

土木研究所資料

高知海岸離岸堤模型実験報告書

昭和 58 年 3 月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

Copyright © 1983 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

は　じ　め　に

この報告書は、高知海岸の離岸堤の高波や海岸侵食に対する効果について、移動床実験によって検討した結果をとりまとめたものである。また、海浜変形モデルが提案され、実験データを用いた海浜変形予測の具体例が示される。さらに、高知海岸の深浅測量データを用いた海浜地形変化計算が行われ、現地データと模型実験データとの比較検討も行われる。なお本研究は四国地方建設局高知工事事務所の依頼によって行われたものである。

昭和 58 年 3 月

海岸研究室	室　　長	橋　本	宏
	主任研究員	宇　多	高　明
		竹　淵	勉

目 次

1. まえがき	1
2. 高知海岸の概要と計画諸元	1
2.1 高知海岸の概要	1
2.2 気象・海象	2
2.3 海岸侵食特性	2
2.4 計画諸元	3
3. 離岸堤の計画と高潮・侵食対策上の問題点	6
4. 調査の方針と範囲	8
5. 離岸堤模型実験	9
5.1 実験の目的	9
5.2 実験方法	9
5.3 地形変化の相似性	12
5.4 離岸堤背後の波高分布	13
5.5 打ち上げ高	14
5.6 離岸堤による海浜変形	15
6. 突堤効果模型実験	36
6.1 実験の目的	36
6.2 実験方法	36
6.3 入射波高の経時変化	38
6.4 地形変化の特性	38
6.5 流 況	39
6.6 汀線の経時変化	39
7. 離岸堤, T字突堤模型実験	55
7.1 実験の目的	55
7.2 実験方法	55
7.3 突堤, 離岸堤, T字突堤による海浜変形	57
7.4 流 況	59
7.5 汀線の経時変化	62
7.6 汀線変化量の沿岸方向分布	62
7.7 構造物周辺の碎波波高分布と地形変化の生ずる最高高さの分布	63
7.8 汀線位置の変化量と静水面以上の断面積の変化量との関係	63
8. 経験的海浜変形モデルの移動床模型実験への適用	87

8.1 まえがき	87
8.2 等深線距離の変化と海浜断面積変化の関係	87
8.3 経験的海浜変形モデル	88
9. 深浅測量データの解析	97
9.1 解析方法	97
9.2 解析結果	98
9.3 現地海岸と模型実験データの解析結果の比較	100
10. 結論と今後の問題点	110
参考文献	112

1. ま え が き

高知海岸は土佐湾のほぼ中央部に位置し、西に仁淀川、東に物部川を有し、萩岬から手結岬に至る延長30kmの砂浜海岸である。この海岸は日本でも有数の台風常襲地帯で、過去にいくたびとなく太平洋の強大な波浪を直接受け、著しく汀線が後退し、既存の施設の安全性ならびに機能が危ぶまれて来た。

このような状況によって、当海岸は昭和44年度より直轄海岸工事施工区域となり、高潮および侵食防止対策が進められて来た。対策としては既設堤防に根固工、消波工を施工するとともに、離岸堤が設置されている。

離岸堤は順次施工されて来ているが、離岸堤の持つ高波および侵食防止に関する機能について十分明らかにされていない点が少なくない。本調査の目的は、離岸堤の高波や海岸侵食に対する効果を主として移動床模型実験によって明らかにすることである。

調査は、昭和54年度より昭和57年度まで4カ年間行われたが、本報告書は、これらの成果をとりまとめたものである。

2. 高知海岸の概要と計画諸元

2.1 高知海岸の概要

高知海岸は図-2.1に示すように土佐湾のほぼ中央部に位置し、西に仁淀川、東に物部川を有し、萩岬から手結岬に至る延長30kmの砂浜海岸で、背後地は民家の密集した所が多く、さらにその背後には比較的広大な農耕地を有する。昭和21年、南海大地震後の地盤沈下対策事業、あるいは災害復旧事業により海岸堤防が昭和30年代に概成されて以来、土地利用はめざましく、全国有数のハウス園芸地帯として、高知県下でも代表的な農業地帯を形成している。この海岸は日本でも有数の台風常襲地帯で、過去にいくたびとなく太平洋の強大な波浪を直接受け、著しく汀線が後退し、既存の施設の安全性ならびに機能が危ぶまれて来た。このような状況のもとで、昭和44年度より直轄海岸工事施工区域に指定され、直轄海岸事業が行われて来ている。

事業では、高潮対策および侵食防止対策として、既設堤防(T.P.+9.3m)に根固工、消波工が設置されるとともに、離岸堤が建設されている。近年においては昭和45年の台風10号、昭和49年台風14、16号および昭和54年台風16号によって施設が被災し、越波等によって人家・農産物に大被害を受けたため、離岸堤、消波工を主体とした高潮対策および侵食防止対策の一層の促進が望まれている。事業は昭和48年度から離岸堤の設置に着手し、昭和55年度までに侵食の著しい久枝・前浜地先に16基完成し、侵食防止に効果をあげている。また、離岸堤の施工に合わせて、既設堤防に根固工、消波工が施工され、海岸保全施設の整備が図られている。

2.2 気象・海象

高知海岸の気象・海象特性について明らかにしよう。高知海岸では住吉（図－2.1参照）において風向風速の測定を行っている。図－2.2は風向風速頻度図である。全風速では陸上地形の影響を受けて北風が多い。また強風では台風性の風が主体を占めている。

波浪観測は同じく住吉において行われている。波高計は住吉の海岸沖合、T.P.－11.5 mの位置に設置されている。表－2.1は昭和54年、55年、2カ年間に於ける住吉での波の発生状況を示したものである。年間を通じて大部分の波の波高は $H = 0.5 \text{ m}$ 、また周期は $T = 8 \text{ sec}$ 内外であるが、台風、低気圧により時々高波が発生している。

表－2.1 波高別・周期別頻度表（住吉）

波高 \ 周期	0～4 sec	4～6	6～8	8～10	10～12	12～14	14～16	16sec 以上	波高計
0.0～0.5 m	11	470	1,527	1,437	228	17	3		3,693
0.5～1.0	37	693	1,110	750	246	43	1		2,880
1.0～1.5		99	297	187	99	24			706
1.5～2.0		8	113	81	75	30			307
2.0～3.0			50	52	32	35	12		181
3.0～4.0			3	10	23	22	6		64
4.0～5.0				1	9	8			18
5.0～6.0						11			11
6.0～7.0					1		1		2
7.0～以上									
周 期 計	48	1,270	3,100	2,518	713	190	23		7,862

（有義波）

2.3 海岸侵食特性

海岸侵食特性の概要を知るため、汀線変化状況について明らかにしておく。図－2.3は、昭和42年度から昭和55年度における汀線変化状況を示している。図の左端は物部川、右端は高知港との境界である。また、横軸の番号は測線番号を示している。

久枝地先では昭和48年に前浜長が30mに満たなくなったが、離岸堤の完成後徐々に前進し、昭和55年には最小33.5 m、平均59.9 mとなった。昭和50年度～55年度に離岸堤が施工された前浜地先では、切戸放水路の西側での変化が激しいが、最小53.0m、平均61.8mと50m以上の前浜長を維持している。

浜改田地先のNo28—16地点では、昭和19年～昭和46年の間に0.9 m/年の後退を示し、昭和46年～55年の間には3.2 m/年と急激に後退した。しかし、浜改田地先の平均汀線長は69.5mで、南国工区

の中で最も長い汀線長を有している。十市地先の昭和55年度の平均汀線長は 56.5 m で、汀線変化が少なく、最も安定した地先と見られる。

仁井田地先は、昭和45年頃まで汀線の後退が見られ、それ以降徐々に前進し、昭和52年度には平均 50m を越えていたが、昭和53年度から再び後退し、昭和55年度には最小 30.0 m、平均 33.0 m となった。

2.4 計画諸元

高知海岸では、昭和45年8月の台風10号による災害を契機に学識経験者、関連行政機関等から構成される高潮会議が設置され、昭和45～47年までの間に7回に及び委員会等が開かれ、土佐湾に面する海岸の高潮対策の検討が行われた。この結果、表－2.2に示すような計画諸元が定められた。なお、表中＊印を付けたものが、土佐湾高潮対策技術会議での決定値である。

表－2.2 計 画 諸 元

朔望平均満潮位	T. P. +0.74 m
計画偏差 (M35.9.7 台風における計算値)	1.46 m
＊計画高潮位	T. P. +2.20 m (0.74 m + 1.46 m)
＊計画規模及びコース	伊勢湾台風級、第2室戸台風コース (S - 18 - W)
＊計画波高	10.1 m
＊周 期	15.2 秒
計画堤防高	T. P. +11.0 m (現堤 T. P. +9.3 m)

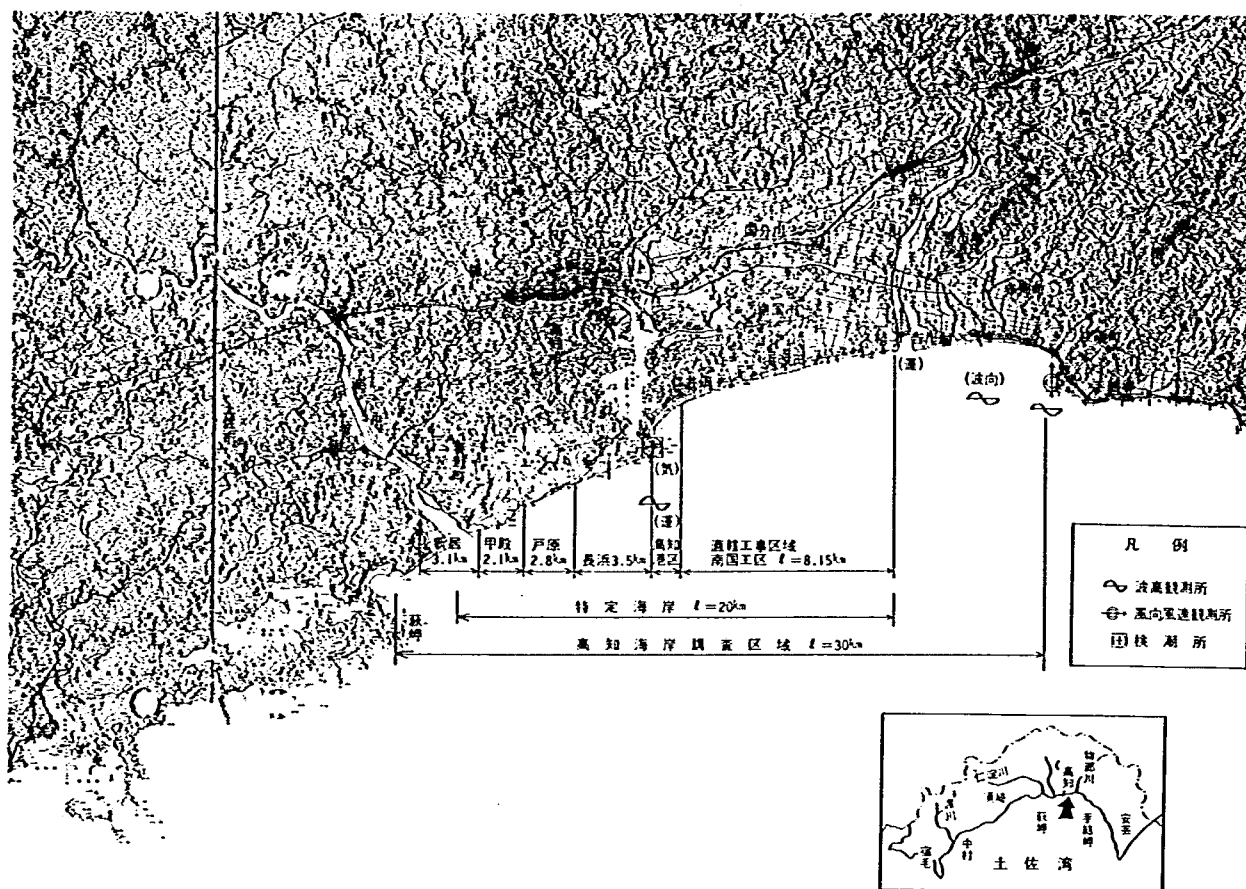


图-2.1 高知海岸位置图

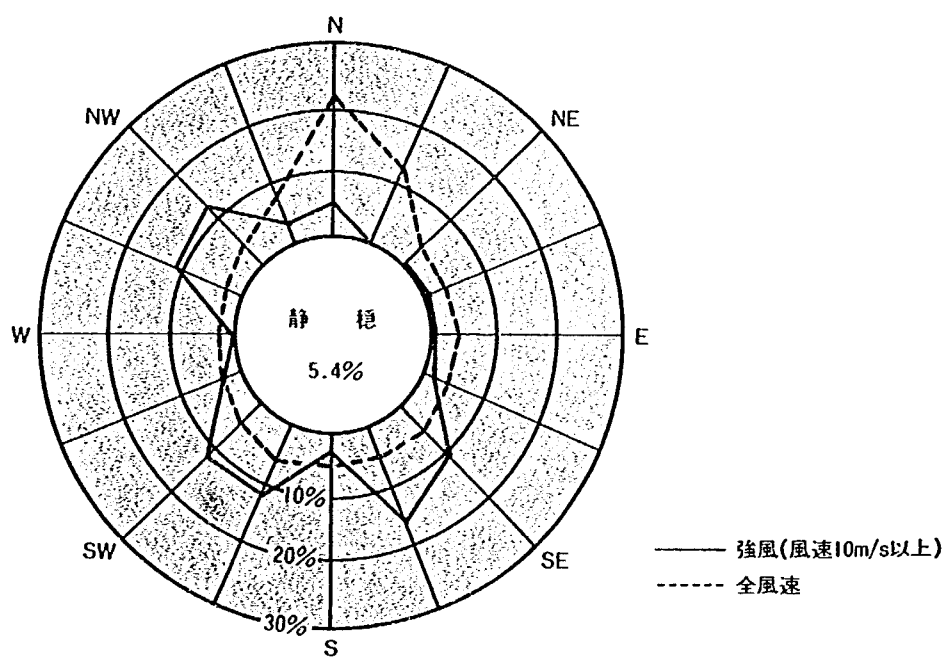


図-2.2 風向頻度図(住吉)

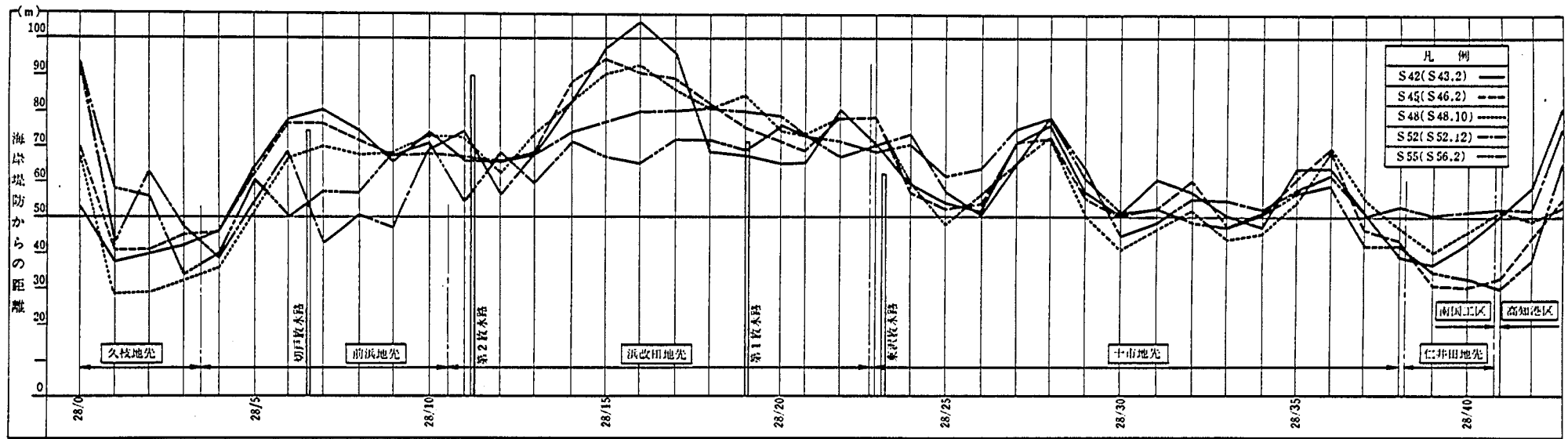


図-2.3 汀線変化状況

3. 離岸堤の計画と高波・侵食対策上の問題点

高知海岸では、侵食対策の主体工として離岸堤が計画された。以下、その概要を明らかにしておく。

離岸堤には図－3.1に示すようにA型とB型とがある。A型は堤防からの前浜長が50m以下の箇所に設置され、B型は前浜長が50m以上の箇所に設置される型式である。A型は天端高がT. P. +2.7m、天端幅が9.5mで32ton型ブロックを用いて造られている。また、ブロック下部にはマウンド工として捨石を敷いている。B型は天端高がT. P. 2.7m、天端幅が12mで20ton型ブロックを用いて造られている。この場合も下部にはマウンド工として捨石を敷いている。

離岸堤の計画諸元は表－3.1にまとめられている。離岸堤長は100m、開口幅は50mとなっている。

表－3.1 離岸堤の計画諸元

全体計画基数	55基（S48～S55施工16基）
離岸堤長	100m
離岸堤開口幅	50m
設置位置	海岸堤防法線から沖合50m～120m
最大施工水深	T. P. －7.0～－8.0m
基準高	ブロック天端 施工高 T. P. +2.70m 維持高 T. P. +1.70m 捨石天端高 T. P. －4.0m

以上の計画のもとで離岸堤は順次施工されて来ているが、施工にともなっていくつかの問題点が生じている。明確にすべき主要な点をあげると次のとおり。

- ① 離岸堤は高波対策にどの程度有効か、すなわち打ち上げ高の減少に対する効果はいかほどか明らかにする。
- ② 離岸堤背後の前浜は物揚げ場として利用される場合があるが、その際、離岸堤背後は十分静穏な領およびスペースを与えることができるかどうか検討する。
- ③ 離岸堤周辺における地形変化の機構を明確にする。
- ④ 高知港区域との境界には、T字突堤が設置されているが、それとの接続法で望ましいものは何か明らかにする。
- ⑤ 離岸堤の施工順序に関する検討。
- ⑥ 離岸距離が変化したときの離岸堤の機能の相違点を明らかにする。

以上が主なものであろう。一方、最近、高知港の拡張が決定されているが、このような条件の変化に対して高知海岸全域における海浜地形の将来における変化を予測することも重要な課題となっている。

