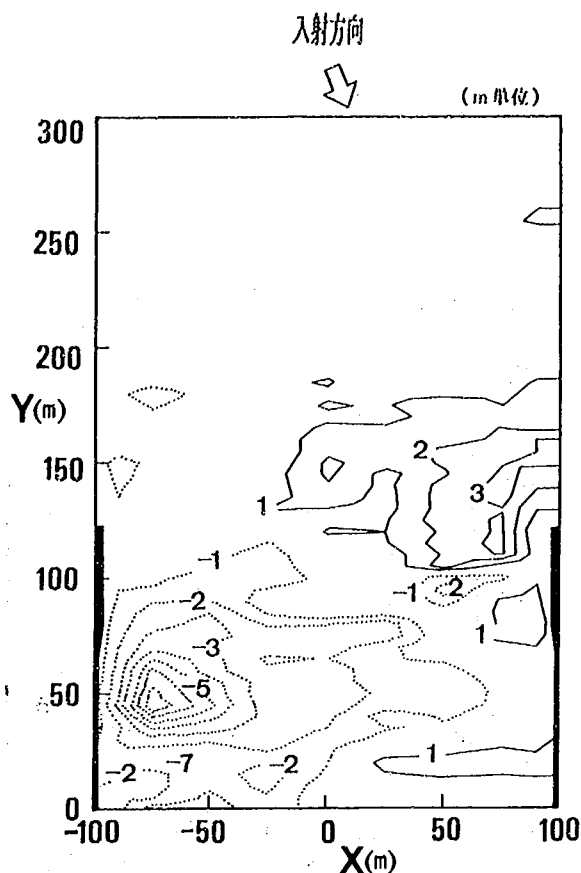


図-5.21 地形変化量の平面分布(人工リーフ無, 潮位 2.8 m: ケース③)

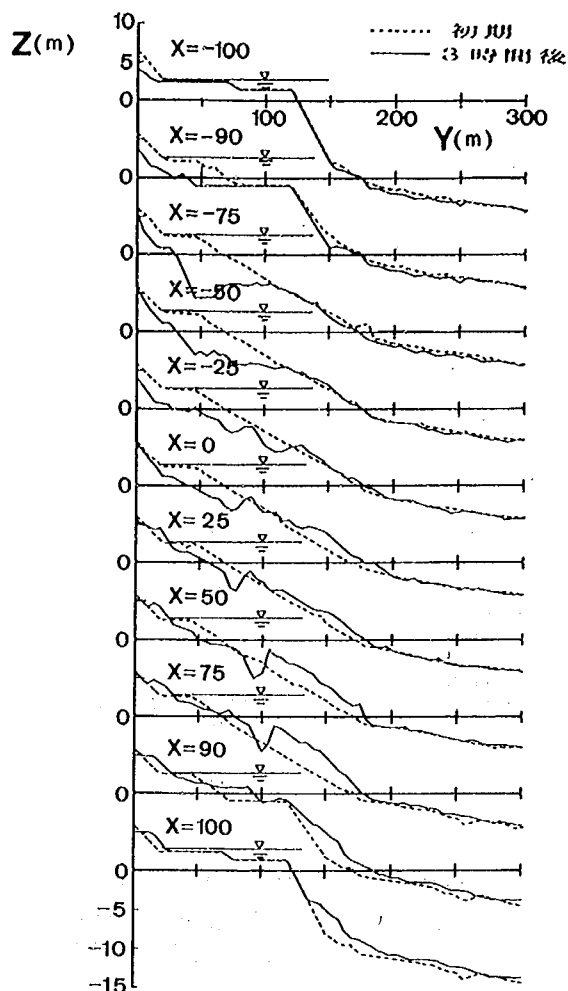


図-5.22 海浜断面形状の変化(人工リーフ無, 潮位 2.8 m: ケース③)

の土砂が堆積している。以上のように、突堤間に養浜を行ったのみでは計画潮位 (T.P. 2.8 m) 時において波が斜め入射する条件で養浜砂の多くの部分が斜め沖向きに流出してしまうことが明らかである。

(4) ケース④ (人工リーフ有, 潮位 2.8 m)

人工リーフ有の条件で潮位が低い場合はケース②として、また同じ潮位条件であるが人工リーフ無の条件の場合はケース③としてすでに結果を述べた。ケース④は人工リーフを設置した条件で潮位が 2.8 m と高い場合である。

最初に、初期形状を図-5.23 に、造波開始 3 時間後の波峰線の平面分布を図-5.24 に示す。人工リーフがあるためにケース②の場合 (図-5.10) と同様、人工リーフ上で波がかなり屈折している。また、開口部付近では波峰線の屈曲割合が大きい、リーフを通過するとすぐに屈曲割合は小さくなり、沿岸方向に単調な波峰線分布となる。この波峰線分布に対応する代表 3 測線における波高と平均水位の分布を図-5.25 に示す。波高はリーフを通過する際に大きく減衰し、これに伴って平均水位は上昇する。しかし、ケース②、③のように、突堤間の中央を境にして左側で水位が低

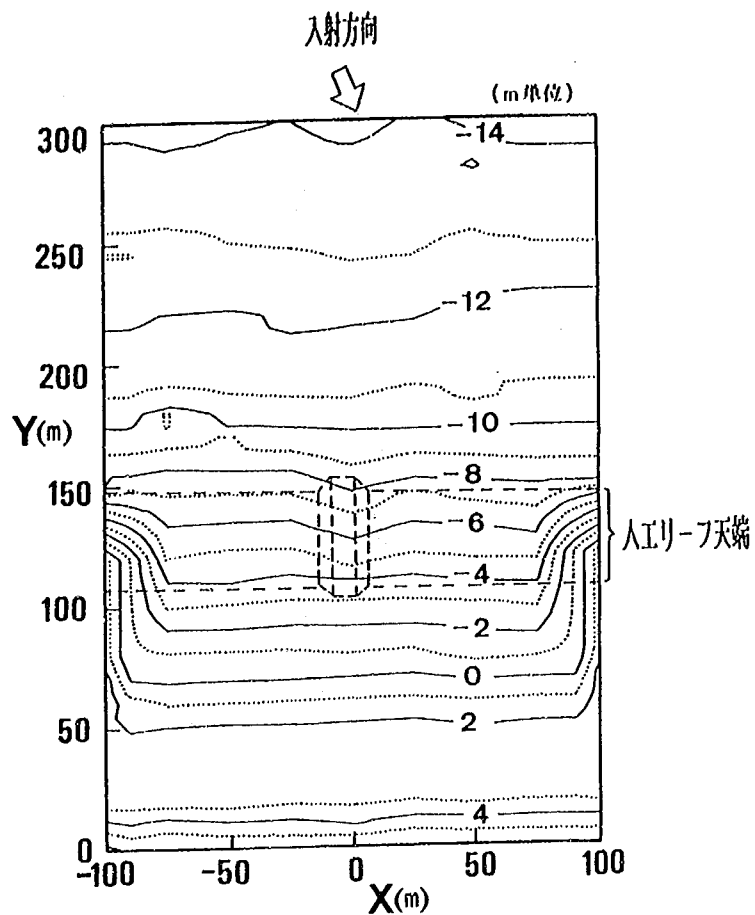


図-5.23 深浅図 (人工リーフ有, 潮位 2.8 m: ケース④, 初期地形)