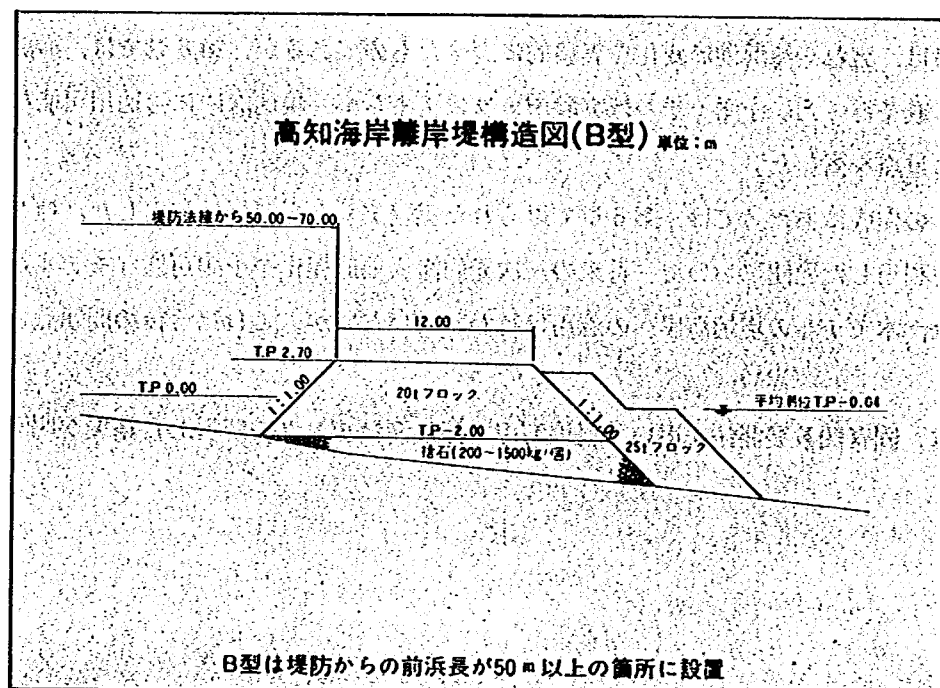
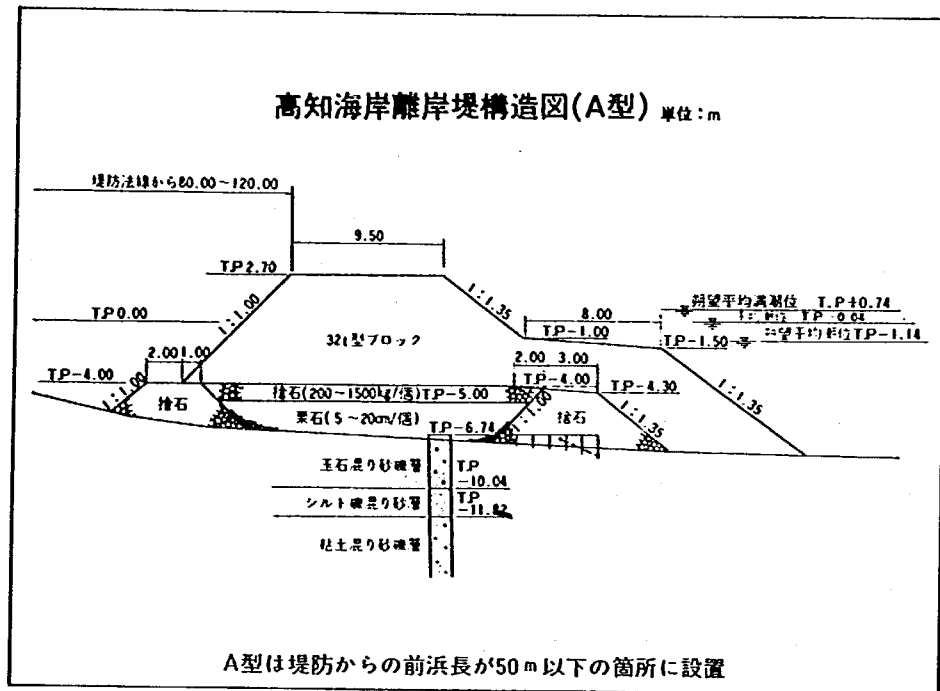


図- 3. 1 離岸堤の断面形状

4. 調査の方針と範囲

第3章で述べたように、検討すべき項目は多岐にわたっているが、本調査ではこれらの問題点を主として移動床水理模型実験により実験的に検討を加えることにした。

周知のように、移動床実験では現地海岸の現象が実験において再現されるかどうか検討すること、いわゆる相似性の検討が最初に必要とされる。第5章では、移動床平面実験によってまず相似性の検討を行った。この結果、現地海浜における海浜地形変化が実験においてほぼ再現しうることが明らかになった。

このため選定された波浪条件を用いて実験を行い、離岸堤の周辺の流れ、地形変化、波高分布、打ち上げ高の分布などを測定した。この結果、離岸堤背後の静穏度、打ち上げ高の分布などを明らかにすることができた。

第6章では、突堤、離岸堤、T字突堤の周囲の流れ、海浜地形変化、碎波波高分布などを実験的に調べた。これにより種々の構造物の機能の相違が明らかになった。

第7章では、仁井田地先、高知港区域との境界にあるT字突堤との連続法について検討した。すなわち境界のT字突堤の東側に離岸堤や小T字突堤を用いた場合の流況や海浜地形変化などの相違点について検討した。

以上の検討は、流れや海浜地形変化を実験的に調べたものであるが、第8章では、海浜地形変化の予測モデルの作成を行った。予測モデルは実験データに止まらず、現地海岸にも適用可能な一般的モデルとすることに重点を置いた。

予測モデルの作成にあたっては、第6章で得られた実験データを解析に利用した。種々の検討の結果、実験データを利用した範囲において、将来の三次元的海浜地形変化を予測可能なモデルが開発された。本報告書では、本モデルの現地海岸への適用は行われていないが、これは今後の問題点として残されている。

第9章では、固有関数展開法を用いて現地海岸の深浅測量データを解析した結果が明らかにされている。

5. 離岸堤模型実験

5.1 実験の目的

本模型実験の目的は主として4項目に大別される。これらの項目を列挙すると次のようになる。

- ① 移動床実験の相似性について検討する。これは予備実験である。
- ② 離岸堤による海浜変形を調査し、離岸堤の施工順序について検討する。
- ③ 離岸堤周辺の波高や流れの分布を測定する。これは荷揚げ場の設計資料とする。
- ④ 高波浪時の海岸堤防への打ち上げ高について調べる。

高知海岸では、海岸付近にしらすの加工工場が散在する。通常しらす工場への原料の搬入は前浜へ小型船を接岸することによって行われている。しらすの荷揚げを行う際には、波浪が静穏で流れが弱く、かつ十分なスペースを有することが必要とされる。離岸堤の建設によってこれらの条件が阻害されれば問題となるために、模型実験によって調査する。

④の打ち上げ高の測定は、離岸堤の越波防止効果について検討するためのものである。

5.2 実験方法

離岸堤模型実験は、予備実験3ケースと本実験3ケースから成る。予備実験は、ある与えられた波浪条件のもとで、高知海岸の海浜形状が再現しうのような、波浪条件を選択することが目的であった。また同時に、離岸堤背後のトンボロの形成速度がどの程度であるかを調べることも目的とした。

予備実験は、幅16mの平面水槽を導波板を用いて2つに分割した幅8mの平面水槽を用いて行った。模型の縮尺は1/50とし、フルードの相似則を用いて各物理量の縮尺を表-5.1のように定めた。すなわち模型の鉛直スケールと水平スケールはともに現地海岸の1/50の長さとした。実験結果は、模型上の寸法を用いると理解しにくいために、表-5.1の縮率を用いて現地スケールに換算したものを示すことにした。ただし地形変化速度に関してはフルードの相似則が成立しないために、測定時間を表-5.1の時間に関する縮率を用いて現地時間に換算することはできない。よって、測定時間については、実験値をそのまま表示する。

表-5.1 各物理量の縮率

予備実験での初期海浜断面は、図-5.1に示されるように、高知海岸で昭和48年に行われた深浅測量の結果を利用して定めた。図-5.1は、測線番号No28-1, 3, 5, 11, 13, 15, 30, 32, 34の合計9断面の海浜形状を示すが、実験ではこれらの平均として図中に示されるような形状を与えた。実験では図-5.1の初期海浜を持った海浜に整形後、平面水槽中央に長さ100m、離岸距離40mの離岸堤を設置し、波を直角入射させて海浜形状の変化を調べた。ただし、ここでは汀線から測った離岸方向距離を離岸距離と呼ぶ。離岸堤は下部に碎石を敷き、その上に重量200gの六脚ブロックを用いて高知海岸の標準離岸堤断面(A型)となるよう製作した。

物 理 量	縮 率	物 理 量	縮 率
鉛直長さ	50	波 長	50
水平長さ	50	波形勾配	1
波 高	50	時 間	7.07
海底勾配	1	周 期	7.07

3 ケースの予備実験の実験条件は表— 5. 2 にまとめられている。実験は、入射波高をほぼ一定としておき、周期を変えて実験を行った。

表— 5. 2 予備実験の条件一覧表

条 件 ケース名	波高 (m)	周期(sec)	沖波波高 (m)	波形勾配 (H_0/L_0)	測定水深 (m)
ケース①	2.07	12.6	1.95	0.0076	10
ケース②	2.21	11.2	2.16	0.0108	10
ケース③	2.60	8.5	2.75	0.0244	10

実験は、表— 5. 2 に示された波浪を10時間作用させ、この間 5 時間と10時間後に海浜形状の測定を行った。また、実験開始後 2, 4, 6, 8 時間後に汀線形状を測定した。さらに 0 時間と10時間後の 2 回、沿岸方向に 12.5 m 間隔で碎波波高分布の測定も行った。

本実験は、全体で 3 ケース行った。予備実験では導波板を用いて幅 16 m の平面水槽を二つに分割したが、本実験ではこの仕切り板は取り除き、幅 16 m の平面水槽を用いて行った。離岸堤の配置と施工順序は図— 5. 2 より図— 5. 4 に示される。ケース①は、初期汀線からの離岸距離が 100 m の離岸堤をまず 2 基設置して波を作用させたあと、5 時間後に離岸距離 120 m のものを 2 基追加するものである。施工順序は、図— 5. 2 に示されるように、まず離岸堤①と④を設置し、その後それらの間に 2 基追加する。ケース②では、ケース①における離岸距離 100 m, 120 m をおのおの 30 m, 50 m と短くしたものである。施工順序はケース①と同様であって、離岸堤①、④を最初に設置して波を作用させたあと、5 時間後に離岸堤②、③を設置した。ケース③は離岸距離はケース②と同一であるが、配置と施工順序が異なっている。すなわち、まず離岸距離 30 m のものを 2 基左側に設置し、波を作用させたあと 5 時間後に残り 2 基を並べたものである。

本実験の目的は次のようである。

- ① 離岸堤による海浜変形を調査し、離岸堤の施工順序について検討する。
- ② 離岸堤周辺の波高分布を測定する。これは荷揚げ場の設計資料とする。
- ③ 高波浪時の海岸堤防への打ち上げ高について調べる。

実験目的は以上の 3 点のとおりであるが、その各項目を調べる上で波浪、潮位条件は各々異なっていることに注意を要する。例えば、海浜変形の調査では平均潮位 (T. P. -0.04 m) を、波高分布調査では T. P. -1.14 m を、さらに打ち上げ高の調査では計画高潮位の T. P. 2.20 m を用いる。実験ケース①～③の波浪、潮位条件等は表— 5. 3 にまとめられている。

実験は移動床模型であるから、海浜形状は時間的に変化する。上記 3 項目は原理上、同時に行うことはできないために、それらを順序良く並べ、表— 5. 4 に示すような順序で実験を行った。まず離岸堤を 2 基設置して 5 時間波を作用させる。5 時間後海床測定を行い、その後残りの 2 基を設置する。10 時間後波を止め、海床測定を行う。海床測定が済んだあと、潮位を T. P. -1.14 m に下げ、静穏波を作用させて離岸堤周辺の波高分布測定を行う。この間海浜変形も生ずるために、波高測定を行ったあと、海床測定を繰り返す。海床測定の終了後、潮位を T. P. -2.20 m に上げ、高波浪の条件のもとで打

ち上げ高の分布を測定する。最後に再び海床測定を行う。

表- 5.3 本実験の条件一覧表

実験ケース	潮位 (m)	波高 (m)	周期 (sec)	沖波波高 (m)	波形勾配 (H_0/L_0)	測定水深 (m)	実験時間
ケース①	TP-004	257	8.5	272	0.0241	10	0時~10時
	TP-1.14	1.04	8.5	1.11	0.0098	10	10時~11時
	TP-2.2	4.95	14.8	4.35	0.0125	10	11時~12.5時
ケース②	TP-004	269	8.5	285	0.0254	10	0時~10時
	TP-1.14	0.85	8.5	0.90	0.0080	10	10時~11時
	TP-2.2	4.99	14.8	4.41	0.0118	10	11時~12.5時
ケース③	TP-004	266	8.5	266	0.0251	10	0時~10時
	TP-1.14	1.05	8.5	1.05	0.0099	10	10時~11時
	TP-2.2	5.14	14.8	5.14	0.0137	10	11時~12.5時

表- 5.4 実験手順と測定項目

模型時間	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	12.5時
実験目的		海	浜	変	形	実	験					波高測定	打ち上げ高	
測定項目														
波高	○				○						○	○	○	
流況	○				○						○	○	○	
汀線		1時間または2時間間隔												
打ち上げ高													○	
海床測定	実験前					○					○	○		○
実験条件														
波高			H=2~3 m, T=8.5 秒								H=1 m, T=8.5 秒	H=5 m, T=14.8 秒		
潮位			平均潮位 (T.P. -0.04 m)								T.P. 1.14 m	T.P. 2.2 m		
構造物		離岸堤 2 基					離岸堤 4 基							

測定項目は、海床、波高、流況、汀線、打ち上げ高である。これらの測定は表- 5.4 に示された時刻に行った。海床測定は既に述べたように、全体で5回行った。測定は、沿岸方向に25m間隔に並んだ測線上において、岸沖方向に5m間隔で行った。波高測定は容量式波高計を用いて、全体で5回測定した。流況はクレーンで約5m（模型上の実高）の高さに吊ったカメラを利用し、投入した多数のフロートの移動状況を写真撮影して求めた。フロートとしては、フィルムケースのフタ（直径約3cm）を3色に着色して用いた。汀線位置の測定は、沿岸方向に12.5m間隔で行った。打ち上げ高の測定は沿岸方向に25m間隔で行った。打ち上げ高の測定時、前浜上には急速に土砂が打ち上げられる。このため打ち上げ高の測定は、砂州への最高打ち上がり点にピンを立て、実験終了後その位置と高さを測定した。

5.3 地形変化の相似性

現地海岸の海浜断面形状を初期条件として与え、波を作用させたとき、岸沖方向の漂砂によって大きな地形変化が生じないような波浪条件を選択するために3ケースの予備実験を行った。一般に、現地海岸の底質粒径が0.2mm程度の海岸の移動床模型実験では、粒径波高比は現地海岸と模型実験で同一とすることはできない。なぜならば、粒径を模型の縮尺と同じに縮尺すると、底質粒径は非常に小さくなり、非粘着性を持った砂ではなくなり、粘着性を持った土砂となってしまうからである。このため、模型実験においては、現地海岸とほぼ同様な大きさの底質を用いて実験することが多い。この場合、波高をフルード則によって縮小したとき、底質粒径を変えないのであれば、実験では底質が動きにくい状態となる。よって地形変化の相似性を保つためには波高を見かけ上大きくする必要がある。

以上の3点を考慮して表-5.2のような条件のもとで予備実験を行った。ケース①～③で、入射波高はほぼ一定としておき、周期を変えて実験は行われている。

実験結果については、まず海浜の岸沖形状の比較が行われるべきである。このため、離岸堤の影響のあまり及んでいない $X=100\text{m}$ 断面で比較を行うことにする。図-5.5はケース①の実験結果である。ケース①では、砕波帯の土砂が前浜上に打ち上げられるという、タイプⅢ型の地形変化が生じている。これは波形勾配が小さ過ぎたため、逆に言えば、周期が長すぎたため生じた地形変化と考えられる。図-5.6はケース②の結果である。ケース①に比較すると汀線付近の変動は小さくなったが、沖合には反射波による $\frac{1}{2}$ 波長のサンドバーが生じた。さらに図-5.7はケース③の海浜断面形状を示す。ケース①、②に比較すると、汀線付近の形状は良く改善され、また沖合の反射波によるサンドバーも小さくなっている。以上の点より、岸沖漂砂に関してほぼ現地海岸と相似になるためには、ケース③の条件、つまり周期8.5秒、波高2.6mの場合が望ましいことがわかる。

海浜断面形状については、前述のように周期8.5秒、波高2.6mの場合がほぼ妥当な結果を与えることがわかった。しかし、海浜変形は3次元的であるから、相似性を検討する上では単に断面形状の比較のみでは不十分である。このため沿岸方向の汀線形状、とくにトンボロの発生に関して比較を行った。

図-5.8、5.9、5.10はケース①～③の汀線変化であり、主として周期を変えた場合のトンボロの形成状態の差を示している。ケース①の周期12.6秒の場合と他の2ケースとの根本的相違点は、周期12.6秒の場合、汀線が前進した部分の面積と、後退した部分の面積が均衡せず、前進した部分の面積が大きい点である。一方、他の2ケースでは離岸堤の背後で堆積が、また離岸堤両側で侵食が起きており、汀線が前進した部分の面積と後退した部分の面積はほぼ釣り合っている。これらの相違は、図-5.5にも示したように、周期12.6秒では岸沖漂砂が大きいことに起因している。すなわち岸沖漂砂によって汀線付近に土砂が打ち上げられたため、例えば離岸堤に隣接する海岸では沿岸漂砂による侵食と、岸沖漂砂による堆積が地形変化を打ち消し合い、結果として汀線変化が生じないという状態が生じたものと考えられる。

ケース②とケース③においては、ほぼ同様な変化が得られた。離岸堤に隣接する海岸は侵食され、逆に離岸堤背後ではトンボロが発達した。トンボロは急速に発達するが、ほぼ10時間程度で平衡状態に達した。

5.4 離岸堤背後の波高分布

離岸堤背後の波高分布については、潮位がT.P. -0.04m の場合と、潮位がT.P. -1.14m で静穏波が来襲した場合について測定が行われた。実験は、本実験のケース①、②、③について同様に行ったが、ケース②と③は離岸堤の施工順序が異なるのみであって、波高分布としてはほぼ同様な結果が得られた。よって、ここではケース①と②について詳しく調べることにする。

ケース①では、図-5.2に示すように、4基の離岸堤が離岸距離を変えて設置されている。離岸堤の番号を左より順に①、②、③、④号とすると、①、④号は0時間に設置され、②、③号は5時間後に置かれた。図-5.11と図-5.12はケース①の①、④号離岸堤周辺の0時間における波高分布を示す。波は直角入射の条件である。離岸堤背後では離岸堤の波浪減殺効果によって波高が開口部の約 $1/3$ に減少している。同様に図-5.13と図-5.14は5時間後の波高分布を示す。5時間後には小さなトンボロが形成されたが、地形は大きく変化していないために基本的特徴は0時間の場合と同様である。図-5.15と図-5.16は10時間後の波高分布である。5時間後の波高分布の測定のと離岸堤が2基追加され、合計で4基となった。離岸距離を長くしたときの離岸堤背後の波高分布の変化については、図-5.15、5.16では必ずしも明らかではない。この理由は、①、④号離岸堤に対して②、③号離岸堤は離岸距離が長いだけでなく、離岸堤長も20m長いので、離岸距離と堤長両者の効果が現われているためである。以上の結果は潮位がT.P. -0.04m の条件であるが、潮位がT.P. -1.14m で静穏波の場合の結果を図-5.17、5.18に示す。静穏波での波高分布は、通常の状態において離岸堤の背後より荷揚げの際に参考とすることができる。離岸堤背後の波高分布の特徴としては、図-5.17、5.18いずれの場合も離岸堤の裏側で極小値が得られ、この部分の波高は開口部の $1/4 \sim 1/3$ となっている。離岸堤の裏側では波高は低い、汀線に近い所では波高は増大する。これは離岸堤の開口部からの回折波が到達したためである。

ケース②についてもケース①とまったく同様に整理することができるが、数多くの測定値を示してもあまり意味がないので、代表例について示すことにする。

ケース②は離岸距離30mの離岸堤を2基設置して5時間波を作用させ、その後離岸距離50mの離岸堤を2基追加するものである。離岸堤の配置は図-5.3に示されるように、①、④号堤が離岸距離30m、②、③号堤が50mである。①、④号堤の配置は同一なので、④号堤を代表として選ぶことにする。図-5.19、5.20は各々0、5時間後における④号離岸堤周辺の波高分布を示す。離岸距離が短いので、ケース①の④号離岸堤の対応する時刻のものと比較すると、開口部の波高に対する離岸堤背後の相対波高は低くなっている。とくに、汀線付近の波高低下が著しいが、これは開口部からの回折波が、離岸距離が短くなることによって到達しにくくなったためである。図-5.21は10時間後の③、④号堤周辺の波高分布を、また図-5.22は静穏波の場合の波高分布を示す。得られた基本的特徴は図-5.19、5.20の場合と同様である。

以上、測定結果が明らかになったので、離岸堤としらすの荷揚げとの関係について考える。しらすの荷揚げは高波浪時は行わないから、静穏波を用いた実験結果（図-5.17, 5.18, 5.22）をもとに議論する。

図-5.17と図5.18は離岸距離100 mと120 mの離岸堤を設置して静穏波を作用させた場合の波高分布であった。図によると離岸堤開口部、汀線と離岸堤との中間では波高が高くなっている。したがって、小型船は開口部を沖から汀線へ向けて直進することは望ましくない。離岸堤の裏側では波高が低く静穏なので、開口部を通過した船はすぐに離岸堤の裏側へ入る必要がある。次にしらすの荷揚げを行うわけであるが、このためには、汀線ごく近傍の波が低くなければならない。離岸堤の背後の汀線近傍では開口部より回折波が到達するため開口部に近くなると波高が高くなる。よって荷揚げは離岸堤背後の限られた部分で行われることになる。図-5.17, 5.18で汀線近傍の波高が0.5 m以下となる範囲を調べてみると、①号堤で約60 m、②号堤で約100 m、③号堤で約50 m、④号堤で約30 mとなる。すなわち離岸距離100 m、離岸堤長100 mのもので平均45 m、離岸距離120 m、堤長120 mのもので平均75 mとなり、後者の方が良いという結果が得られた。この部分で荷揚げをする限りにおいては、開口部中央の波高と比較すれば明らかなように、波は静穏であり、離岸堤の建設する効果は明らかである。

図-5.22は離岸距離を30 mと50 mとした場合の波高分布であった。この場合も離岸堤背後の波高は低くなるが、離岸堤と汀線との距離が近過ぎることは問題である。図に示された汀線は初期汀線であって、実際には、長さ20~30 mのトンボロが発達する。この状況のもとでは離岸堤背後へ小型船が入るのは困難になる。とくに、離岸距離30 mのものはその可能性が大である。また、図-5.22と図-5.17とを比較すると、図-5.22の場合、離岸距離が短いため開口部の波高分布が急激である。

離岸堤の開口部では一般に離岸流が発達する。これは第8章で詳しく述べるが、実験結果によると、開口部の離岸流の強さは離岸堤の離岸距離の増加とともに減少する。（例えば離岸距離40 mと60 mの場合について実験した結果を示すのが図-7.17と図-7.19である。）

以上の点を考慮すると離岸堤背後を荷揚げ場として利用する際の案としてはケース①の方が優れていることになる。

5.5 打ち上げ高

打ち上げ高については、ケース①~③の各ケースについて測定したが、ケース②と③とは離岸堤の沿岸方向の配置が異なるのみで、得られた特性は良く似たものであった。このためケース③については省略し、ケース①と②の結果について述べることにする。

実験条件として、波は直角入射とし、また表-5.3に示されるように、潮位はT.P. 2.2 m、入射波高は約5 mとした。これは高知海岸の計画波高 $H=10.1$ mと比較すると小さいが、計画波高を与えた場合、波は沖合で砕波するために、打ち上げ高はむしろ小さくなる。打ち上げ高は、波がT.P. 2.20 mより測った水深が約8.5 m付近の海底勾配急変点で砕波する場合に最大値をとると考えられる。このよう

な理由より上記の値を選択した。打ち上げ高の測定は、沿岸方向に25m間隔で行い、平均的な打ち上がり点にピンを立て、実験終了後打ち上がり高とその位置を測定した。測定は波を作用させた直後と、その後砕波波高の測定が済んだ約1.5時間あとの合計2回行った。なお、打ち上げ高は、設定潮位(T.P. 2.20 m)からの高さとした。

測定結果は図-5.23と図-5.24に示されている。図-5.23はケース①の実験結果を、図-5.24はケース②の結果である。いずれの場合も実線は11時間後海浜形状に対する打ち上げ高の分布を示し、破線は12.5時間後の変化した海浜形状に対する打ち上げ高の分布である。各図の縦軸は沖波波高で無次元化した打ち上げ高、横軸は沿岸方向距離である。

図中の $R/H_0 \div 0.92$ の線は、サビールの仮想勾配法によって計算した打ち上げ高である。図-5.23、図-5.24いずれの場合とも、測定された打ち上げ高の平均値は、仮想勾配法によって計算した値よりも大きい値となっている。離岸堤があればそれによって波のエネルギーが消費されるので、平均値は計算値より小さな値となるべきはずであるが、測定値は大きな値となった。

また、図-5.24の場合は離岸堤開口部において打ち上げ高のピークが生じているが、図-5.23の場合、②、③号離岸堤では背後部でピークが生じている。この原因は、離岸堤②、③号の離岸距離が120 mと大きいため、波浪減殺効果よりも離岸堤両端からの回折効果が著しかったためと考えられる。

海浜地形は打ち上げ高と砕波波高の測定を行う間約1.5時間でかなり変化する。例えば図-5.25はケース②の $x = 600$ m断面の変化を代表的に示したものであるが、波形勾配が小さいために、前浜には土砂が堆積する。このため打ち上げ高の測定を開始した直後では直接海岸堤防に波が当たっていたが、地形変化後には波は直接海岸堤防に当たらなくなる。

打ち上げ高はサビールの仮想勾配法による計算値よりも大きい値となったが、この原因を調べるために、離岸堤周辺の波高分布を調べてみる。図-5.26～図-5.29はケース①、②の波高分布である。これらの図によると、いずれの場合も初期汀線近傍で非常に大きな波高となる箇所が存在している。これは測定値が計算値よりも大きかった一つの原因を与えると考えられる。この場合何故波高が高かったかとの理由を明らかにする必要があり、これには離岸堤背後の水位上昇が重要な働きをすると推測されるが、ここでは十分検討することはできなかった。

5.6 離岸堤による海浜変形

実験は全体で3ケース行った。離岸堤の配置と施工順序は図-5.2より図-5.4に示したとおりである。ケース①は、離岸距離が100 mの離岸堤をまず2基設置し、波を作用させたあと5時間後に離岸距離120 mのものを2基追加するものである。離岸堤は最初450 m間隔で2基配置し、その後中央に2基配置する。ケース②では、ケース①の離岸距離100 mおよび120 mを、おのおの30 mと90 mと変更した。その他の条件、例えば施工順序についてはケース①と同一である。ケース③は、離岸距離がケース②と同一であるが、離岸堤の配置を変えている。すなわち、まず30 mの離岸距離のものを2基左側に並べ、次いで5時間後に残り2基を右側に並べた。

海浜形状は、各ケースとも 0, 5, 10, 11, 12.5 時間の 5 回測定されたが、ここでは 0, 5, 10 時間のデータを用いて、地形変化に及ぼす離岸距離と施工順序の影響について議論する。

ケース①の海浜形状は図— 5.30～図— 5.32 に示される通りである。図— 5.30 は初期形状であり、等深線は海岸堤防と平行である。この海浜に潮位 T.P. -0.04 m, 沖波波高 2.72 m, 周期 8.5 秒の波を 5 時間作用させたときの海浜形状が図— 5.31 である。離岸堤背後にトンボロは形成されるものの、トンボロの大きさは小さい。離岸堤は水深約 8 m に設置されたが、深浅図を見ると、実際に地形変化が生ずるのは水深約 3 m までである。離岸堤の離岸距離が大きくなっても、トンボロは大きくならないことがわかる。図— 5.32 は図— 5.31 の状態において離岸堤間の中央に 2 基離岸堤を追加し、さらに 5 時間波を作用させたときの海浜形状を示す。離岸距離が長くなったため、中央 2 基の離岸堤背後のトンボロはさらに小さくなった。

ケース②の実験結果は、図— 5.33～図— 5.35 に示される。図— 5.33 は初期形状を、図— 5.34 は 5 時間後形状を、さらに図— 5.35 は 10 時間後の形状を示す。ケース①の 10 時間後形状とケース②のものとを比較すると、中央の 2 基の離岸堤については、離岸距離が 90 m と短いケース②の方がトンボロが大きいくことがわかる。このように離岸距離が大きくなるとトンボロが小さくなるのは、離岸距離が長くなるにつれ、波の回折効果がより著しくなるためである。

ケース③の実験結果は図— 5.36～図— 5.38 に示される。10 時間後の海浜形状（図— 5.38）を見ると、ケース②の 10 時間後の海浜形状と良く似ていることがわかる。ただし離岸堤の配置は異なっている。このようにケース②と③の施工順序の海浜形状へ及ぼす影響が大きくないのは、波が直角入射するという条件であったためである。波が直角入射するのであれば、4 基の離岸堤による地形変化は個々の離岸堤による地形変化の重ね合わせになっている。

ケース②と③において、離岸距離 (ℓ) 50 m のものと 30 m のものとを比較したとき、 $\ell = 30$ m のものでは水深 3 m の等深線の前進が見られるが、 $\ell = 50$ m ではその前進は明らかではない。すなわち、 $\ell = 50$ m のときよりも $\ell = 30$ m のときの方が離岸堤背後の地形変化が大きい。

ケース①～③のいずれの場合においても、離岸堤沖合の地形には有意な変形は少なく、沖合の土砂が堤内へ運ばれたという形跡はない。ここで行ったような模型実験では、トンボロの形成に要する土砂は単に離岸堤の左右岸より供給されるのみである。

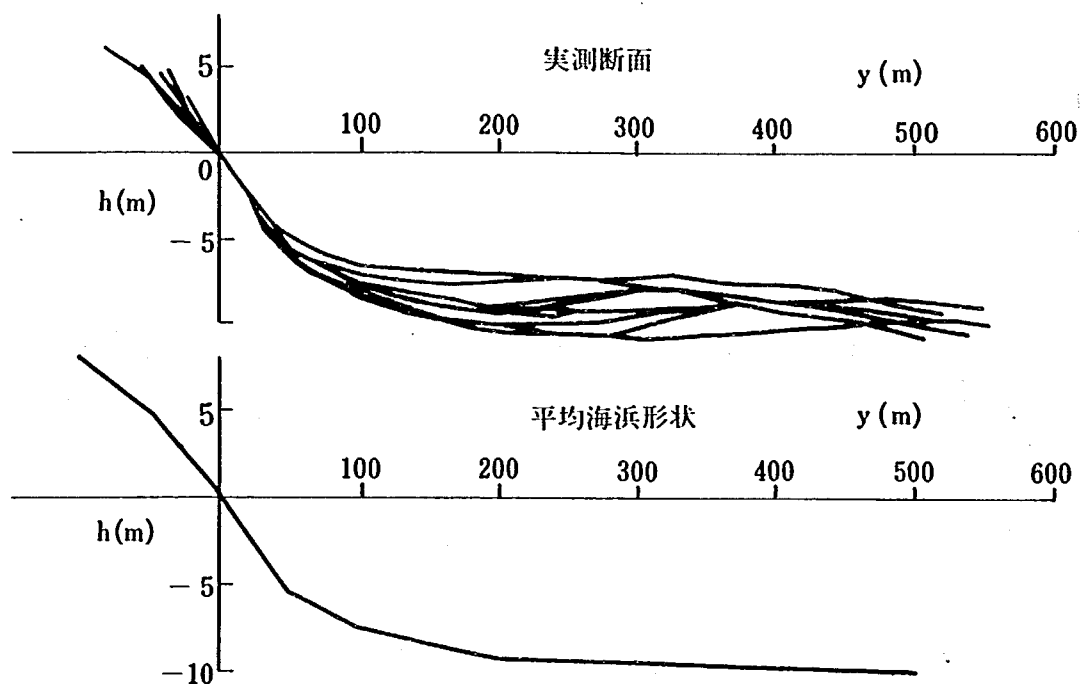


図- 5. 1 高知海岸の代表断面形状と平均海浜形状

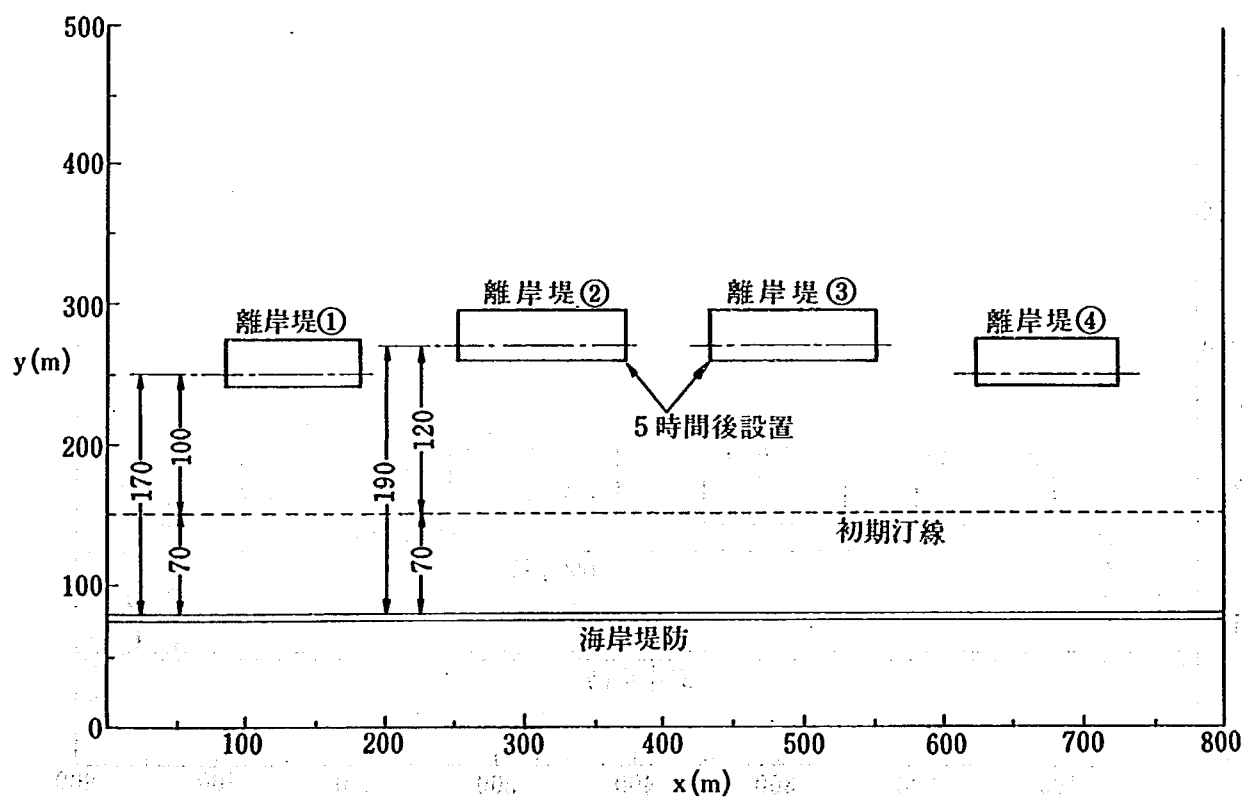


図- 5. 2 模型平面図 (ケース①)

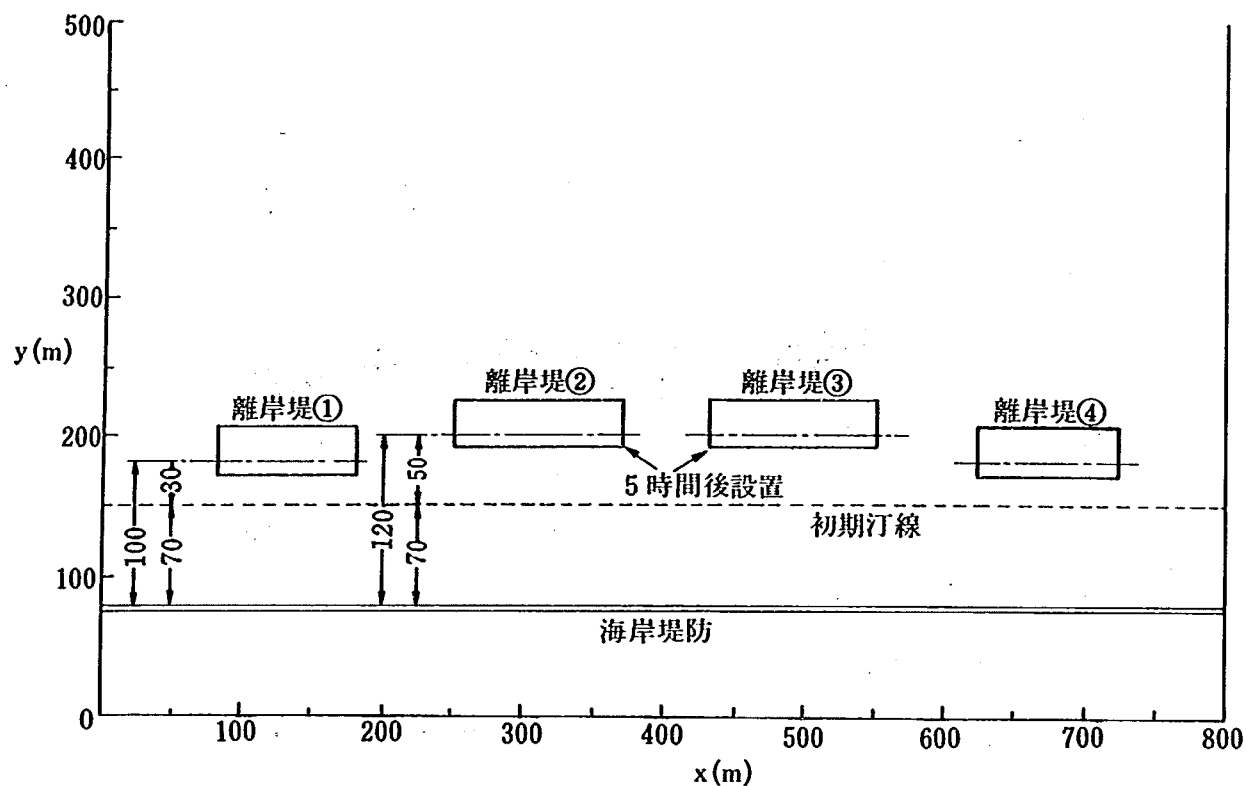


図- 5. 3 模型平面図. (ケース②)