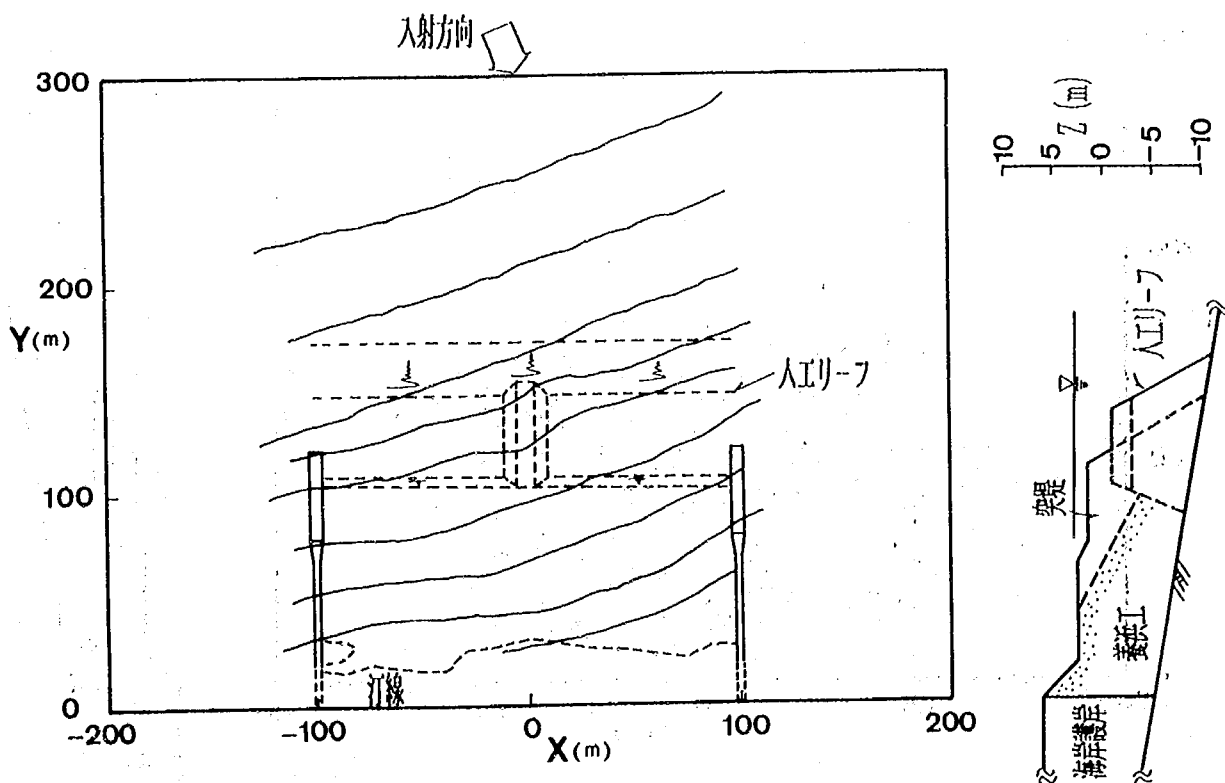


図-5.24 波峰線形 (人工リーフ有, 潮位 2.8 m: ケース④, 造波開始 3 時間後)

く、右側で高いという状況は見られなかった。 $x = -75 \text{ m}$ の場合に測定誤差が入った可能性がある。海浜流の流況を図-5.26に示す。リーフ上で斜め岸向きの流れが生じ、さらにその流れは右向きの強い沿岸流となる。この流れは潮位が高いために完全に水没している突堤を越えて隣の区間へと流出した。また右側の突堤と開口部との間に一部斜め沖向きの離岸流が見られる。同形のリーフを有するケース②の場合(図-5.12)と比較すると、潮位が高くなったためケース④では突堤を越える流れの発達が著しい。また、潮位条件が同じケース③の流況(図-5.19)と比較すると、ケース④ではリーフが存在するために離岸流の発生が弱まった代わりに、沿岸流が強くなったことが分かる。

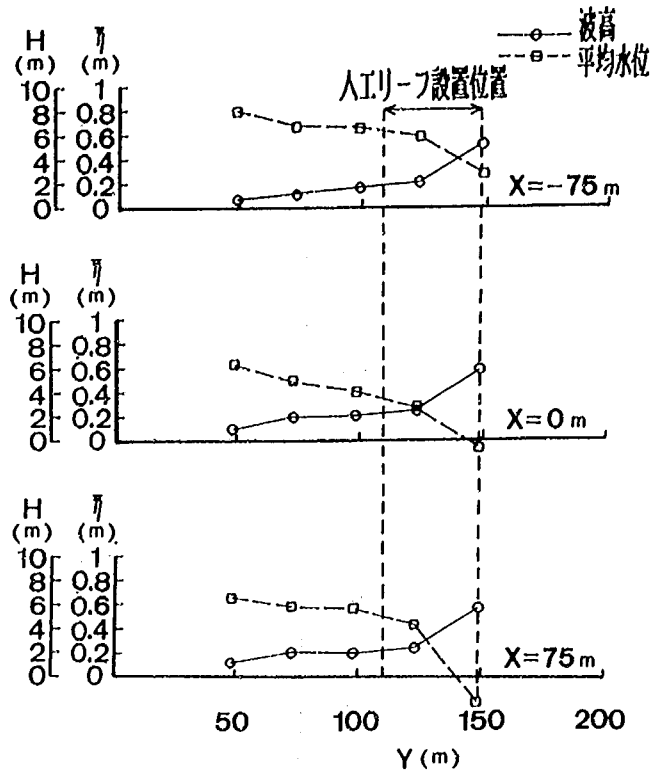


図-5.25 波高と平均水位の岸沖分布(人工リーフ有, 潮位 2.8 m: ケース④, 造波開始 3 時間後)