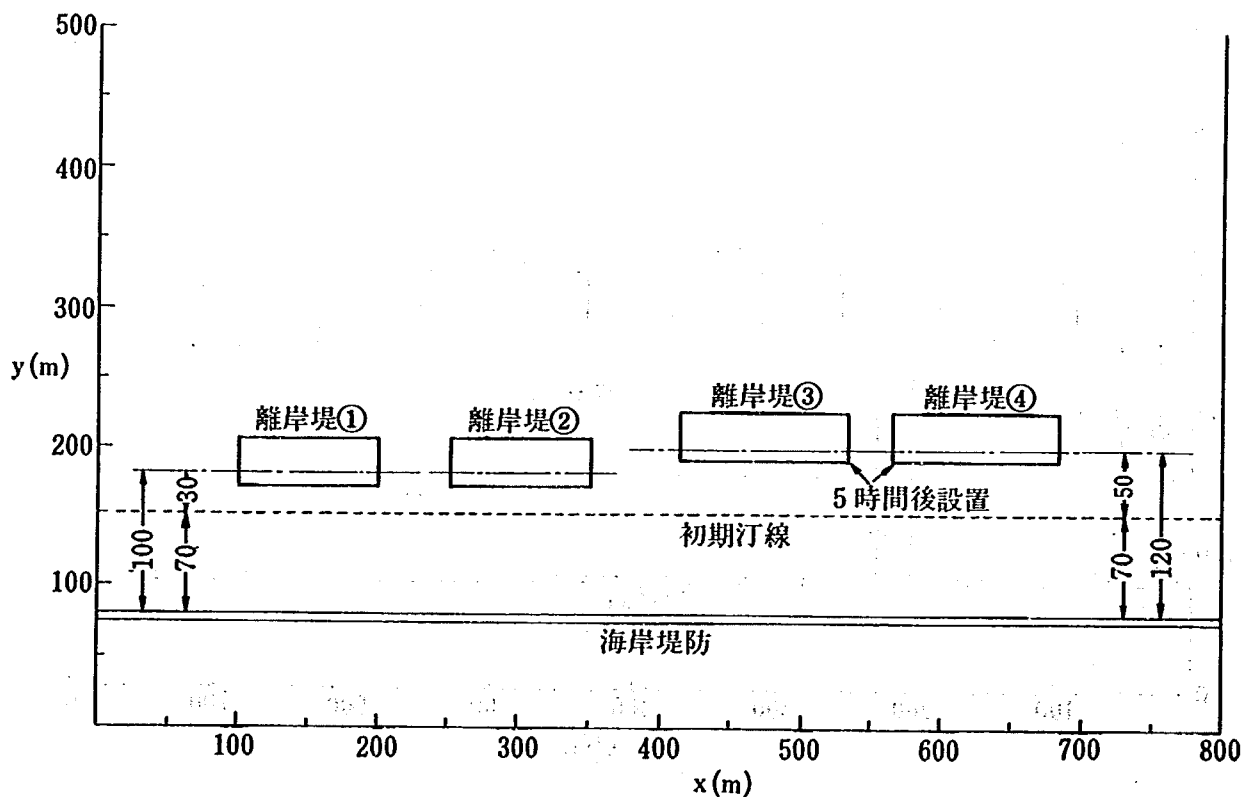


図- 5. 4 模型平面図 (ケース③)

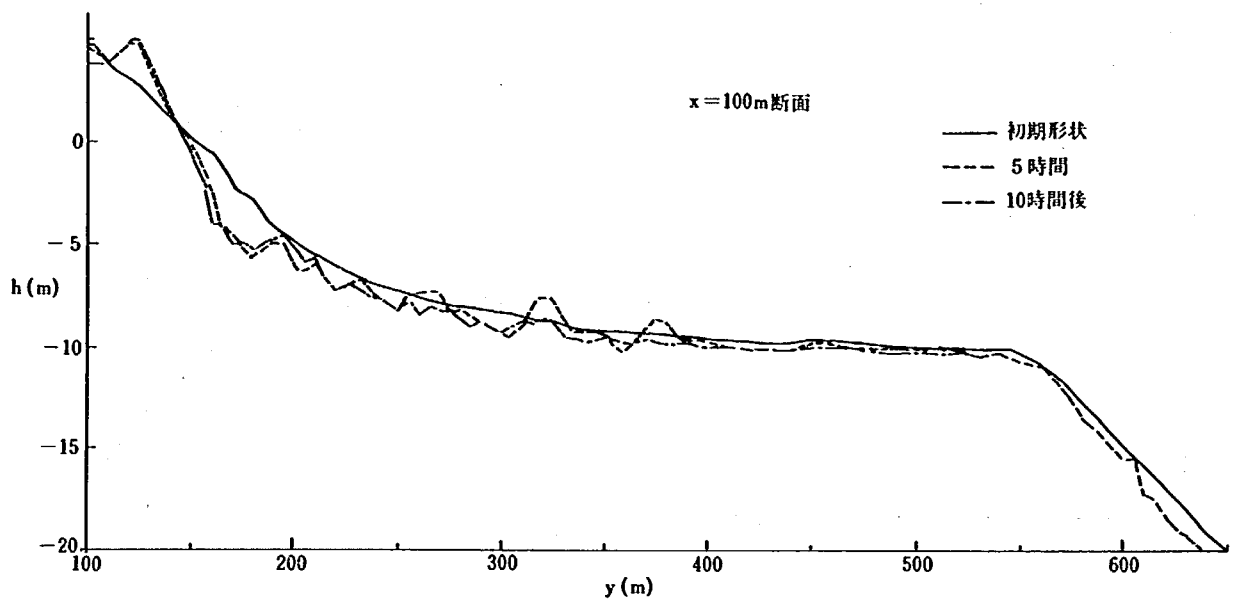


図- 5. 5 海浜断面形状の変化 (ケース①)

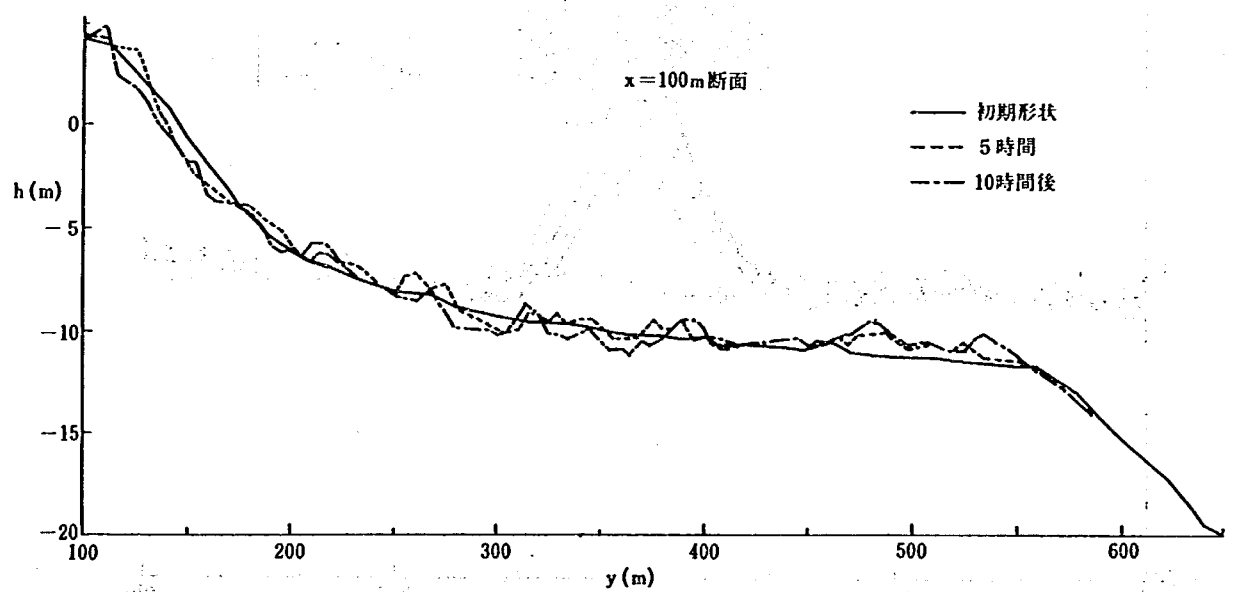


図- 5. 6 海浜断面形状の変化 (ケース②)

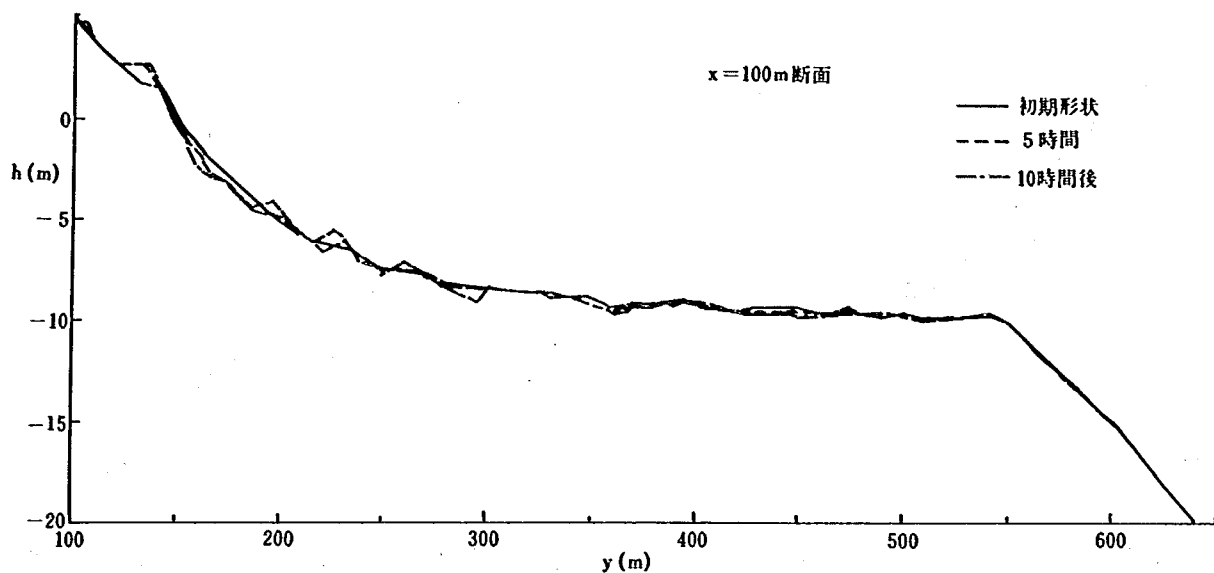


図- 5. 7 海浜断面形状の変化 (ケース③)

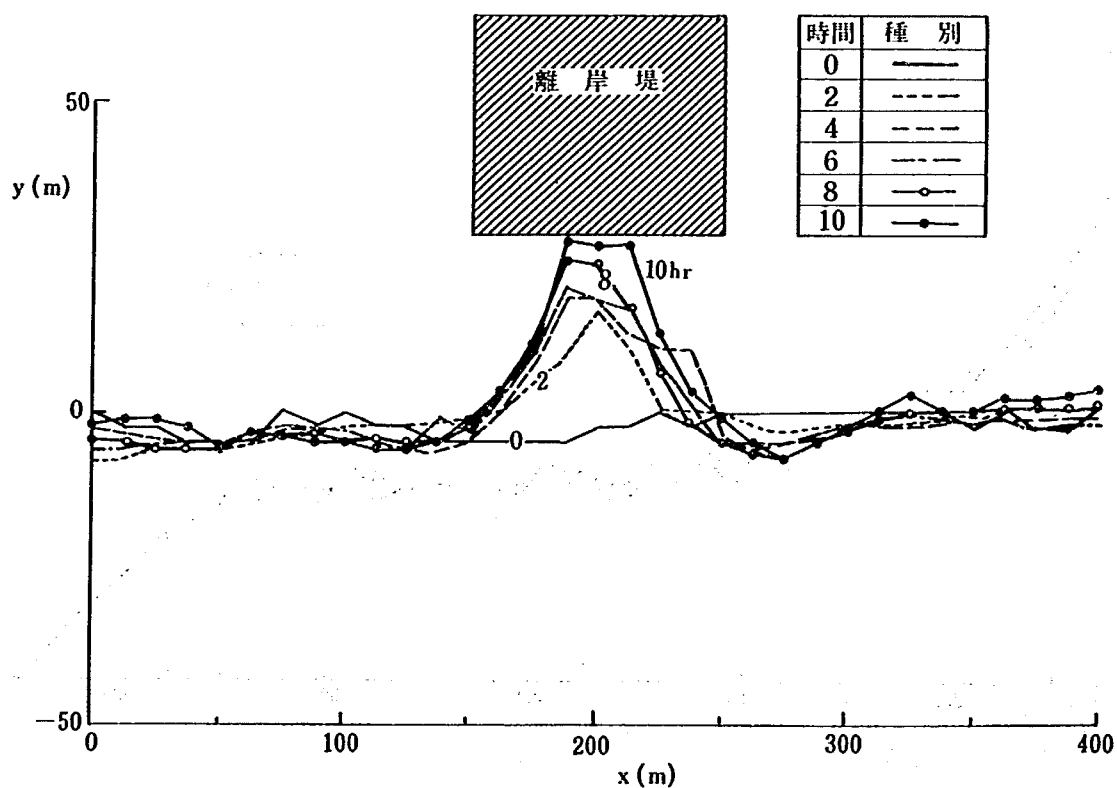


図- 5. 8 汀線変化 (ケース①)

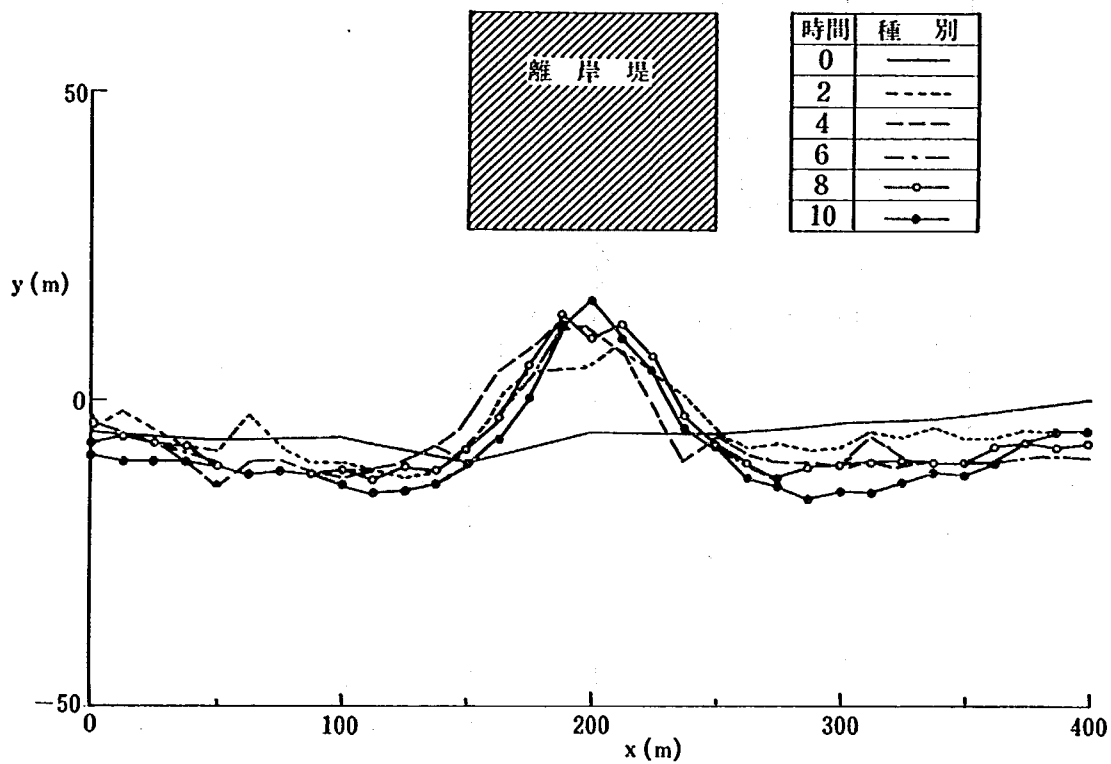


図- 5.9 汀線変化 (ケース②)

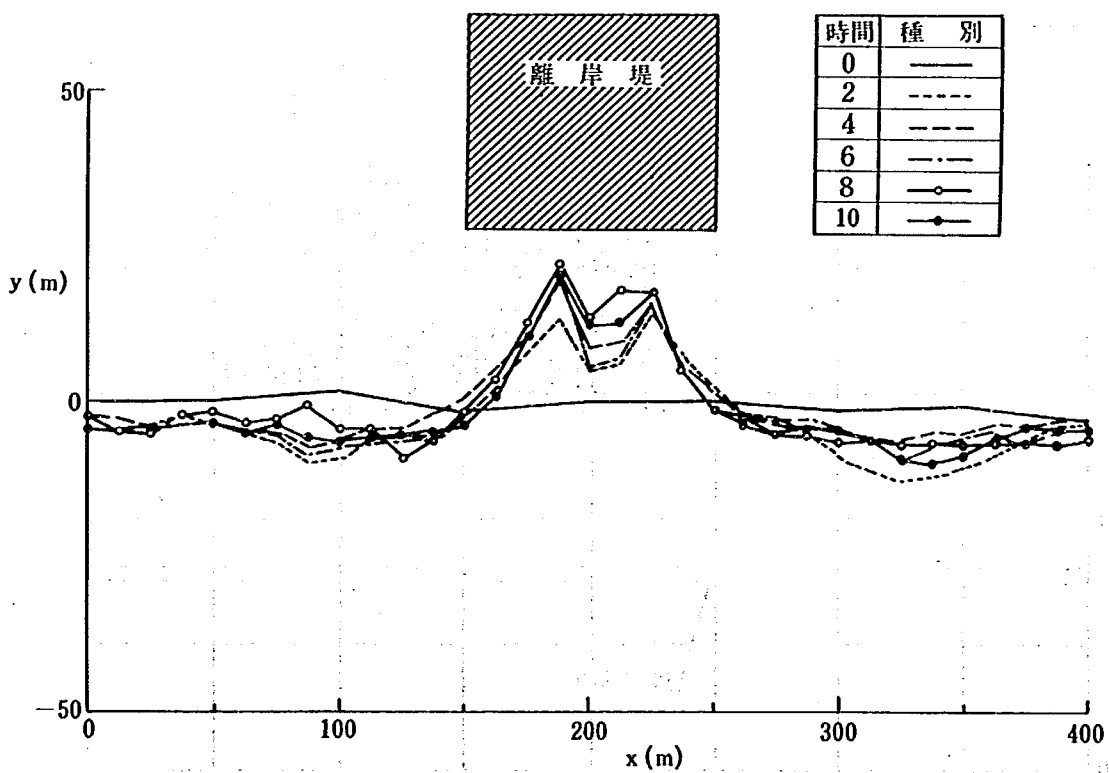
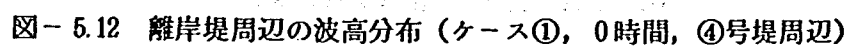
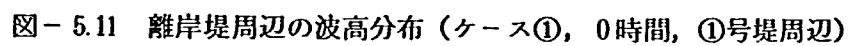


図- 5.10 汀線変化 (ケース③)



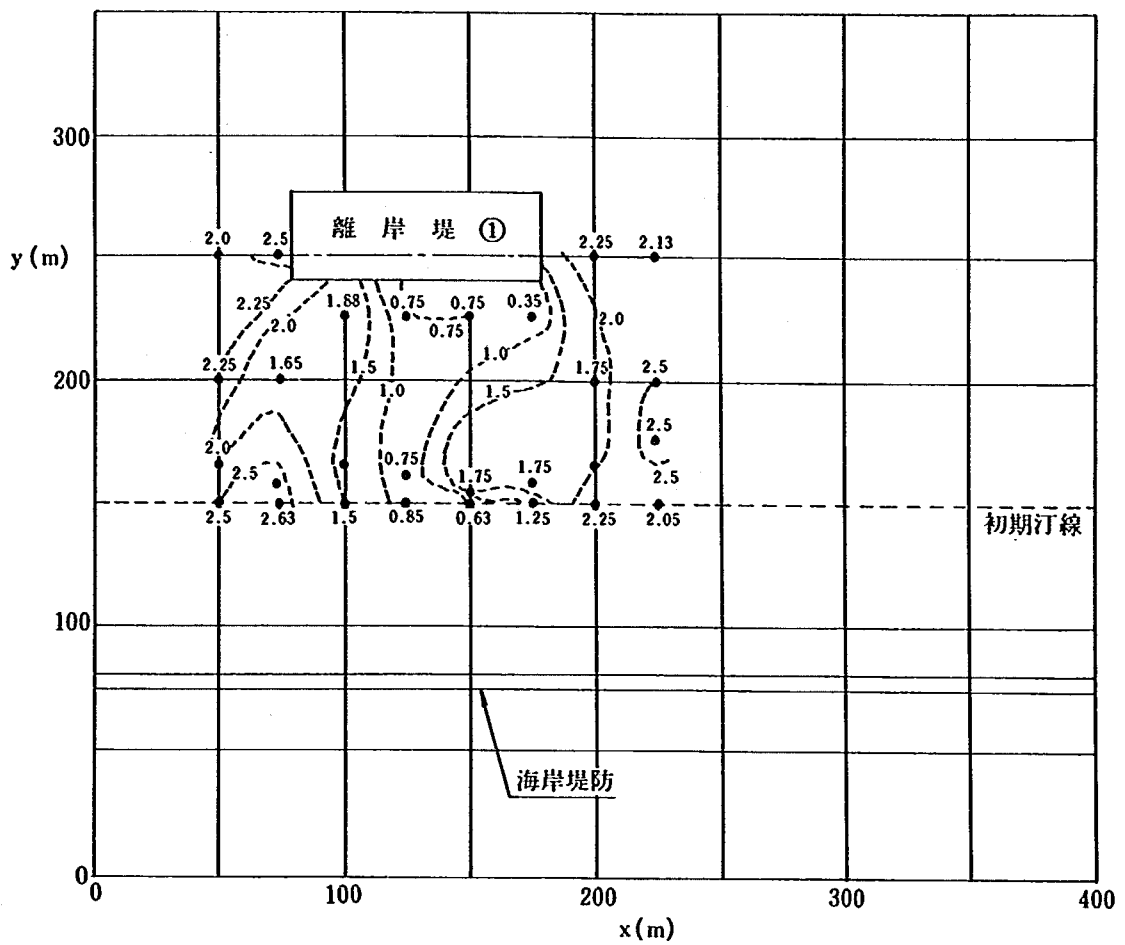


図- 5.13 離岸堤周辺の波高分布 (ケース①, 5時間後, ①号堤周辺)

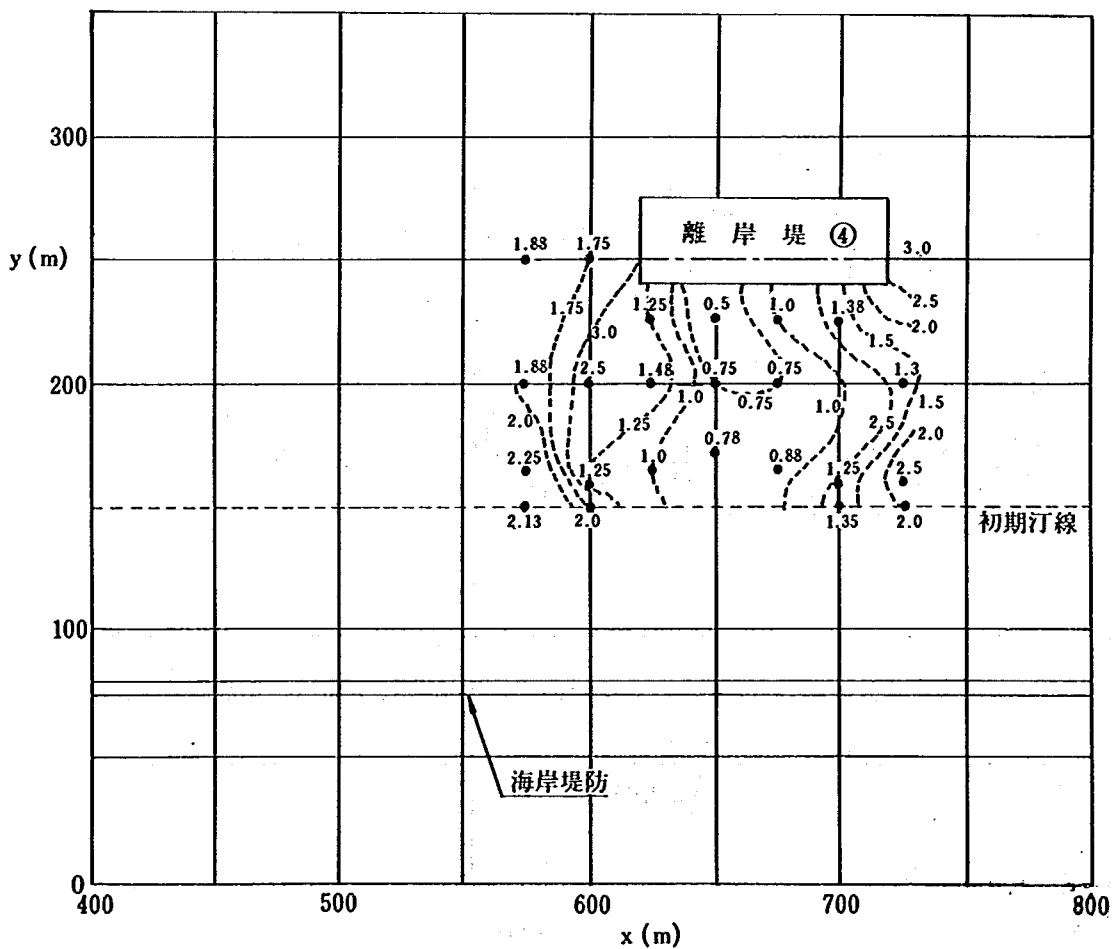


図- 5.14 離岸堤周辺の波高分布 (ケース①, 5時間後, ④号堤周辺)

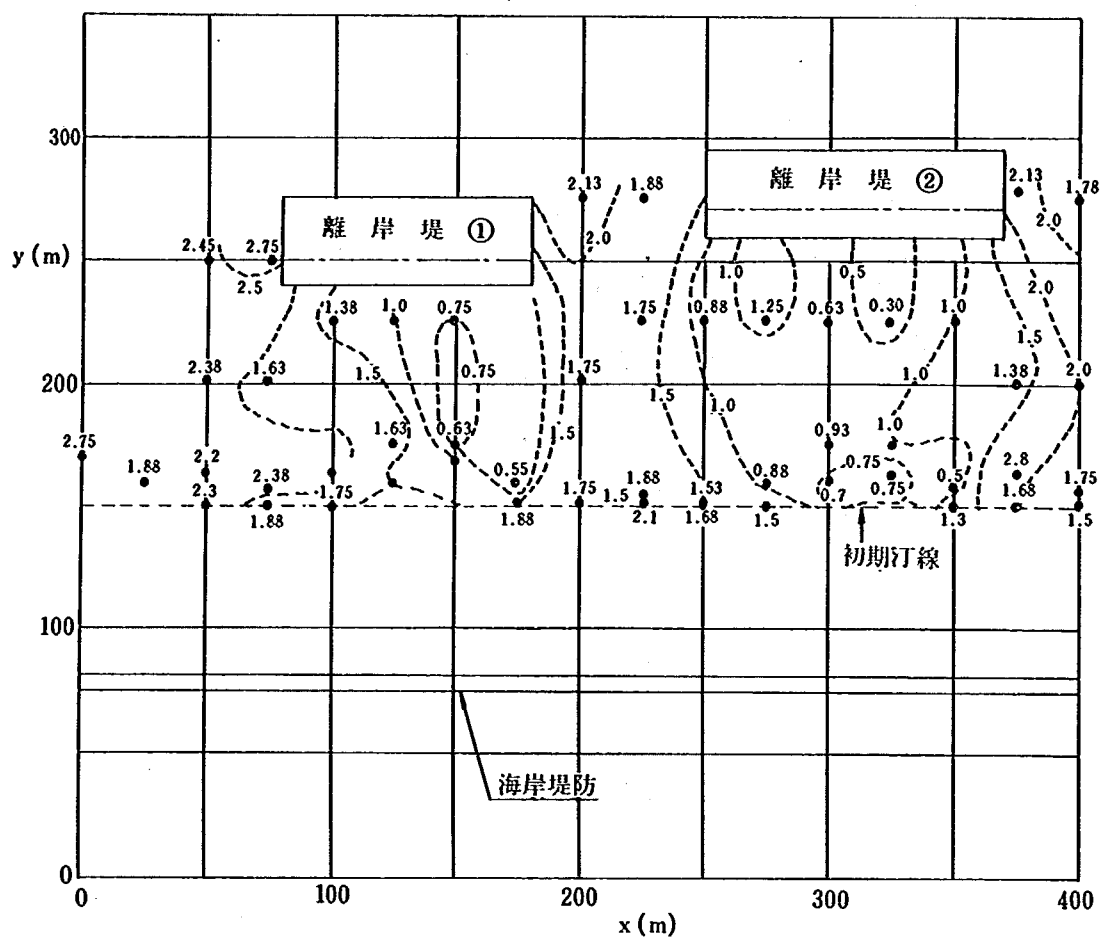


図- 5.15 離岸堤周辺の波高分布 (ケース①, 10時間, ①, ②号堤周辺)

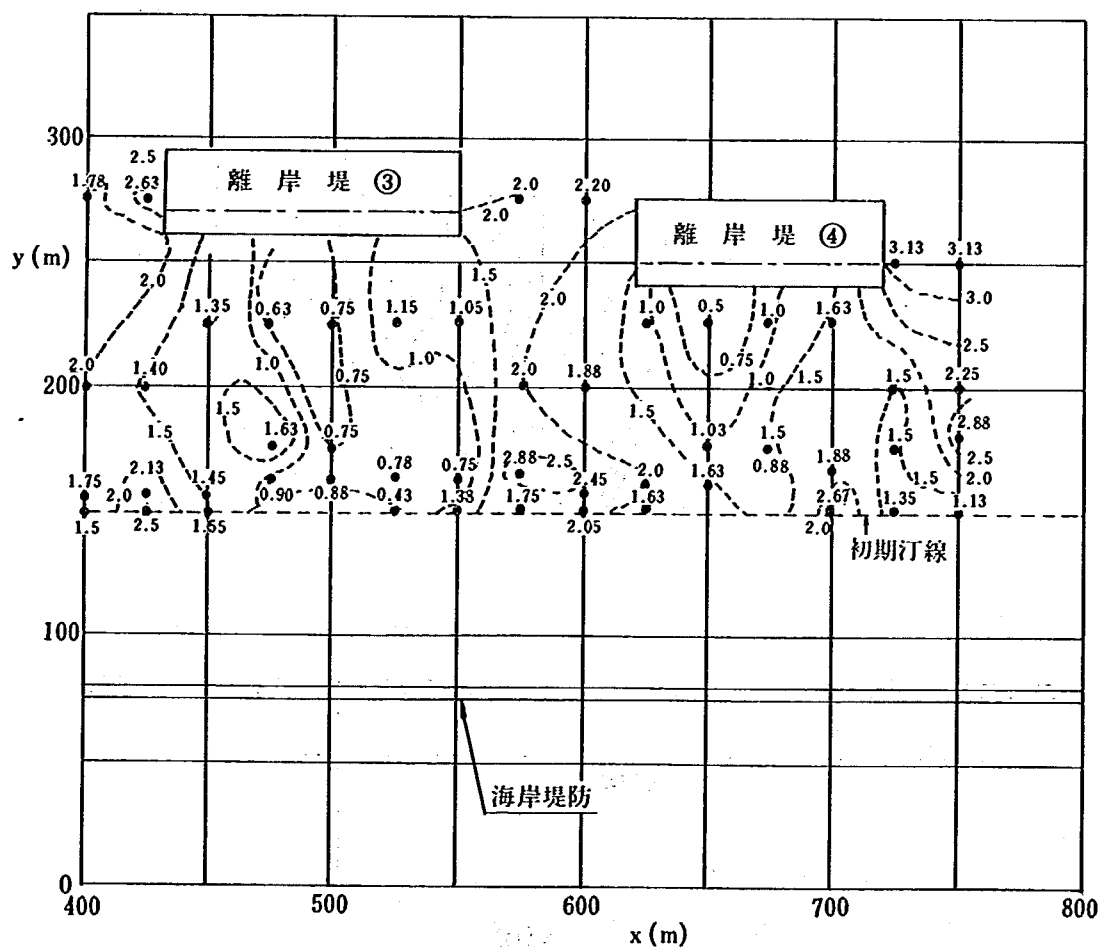


図- 5.16 離岸堤周辺の波高分布 (ケース①, 10時間, ③, ④号堤周辺)

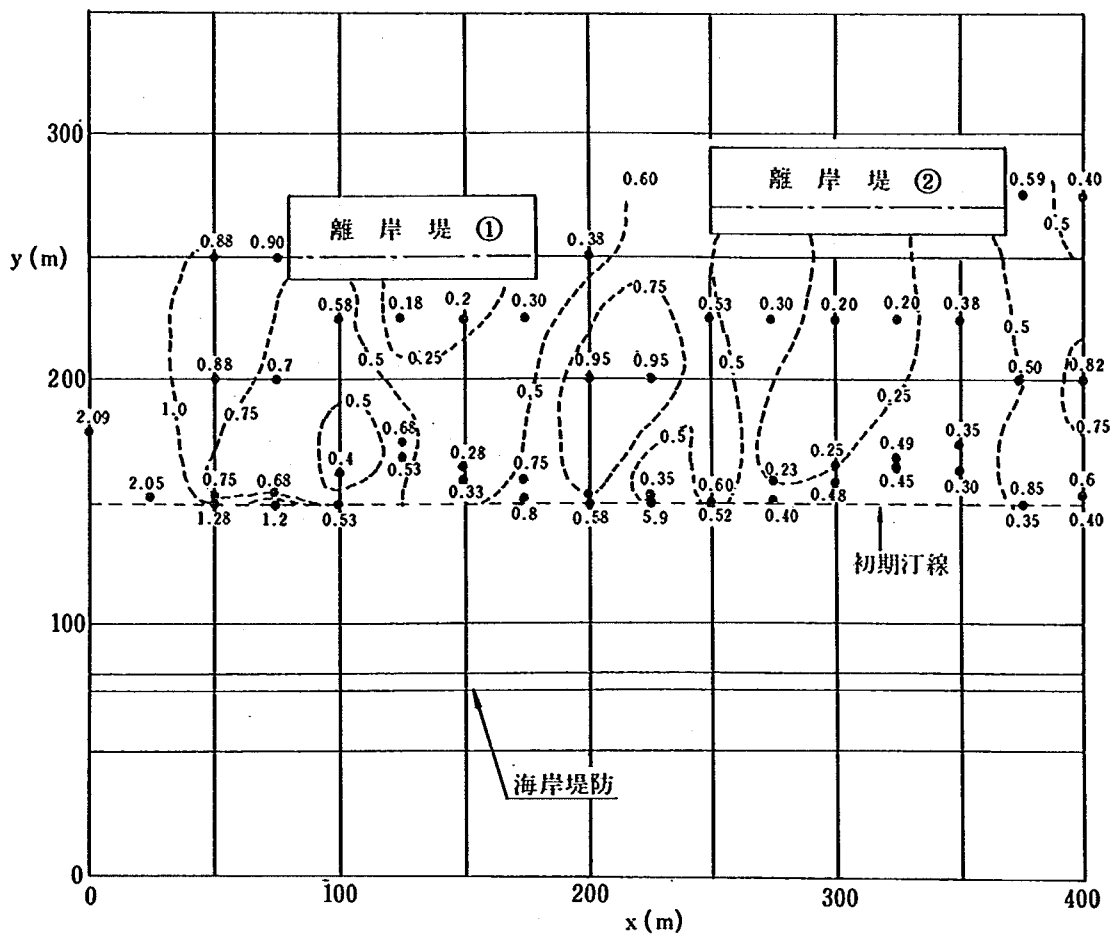


図- 5.17 離岸堤周辺の波高分布 (ケース①, 静穏波, ①, ②号堤周辺)

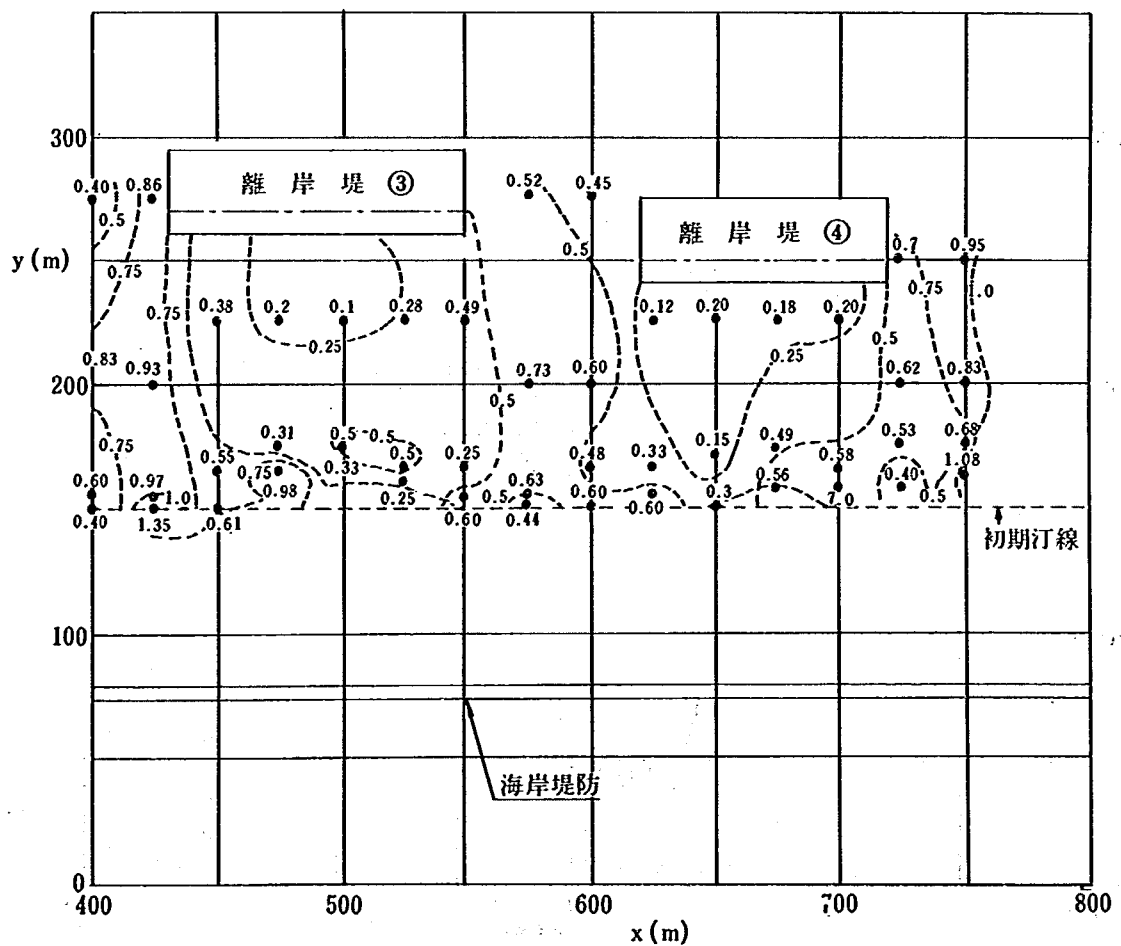


図- 5.18 離岸堤周辺の波高分布 (ケース①, 静穏波, ③, ④号堤周辺)