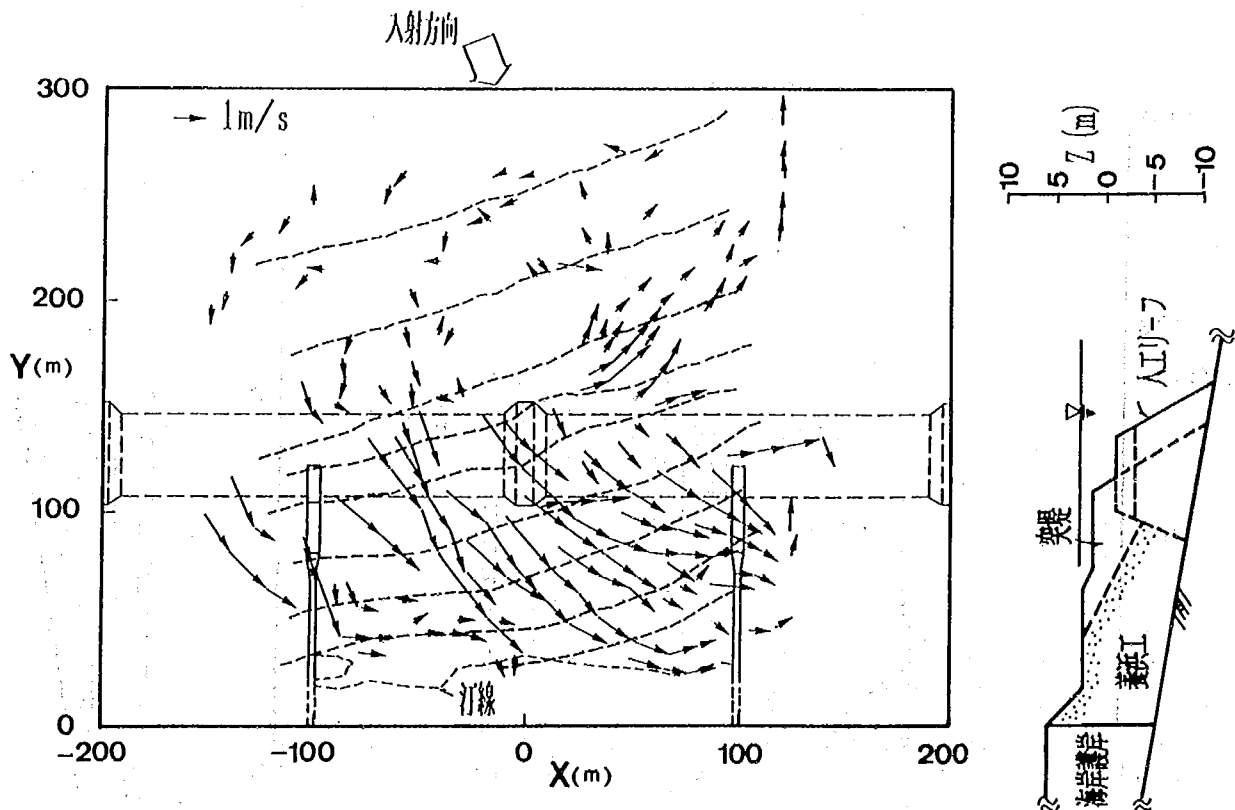


図-5.26 海浜流の流況(人工リーフ有, 潮位 2.8 m: ケース④, 造波開始 3 時間後)

海浜流の流況は上述のように大きく変化した。波作用3時間後の海浜形状(図-5.27)によると、図-5.23に示した初期形状との差違はそれほど大きくない。また、ケース③の同じ時刻の海浜形状(図-5.20)と比較すると、違いは明らかである。結局、人工リーフを設置することによって人工リーフの岸側からの養浜砂の沖への流出を防止する効果が著しく高まることが分かる。ただし、初期から3時間までの地形変化量の平面分布を算出すると(図-5.28参照)、リーフの岸側での地形変化量は小さいが、右側の突堤に沿って堆積区域が広がっている。このような海浜変形は、図-5.26に示したように右向きの強い沿岸流が突堤を越えて流出し、その場合に構造物に沿って土砂が堆積したものと考えられる。海浜断面形の変化(図-5.29)によれば、大部分の測線ではリーフ内の断面形はほぼ初期形状を保っているが、突堤に沿った $x = 90\text{ m}$ 断面では土砂の堆積が見られる。このように、沿岸流は右側へと流出するものの、土砂移動は突堤により阻止されることが分かる。

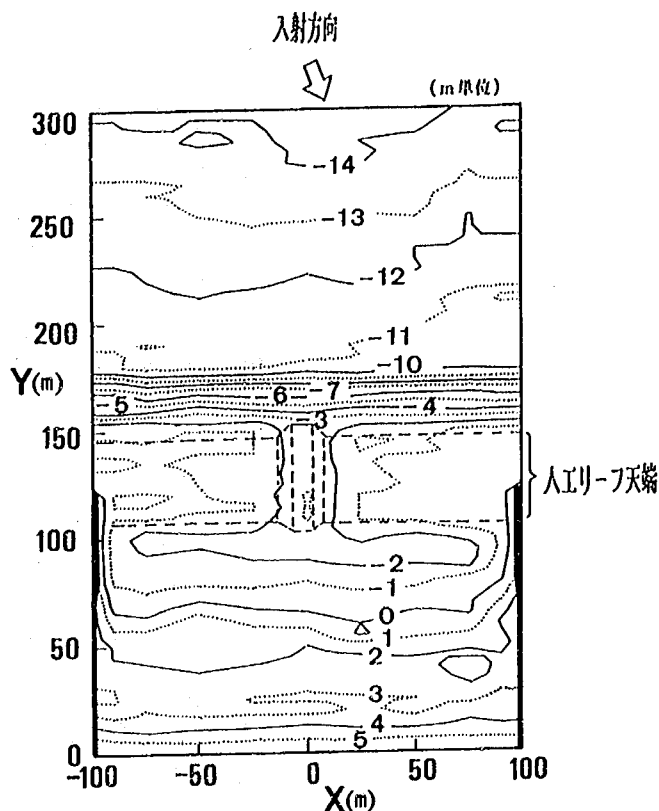


図-5.27 深浅図(人工リーフ有, 潮位 2.8 m
: ケース④, 造波開始3時間後)

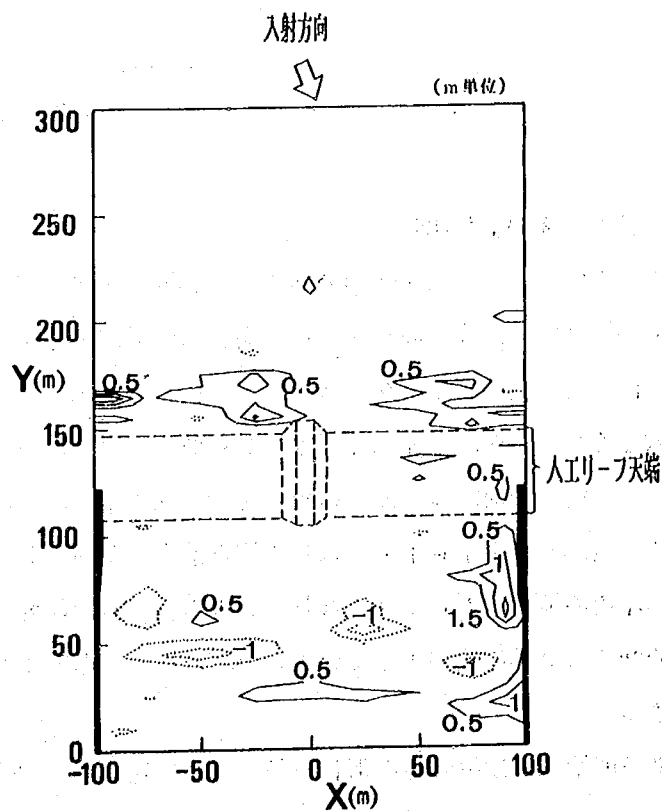


図-5.28 地形変化量の平面分布(人工リーフ有,
潮位 2.8 m: ケース④)

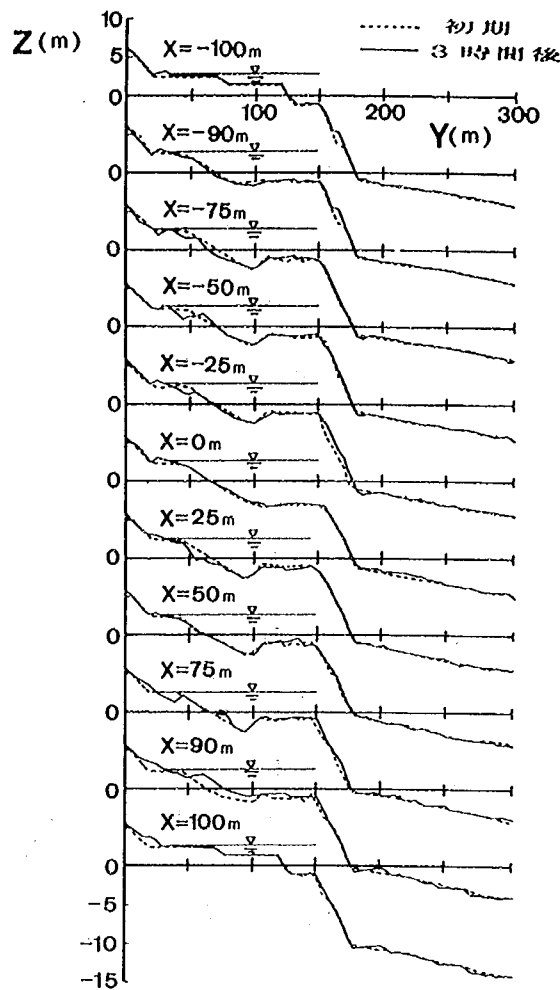


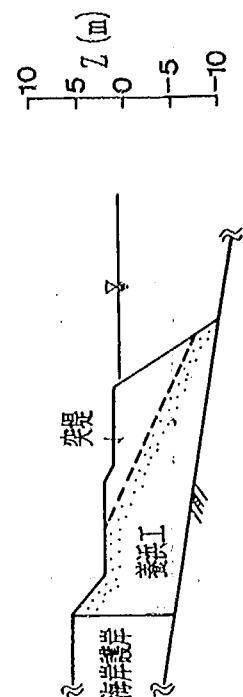
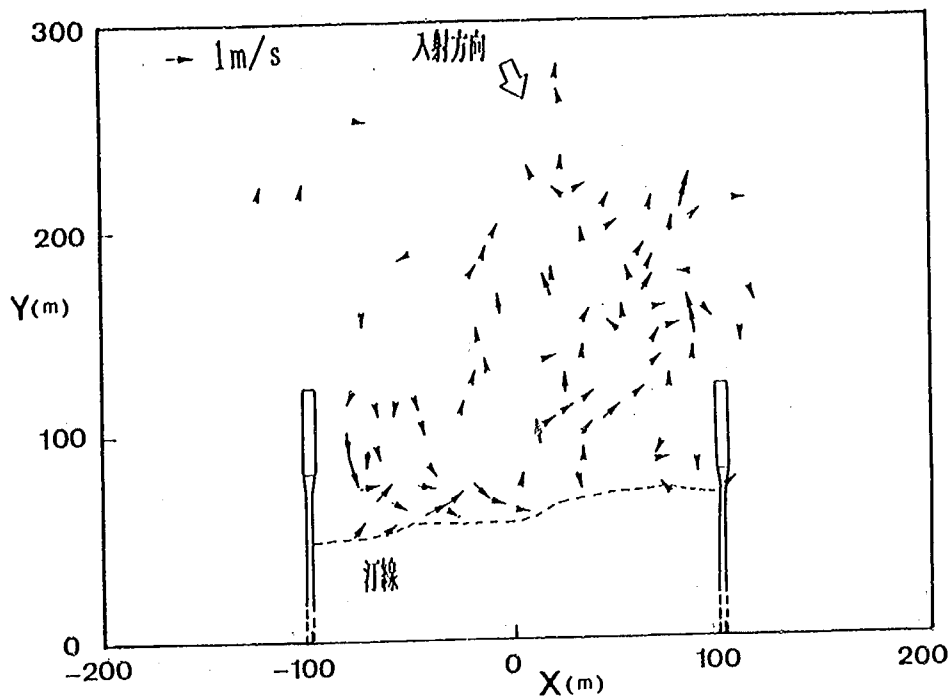
図-5.29 海浜断面形状の変化(人工リーフ有,
潮位 2.8 m: ケース④)