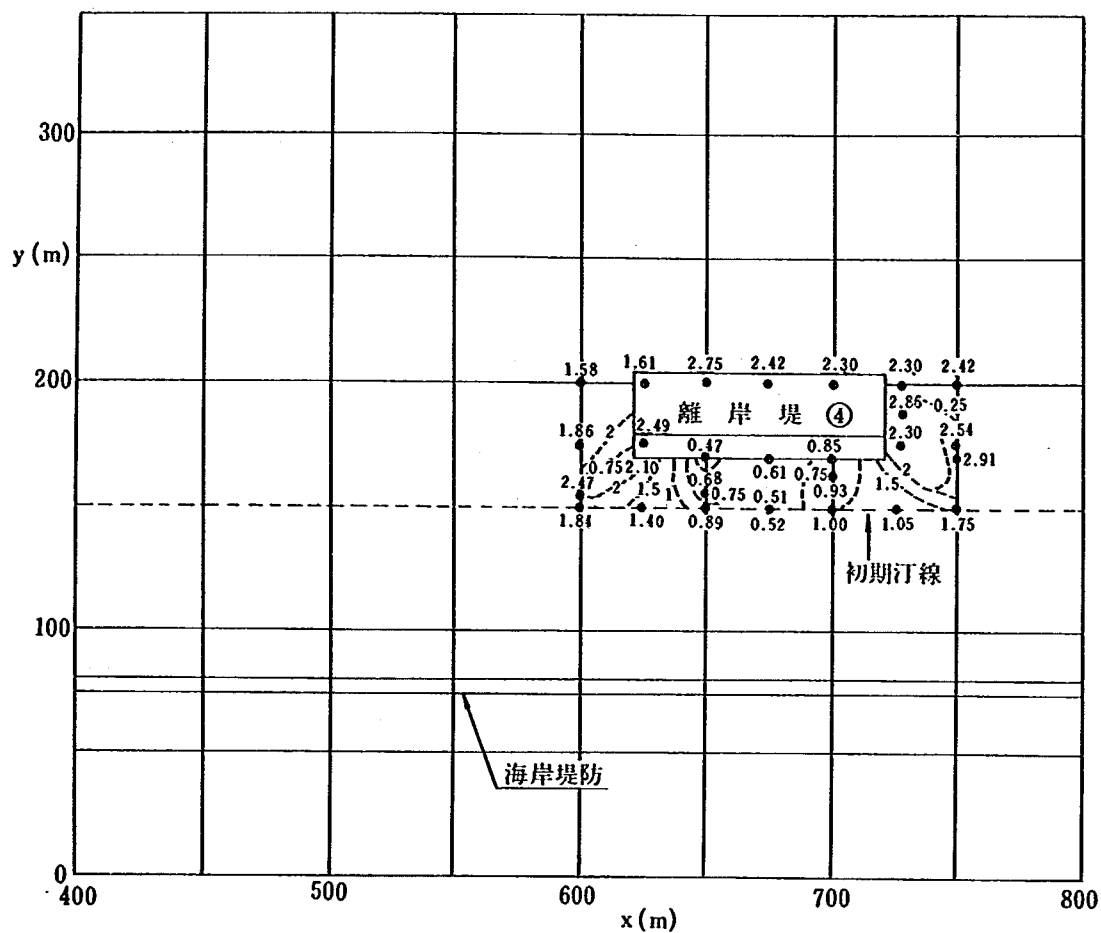


図- 5.19 離岸堤周辺の波高分布 (ケース②, 0時間, ④号堤周辺)

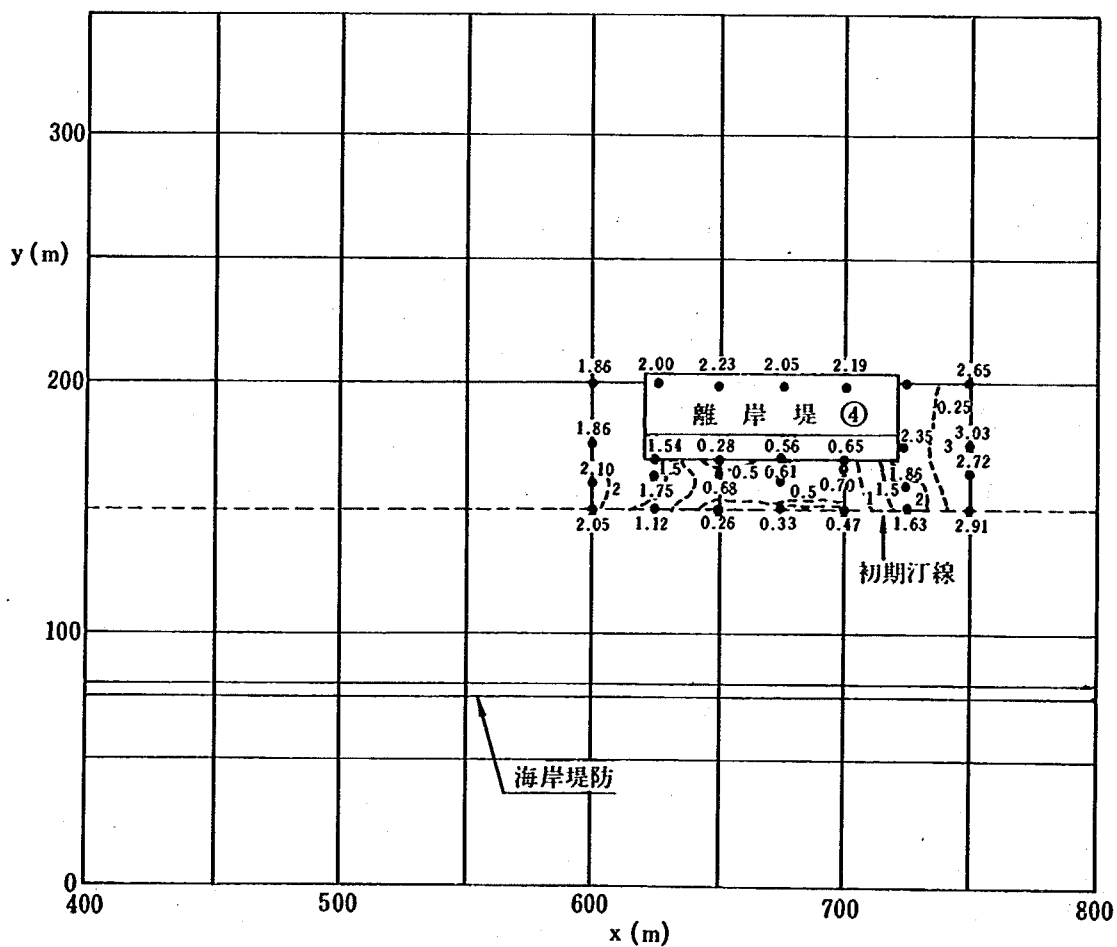


図- 5.20 離岸堤周辺の波高分布 (ケース②, 5時間後, ④号堤周辺)

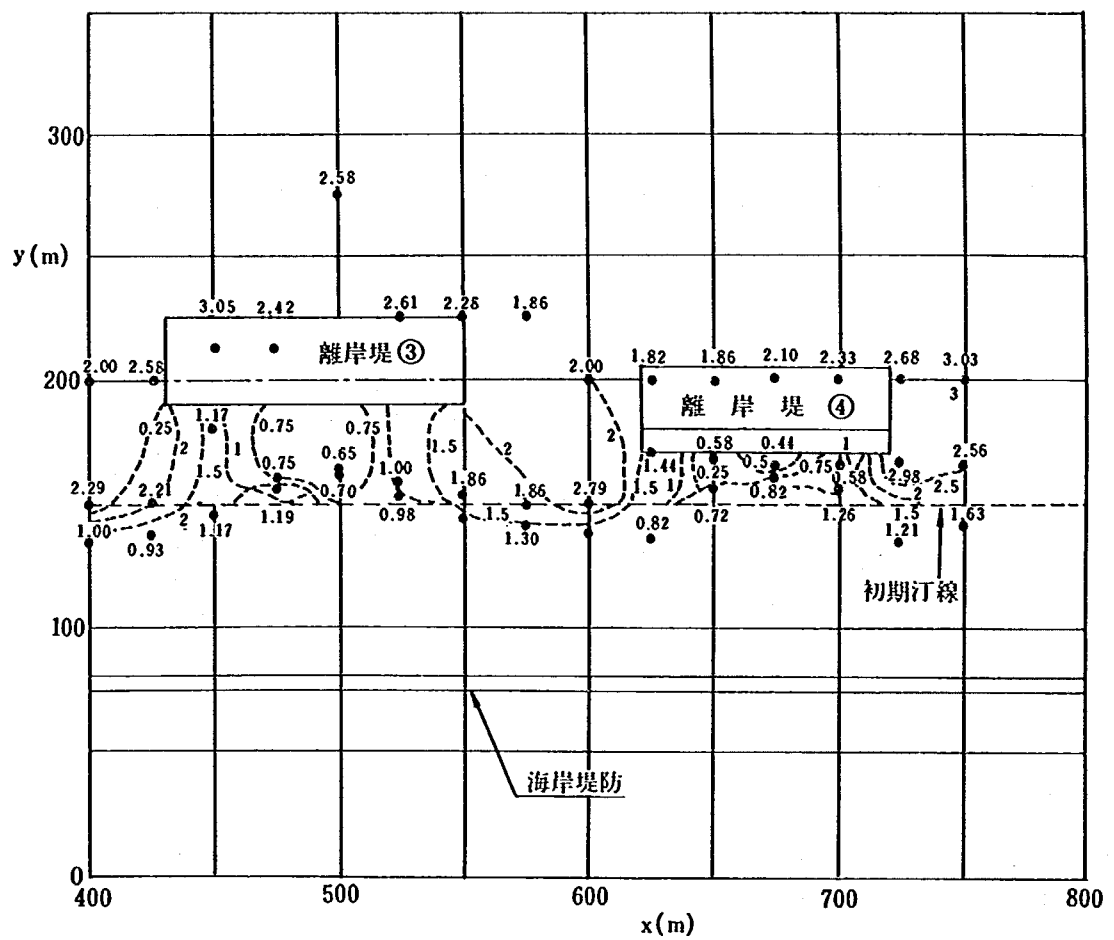


図- 5.21 離岸堤周辺の波高分布 (ケース②, 10時間後, ③, ④号堤周辺)

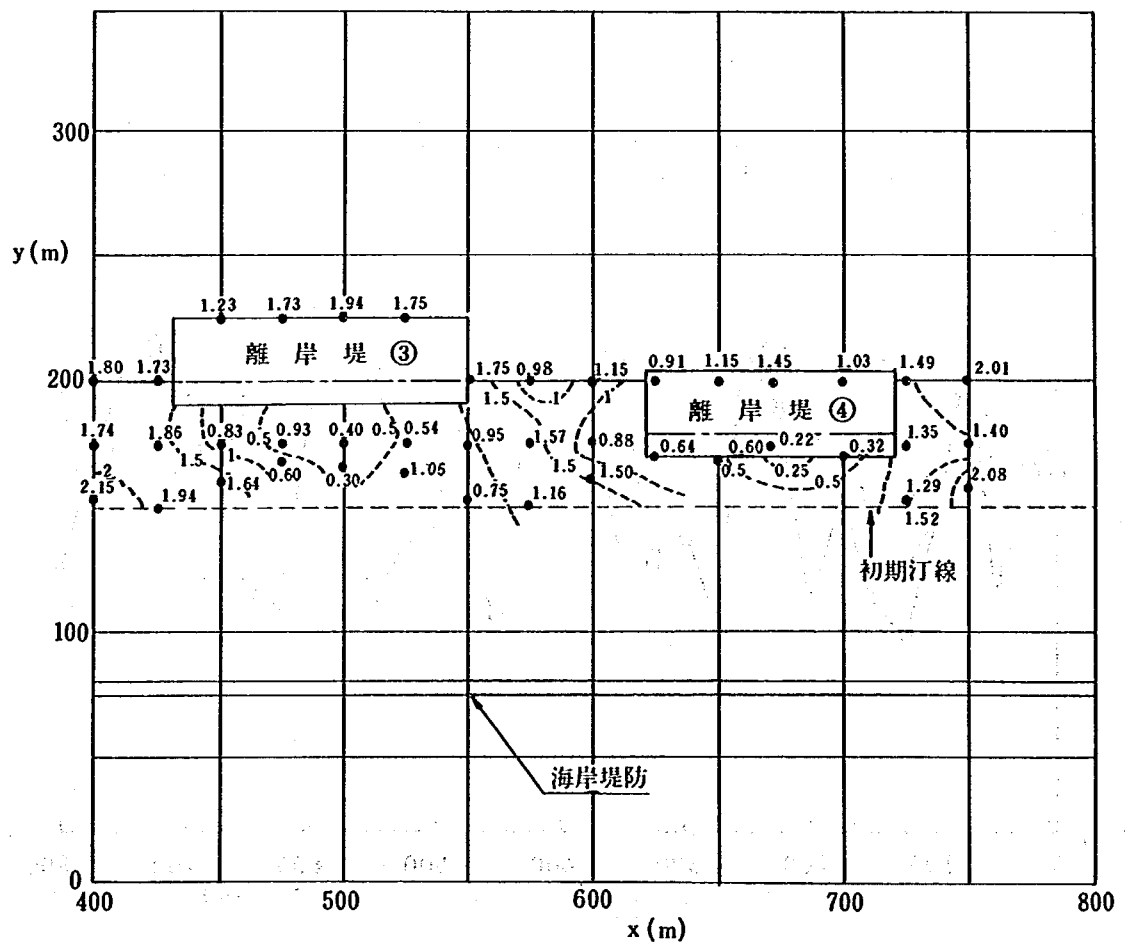


図- 5.22 離岸堤周辺の波高分布 (ケース②, 静穏波, ③, ④号堤周辺)

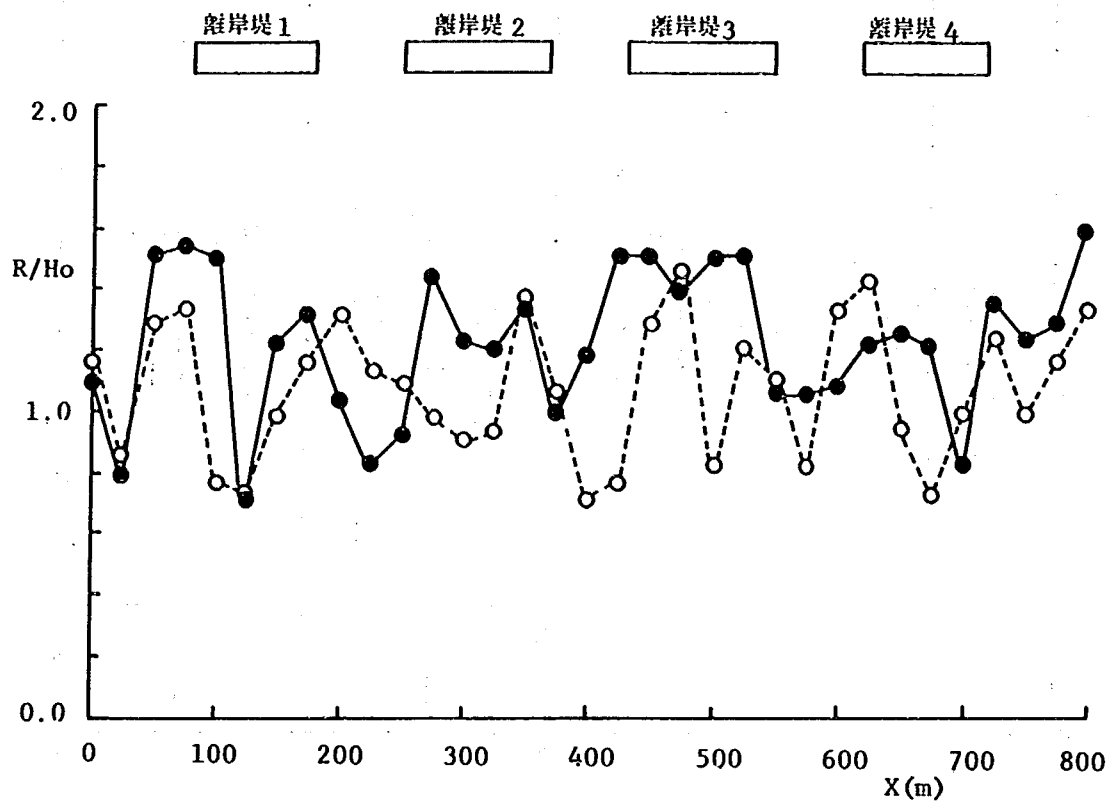


図- 5.23 打ち上げ高の沿岸方向分布 (ケース①)