5.4 各ケースの相互比較

ここでは、ケース①～④の海浜流と海浜地形変化の相互比較を試みる。図-5.30には、人工リーフ無の場合で、潮位と波高が異なる場合の海浜流の流況を示した。ただし波の入射方向は同一である。低潮位・低波高の場合(ケース①)と比較して高潮位・高波高の場合(ケース③)では離岸流の流速が大きくなったが、全体的流況はかなり似たものとなった。人工リーフ有で潮位、波高の組み合わせを変えた場合の海浜流の流況の相違を図-5.31に示す。波高が低い場合、人工リーフの上手側では向岸流が発達し、下手側半分では向岸流と離岸流が発生した。高潮位・高波高になると、人工リーフ上の向岸流の流速が著しく速くなり、突堤を越える沿岸流となる。また、どちらのケースとも開口部の斜め沖合には離岸流が生じている。いずれにしても人工リーフの有無により海浜流の流況は大きく変化する。

造波開始3時間後の海浜形状を各ケースで比較する(図-5.32)。人工リーフの存在しないケース①、③では突堤間の汀線が波の入射方向と直角になろうと変形した。すなわち、突堤間の左半分の区域の土砂が侵食され、侵食土砂が右半分の区域に堆積した。これに対し、人工リーフを設置したケー

ケース①



ケース③

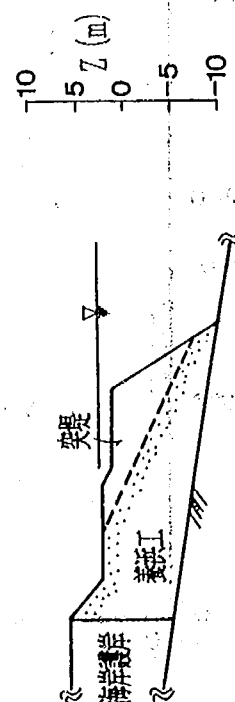
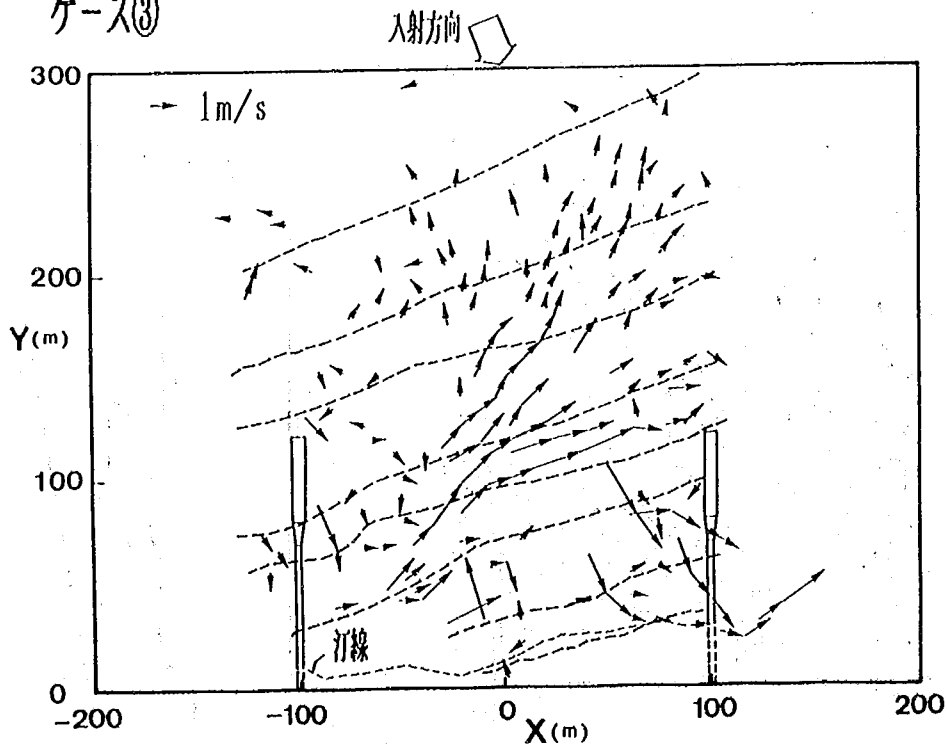
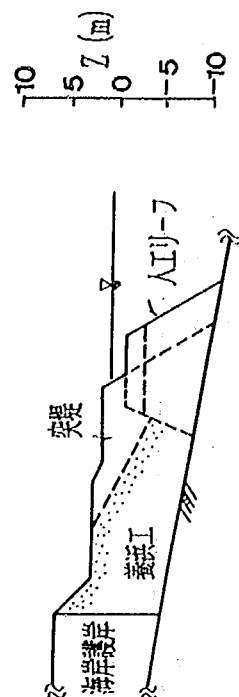
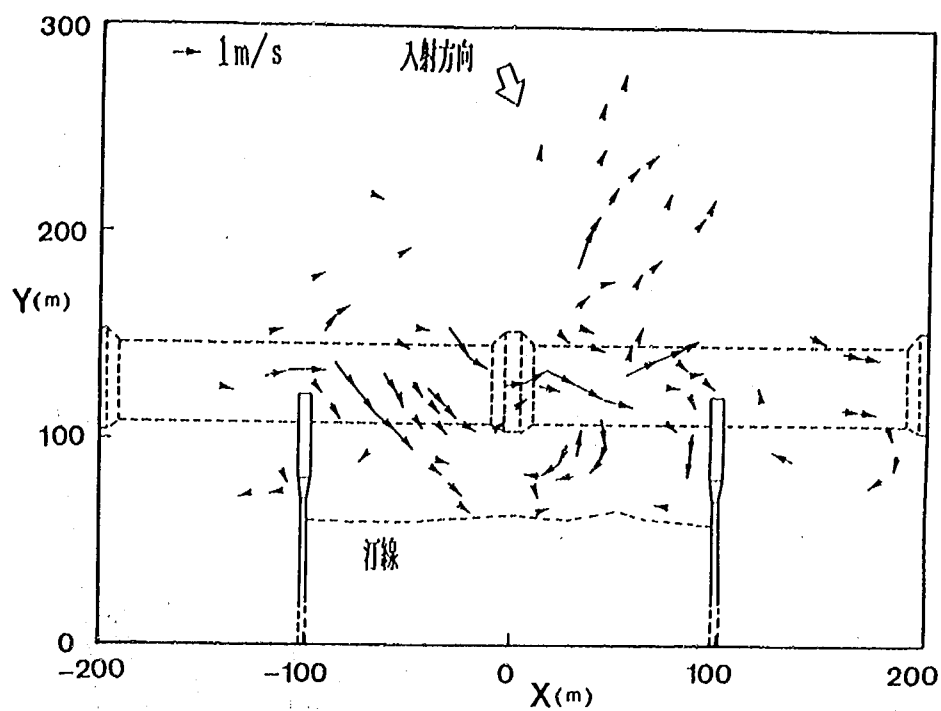


図-5.30 海浜流の流況比較 (ケース①: 人工リーフ無, 潮位 0.6 m,
ケース③: 人工リーフ無, 潮位 2.8 m)

ケース②



ケース④

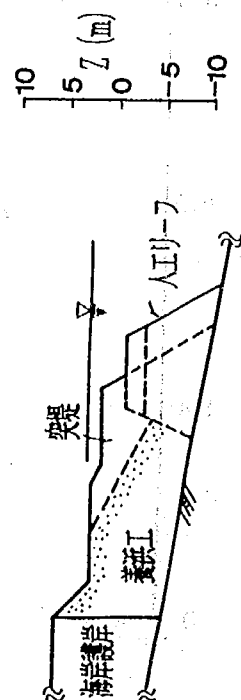
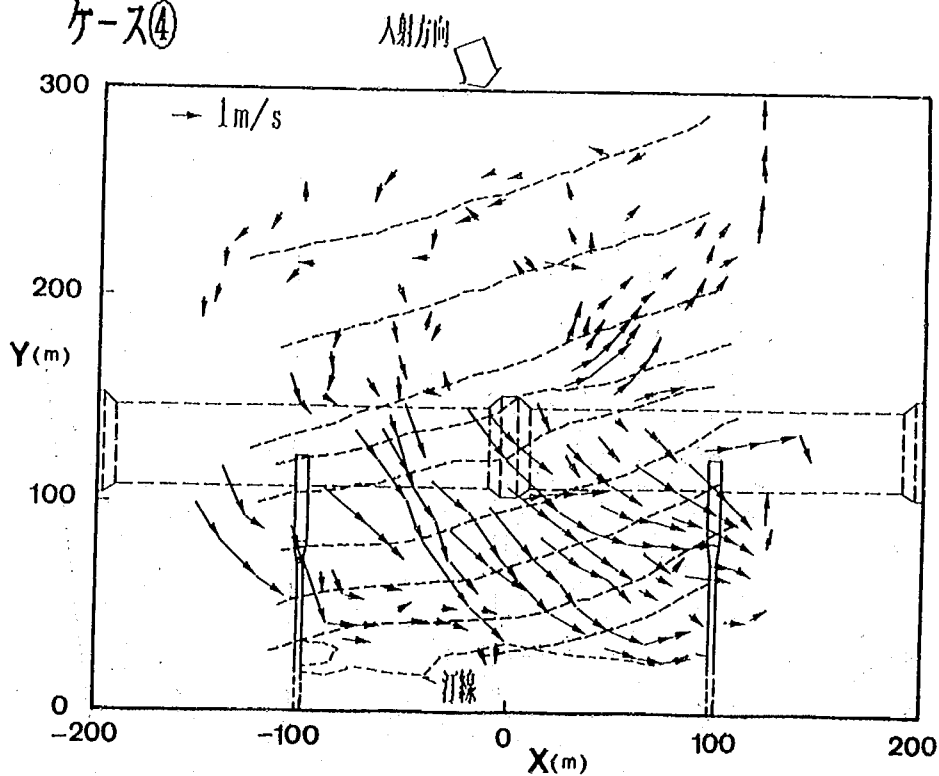


図-5.31 海浜流の流況比較 (ケース②：人工リーフ有，潮位 0.6 m，
ケース④：人工リーフ有，潮位 2.8 m)

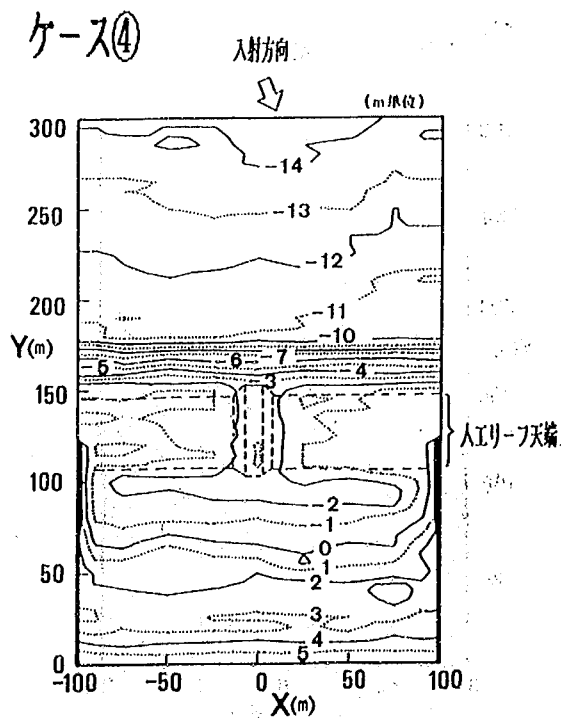
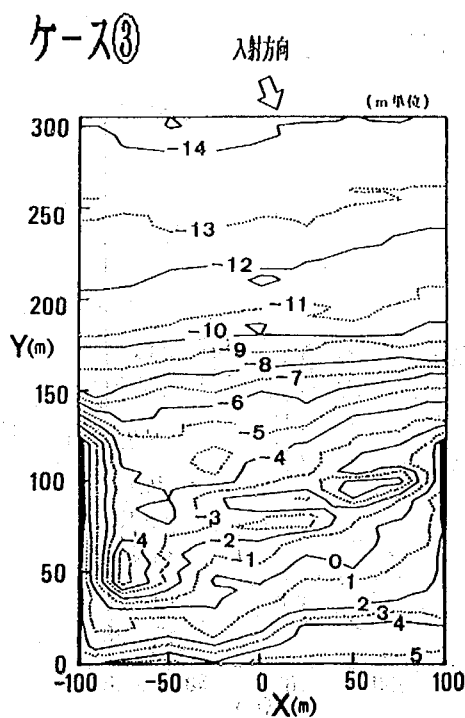
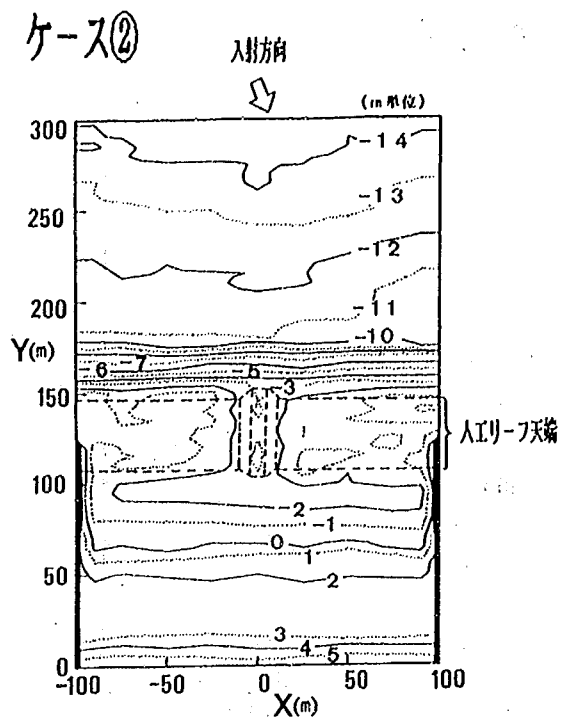
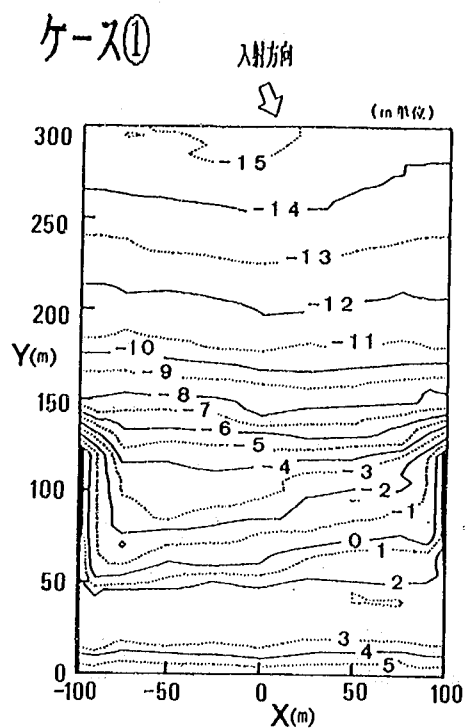