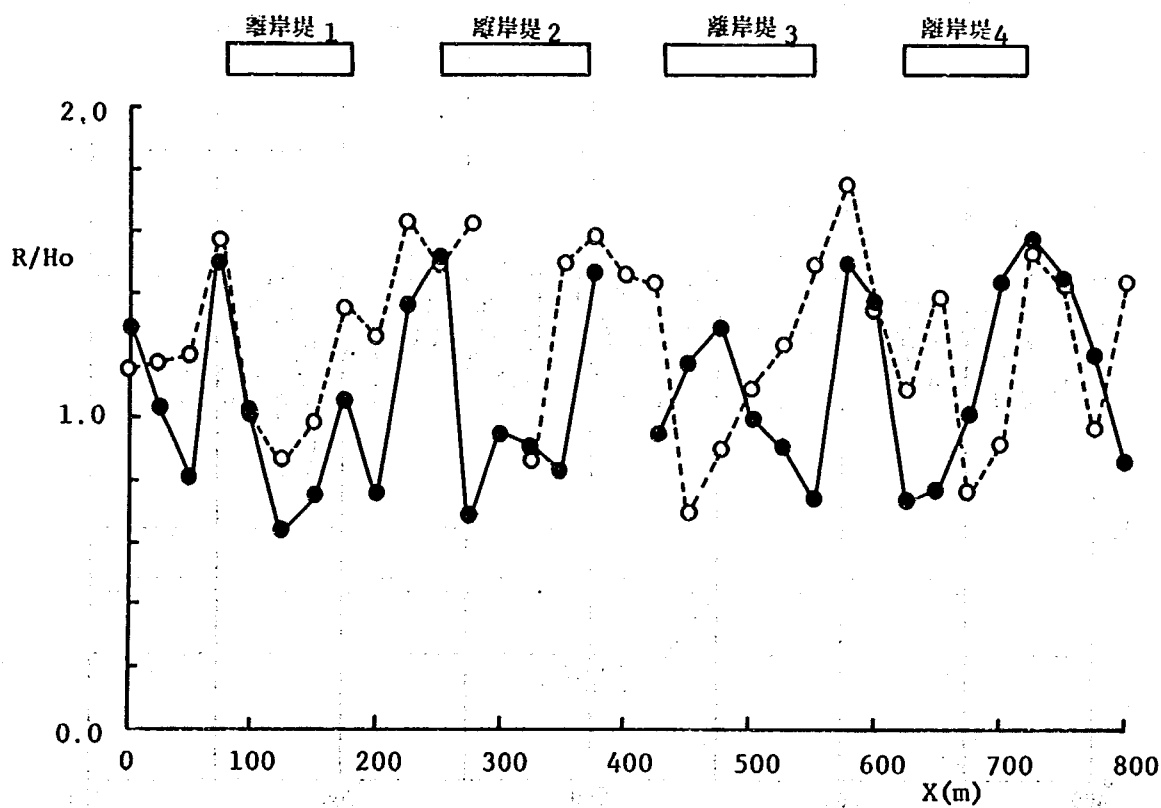


図- 5.24 打ち上げ高の沿岸方向分布 (ケース②)

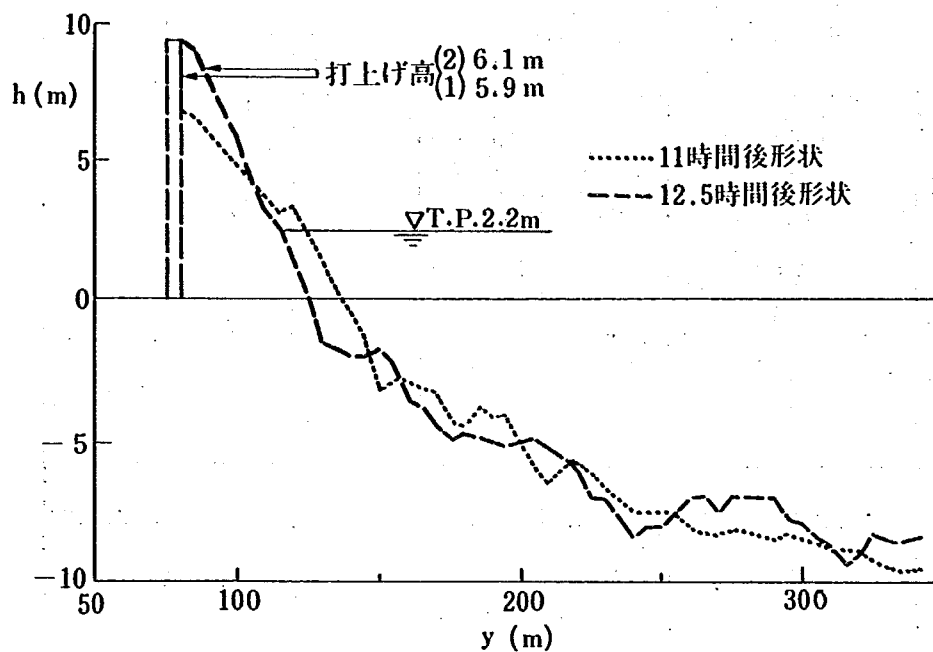


図- 5.25 打ち上げ高と海浜形状の変化 (ケース②, $x = 600\text{ m}$ 断面)

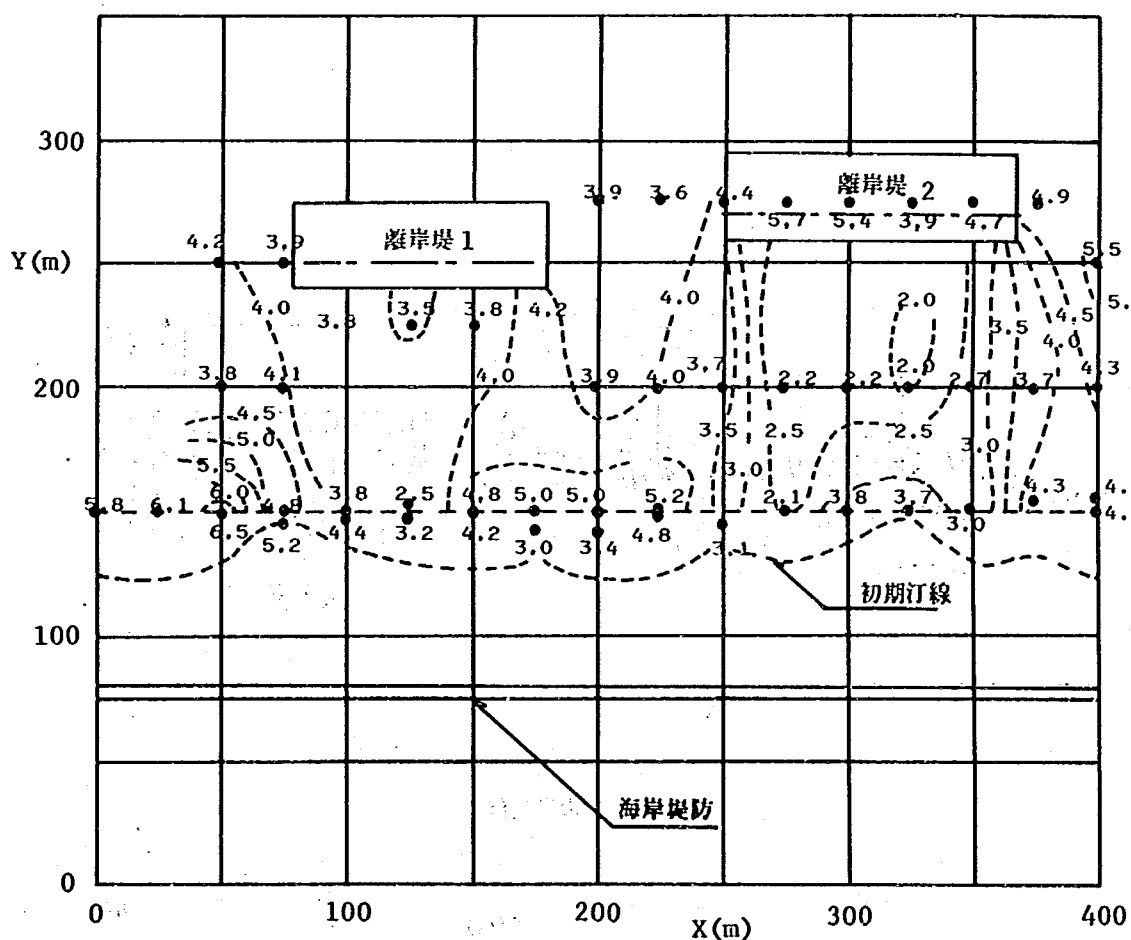


図- 5.26 離岸堤周辺の波高分布 (ケース①, 12.5 時間, ①, ②号堤周辺)

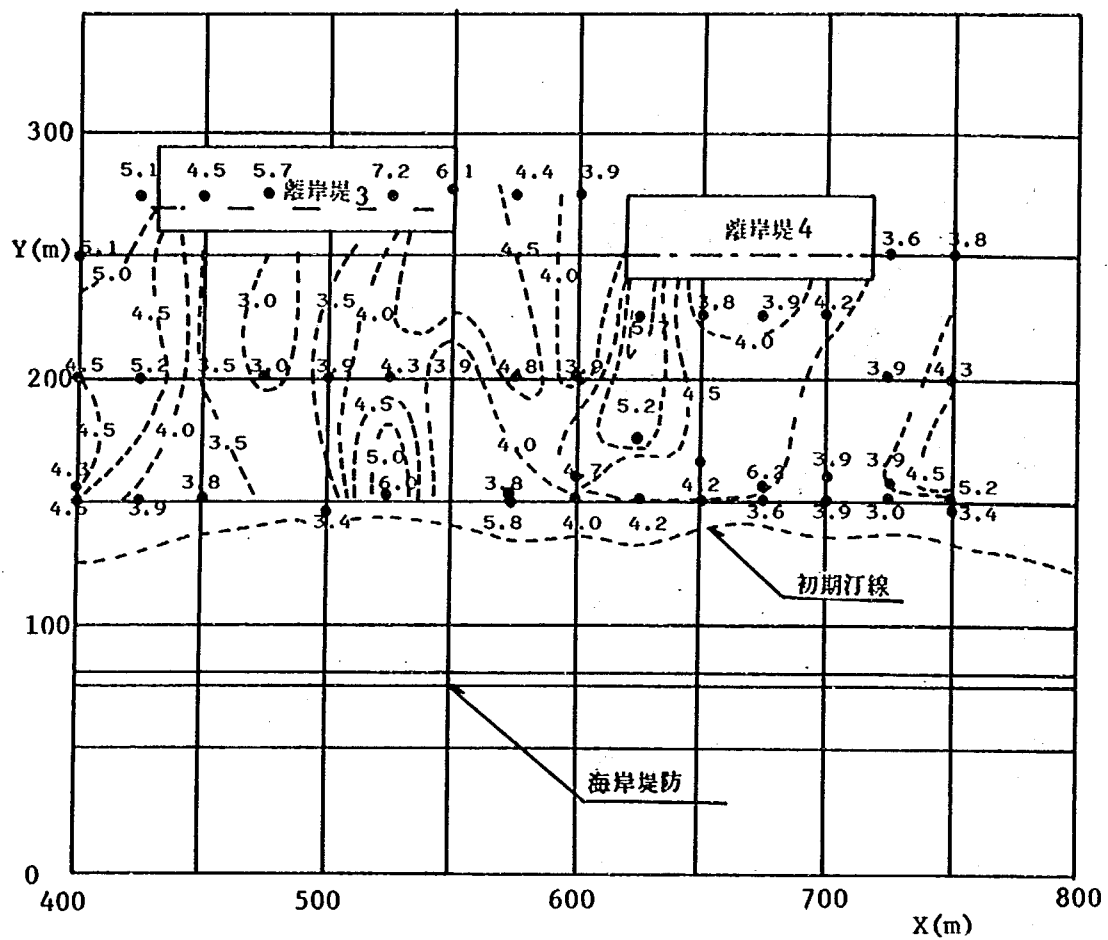


図-5.27 離岸堤周辺の波高分布 (ケース①, 12.5時間, ③, ④号堤周辺)

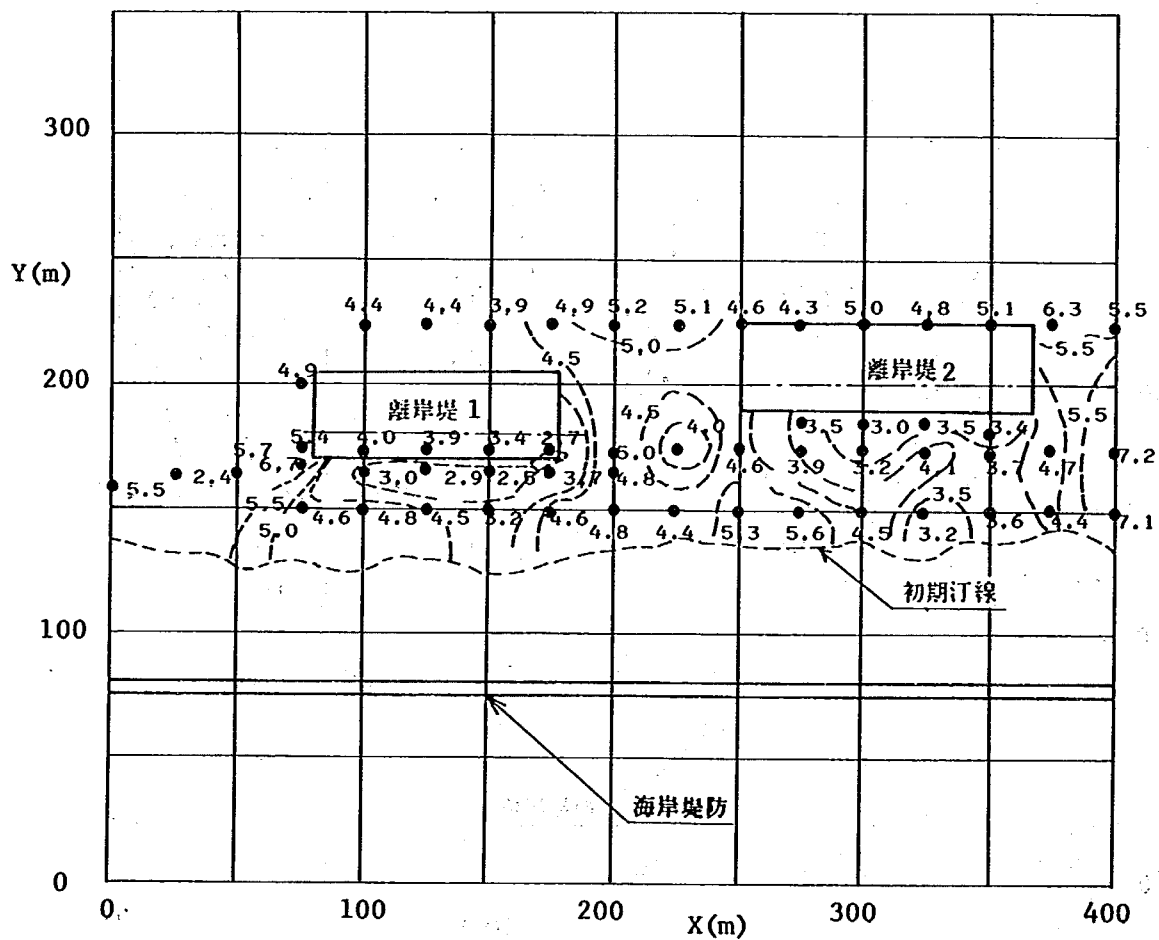


図-5.28 離岸堤周辺の波高分布 (ケース②, 12.5時間, ①, ②号堤周辺)

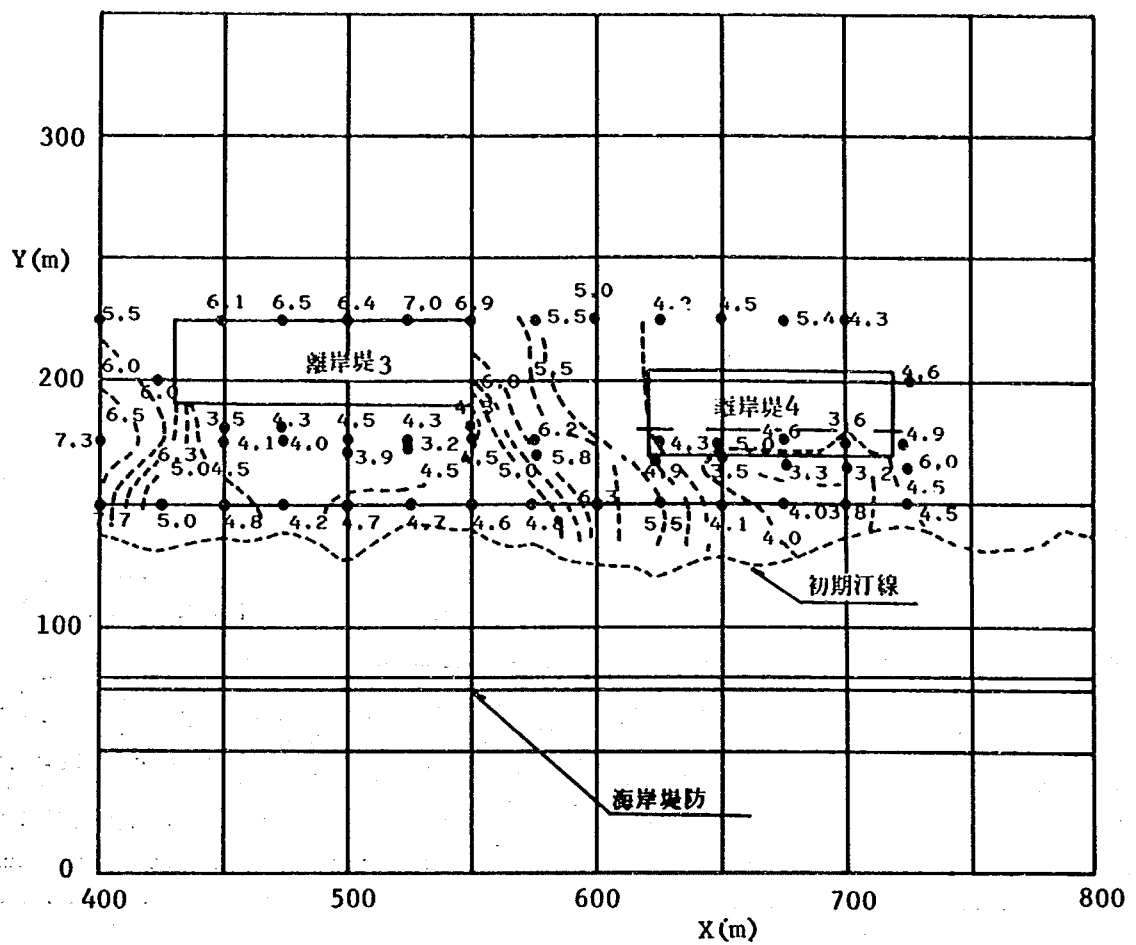


図-5.29 離岸堤周辺の波高分布 (ケース②, 12.5時間, ③, ④号堤周辺)