図-5.32 ケース①～④の造波開始3時間後の海浜形状の比較

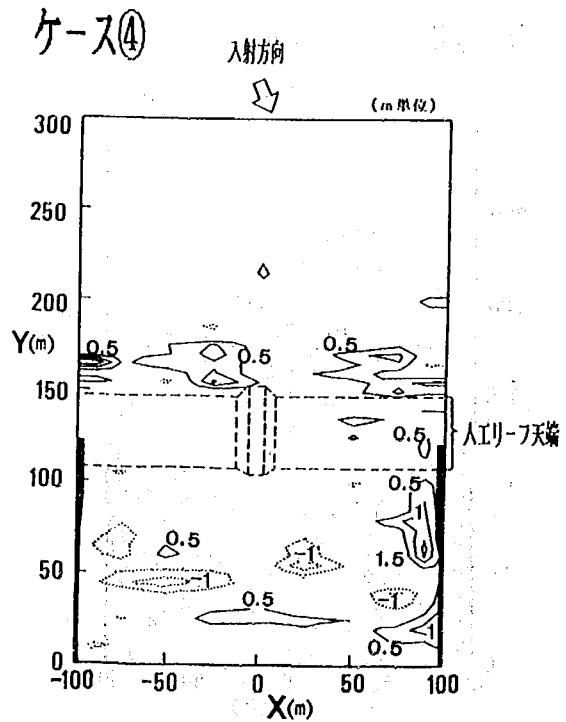
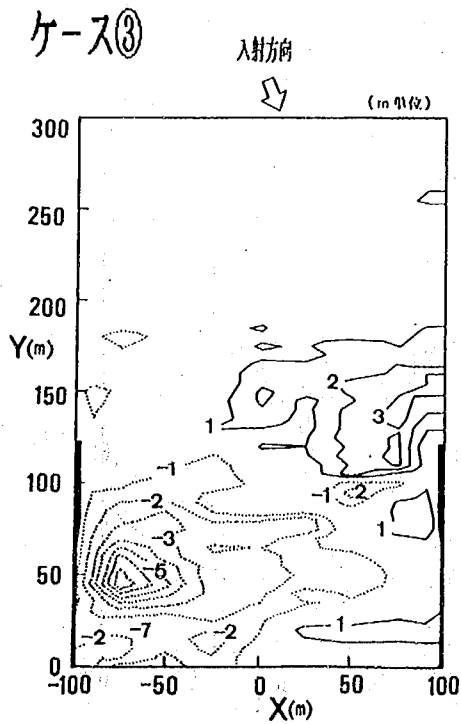
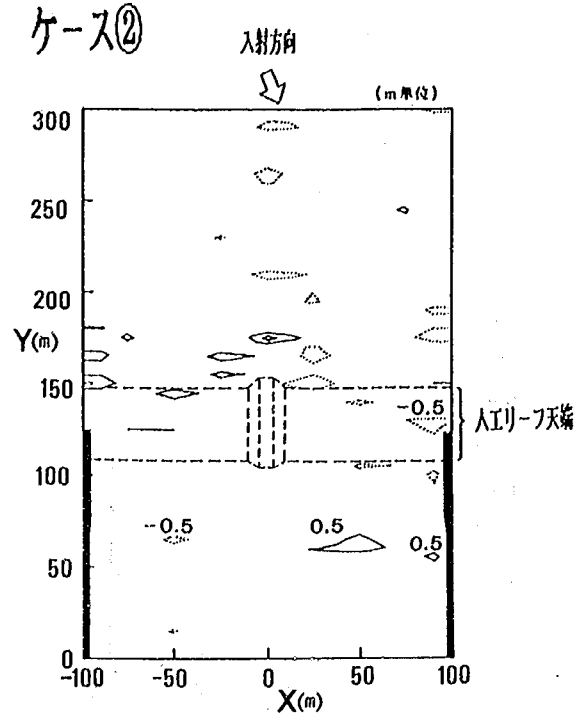
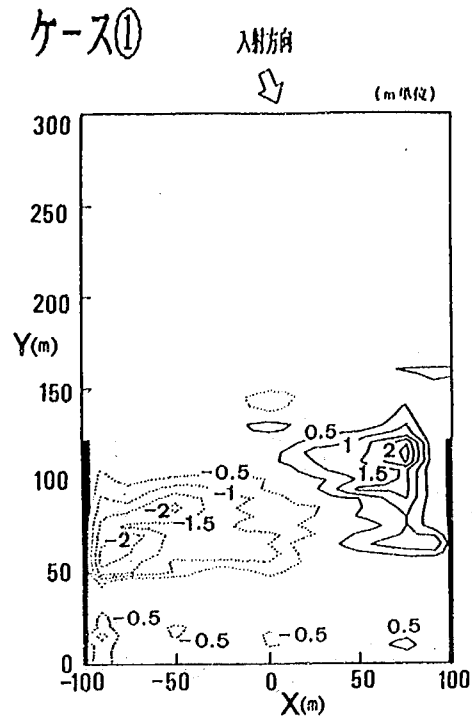


図-5.33 ケース①～④の海浜地形変化量の比較

ス②、④では等深線がほぼ初期形状を保っている。詳細に見ると高潮位の場合（ケース④）には右側突堤に沿って等深線形の変化が見られるが、その変化量は大きくない。

最後に、0～3時間の海浜地形変化量の平面分布を図-5.33で比較した。地形変化量の平面分布においても人工リーフのないケース①、③では左側の突堤の隣接区域で大きく侵食され、侵食土砂は右方向へと移動し、右突堤の先端付近に堆積した。すなわち、突堤間の養浜土砂が波の作用で斜め沖方向へ流出したことが分かる。これらに対し、人工リーフ有のケース②、④では地形変化量はごくわずかであって、人工リーフが効果的に波を消波したため、沿岸方向のエネルギーフラックスの減少、ひいては沿岸漂砂量の減少をもたらしたと言える。以上のように、人工リーフを設置すれば養浜砂の安定性は著しく向上する。

5.5 結 論

本研究によって得られた主要な要点は以下のように要約される。

- ① 人工リーフを設置しない条件で突堤間に養浜した海浜に波が斜め入射すると、突堤間の中央より漂砂上手側の半分の汀線付近が著しく侵食され、土砂は下手方向へ移動し突堤の先端付近に堆積する。このことは、入射角、突堤間隔および突堤長の関係によっては、波が入射した時、突堤のみによって養浜砂の流出を防止することは難しいことを示している。
- ② 突堤間に人工リーフを設置すると、人工リーフの消波効果により波の沿岸方向エネルギーフラックスおよび沿岸漂砂量が大きく減少する。結果として突堤間の海浜地形変化は人工リーフを設置しない場合と比較してはるかに小さくなった。
- ③ 高潮位の実験（ケース③、④）において顕著であるが、人工リーフのない場合には突堤間に強い離岸流が発生する。これに対し人工リーフを設置した場合には人工リーフ上において斜め向岸流と沿岸流が卓越する。

参 考 文 献

宇多高明・坂野 章（1989）：波向が周期的に変化する場における海浜地形変化，海岸工学論文集，第36巻，pp. 369～373．

第6章 総合結論と今後の問題点

本研究では、東播海岸の垂水地区等で計画されている養浜工に関し、移動床2次元および3次元平面実験によって種々の検討を加えるとともに、過去に東播海岸の松江地区で実施された養浜工に関し、養浜後の地形変化を分析した。それぞれの検討によって得られた結論は各章の末にまとめたので、ここでは総合的結論について要約する。

- ① 過去に松江地区で実施された養浜工の養浜後の地形変化データの分析によれば、当海岸では波の入射方向に応じて汀線が変動するが、過去の潮位、波浪条件のもとでの養浜砂の安定性は良好であった。
- ② 汀線変動は、冬期のWまたはWSWの風と、夏期のSE方向の風によって生ずる。当海岸に來襲する波浪はフェッチが短いためにそれほど高波浪とはならない。このため実績データによって求めた移動限界水深はT.P. 約-2 mにあった。また漂砂の移動高は約1.7 mであった。
- ③ 当海岸で計画されている人工リーフによって透過率を0.6以下に下げするのに必要な諸元は、天端高がT.P.-1 m、天端幅が40 m以上であった。
- ④ 平面実験によってリーフの開口幅を種々変えたときの波、流れ、地形変化を調べた。波が人工リーフの法線に対し直角入射する条件においても、人工リーフの開口幅と開口部天端高を変えたとリーフの岸側の平面流況と海浜形状はかなり大きく変化し、直線状リーフや開口幅が狭い場合、突堤に沿って沖向き流れが生ずるとともに、その方向に土砂が流出した。一方、開口幅を40 mと広くした場合には、突堤に沿って岸向き流れが卓越し、養浜砂の安定性が向上した。これらの点より、最終的に開口幅40 m、開口部天端高-3 mの人工リーフが最適と判断された。
- ⑤ 波が斜め入射する条件では、人工リーフを設置しない場合、汀線付近の養浜砂が斜め沖方向に流出した。一方、人工リーフを設置すると、海浜変形状況は大きく変化し、沖への流出はなくなった。このことから、人工リーフは養浜砂を安定化させる上で非常に有効であることが分かった。

以上が主要な結論であるが、今後に残された問題点もいくつか存在する。それらをまとめると次のようである。

- ① 今回は垂水地区を対象として模型実験を実施したが、同様に養浜工が計画されている大蔵地区では海底勾配が垂水地区より急なので、養浜砂の安定性上、より厳しい条件にある。そのため大蔵地区での人工リーフ諸元を定める上では同じく模型実験を行うことが望ましい。
- ② 本実験では波が斜め入射する条件の場合に選択された人工リーフの開口部の条件は、波が直角入射する条件で最適とされた条件とは多少異なる。したがって厳密には最適形状に対し波を斜め入射させる実験を行うことが望ましい。
- ③ 本研究は養浜砂の安定性を重点的に調べたものであり、最適形と判断された人工リーフの構造、特に構成材料の重量についての検討は行っていない。今後においては、宇多ほか(1988)を参考にして材料の重量について検討すべきである。

なお、本研究に際しては建設省近畿地方建設局姫路工事事務所より貴重な現地資料の提供を受けた。

ここに記して謝意を表する。

人工リーフによる養浜砂の
安定化に関する実験的検討

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2880号
平成2年7月(1990)

要旨

宇多高明, 坂野章

東播海岸の松江地区において、養浜工の養浜後における海浜地形変化を分析した。また、垂水地区での養浜工法について水理模型実験によって検討した。垂水地区は海岸が急深なために人工リーフを沖合に設置し、その岸側に養浜するとともに、養浜砂の沿岸方向への流出防止のために、養浜区間の両側に突堤を設置する方法を提案した。これらの構造物を用いれば、養浜砂の沖への流出を防止できることが明らかになった。必要とされる人工リーフの諸元は、天端高が-1m、開口幅が40m、開口部天端高が-3mであった。

キーワード：東播海岸, 養浜工, 現地データ, 汀線変化, 漂砂の移動高, 移動床実験, 突堤, 人工リーフ, 開口部, 透過率, 波向変化, 潮流, 海浜流, 地形変化。

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい。

305-□□

建設省土木研究所
海岸研究室 御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 2880 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印