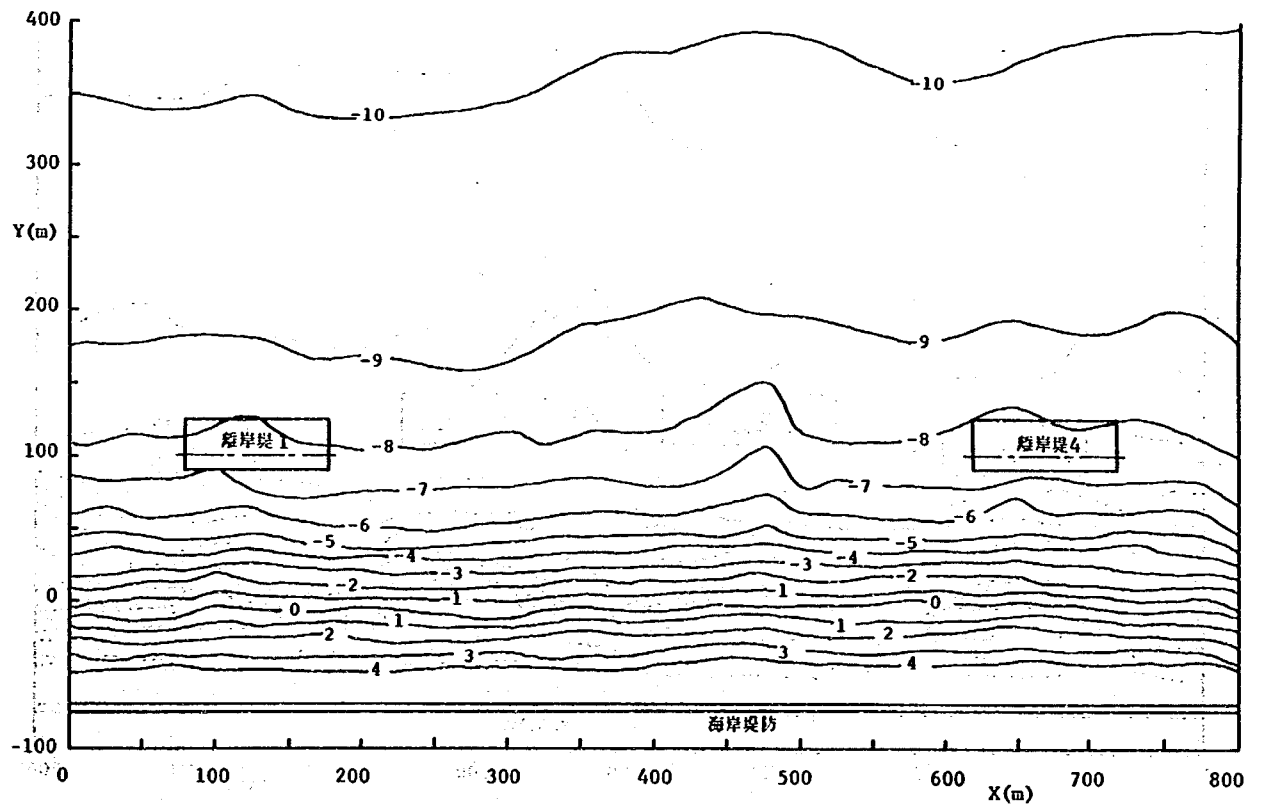


図-5.30 海浜形状 (ケース①, 初期形状)

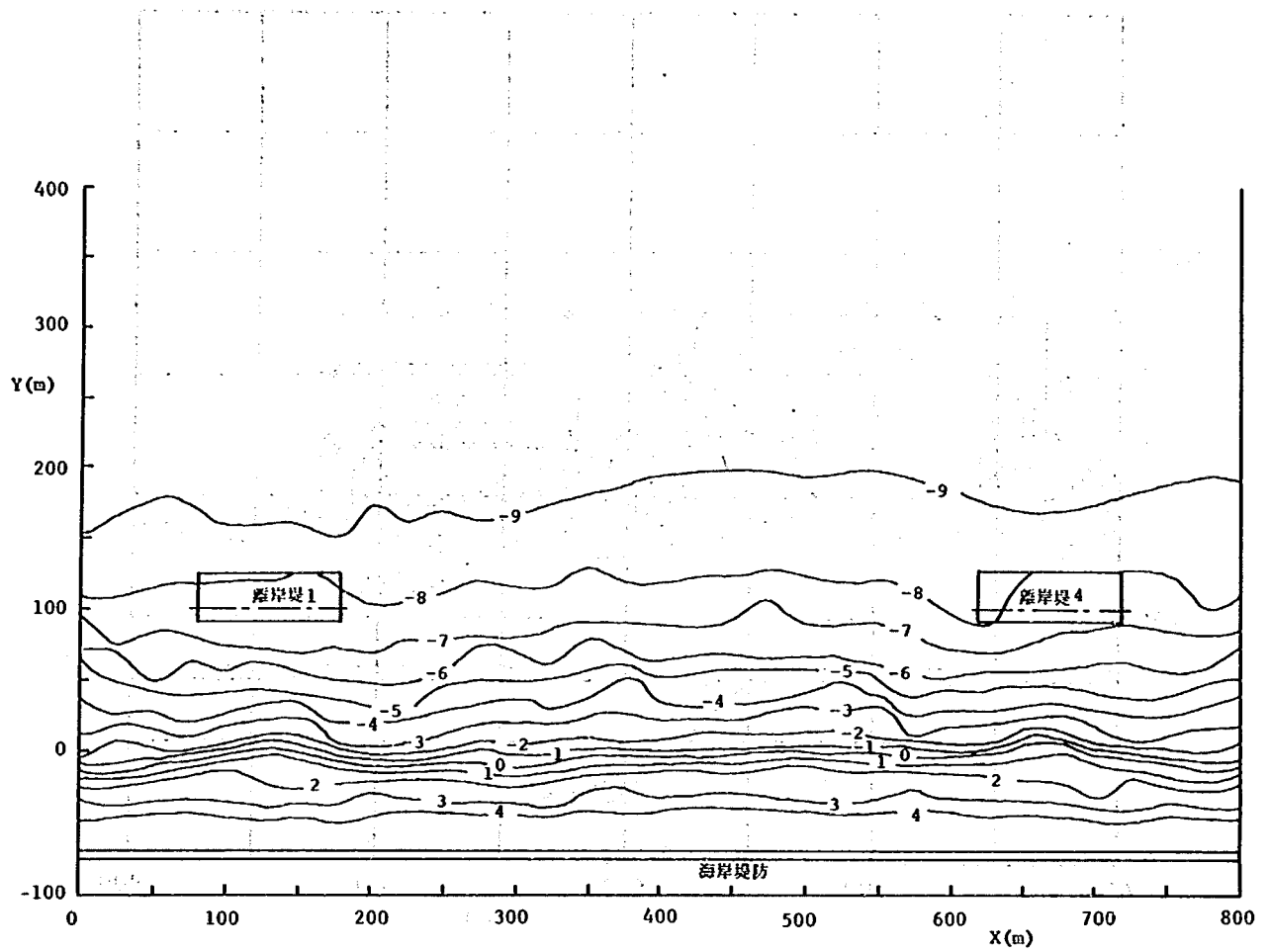


図- 5.31 海浜形状 (ケース①, 5 時間後)

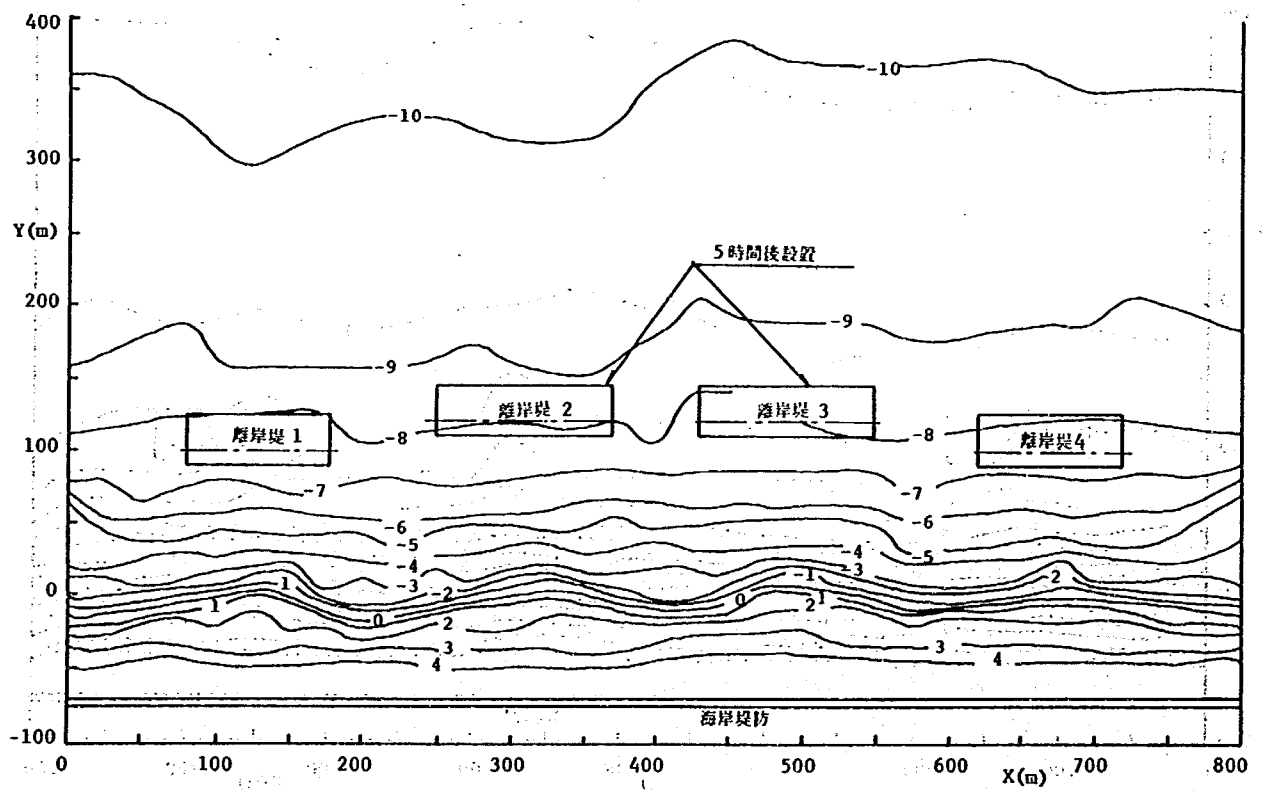


図- 5.32 海浜形状 (ケース①, 10 時間後)

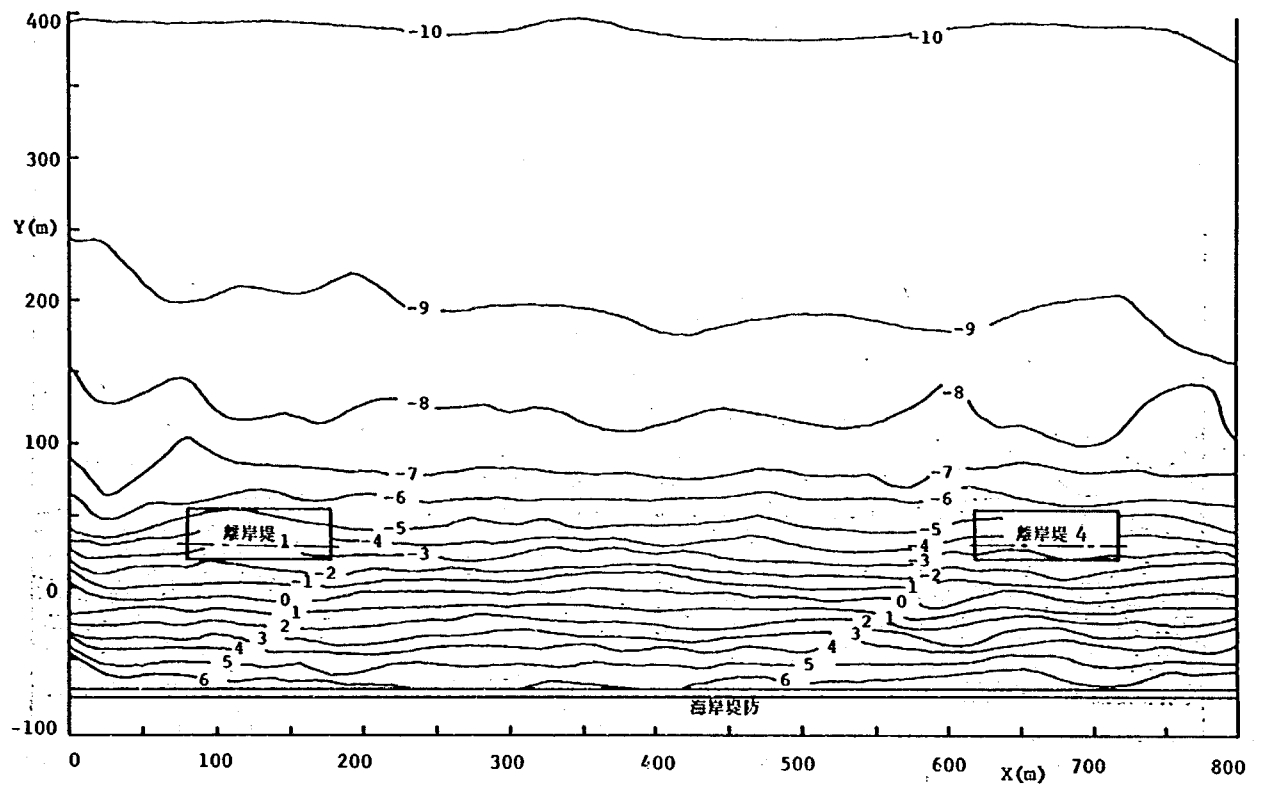


図-5.33 海浜形状 (ケース②, 初期形状)

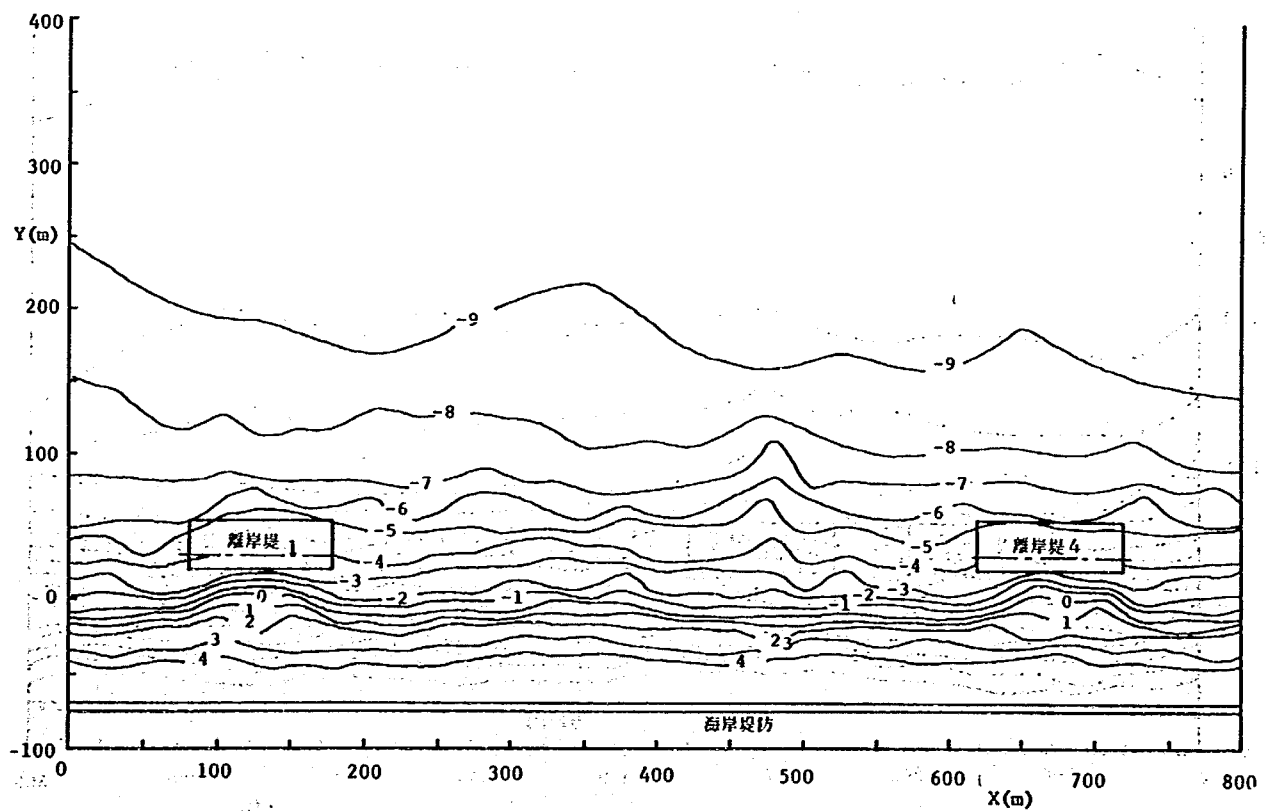


図-5.34 海浜形状 (ケース②, 5時間後)

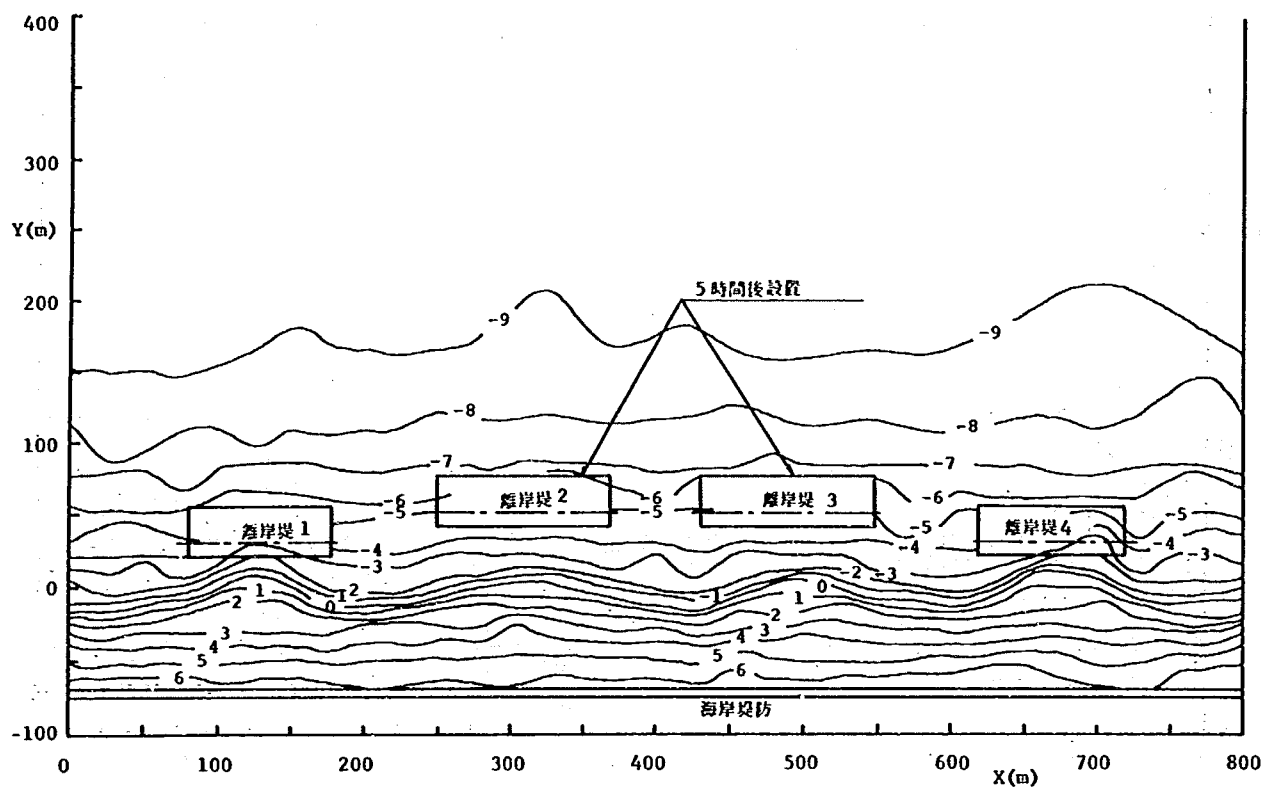


図- 5.35 海浜形状 (ケース②, 10時間後)

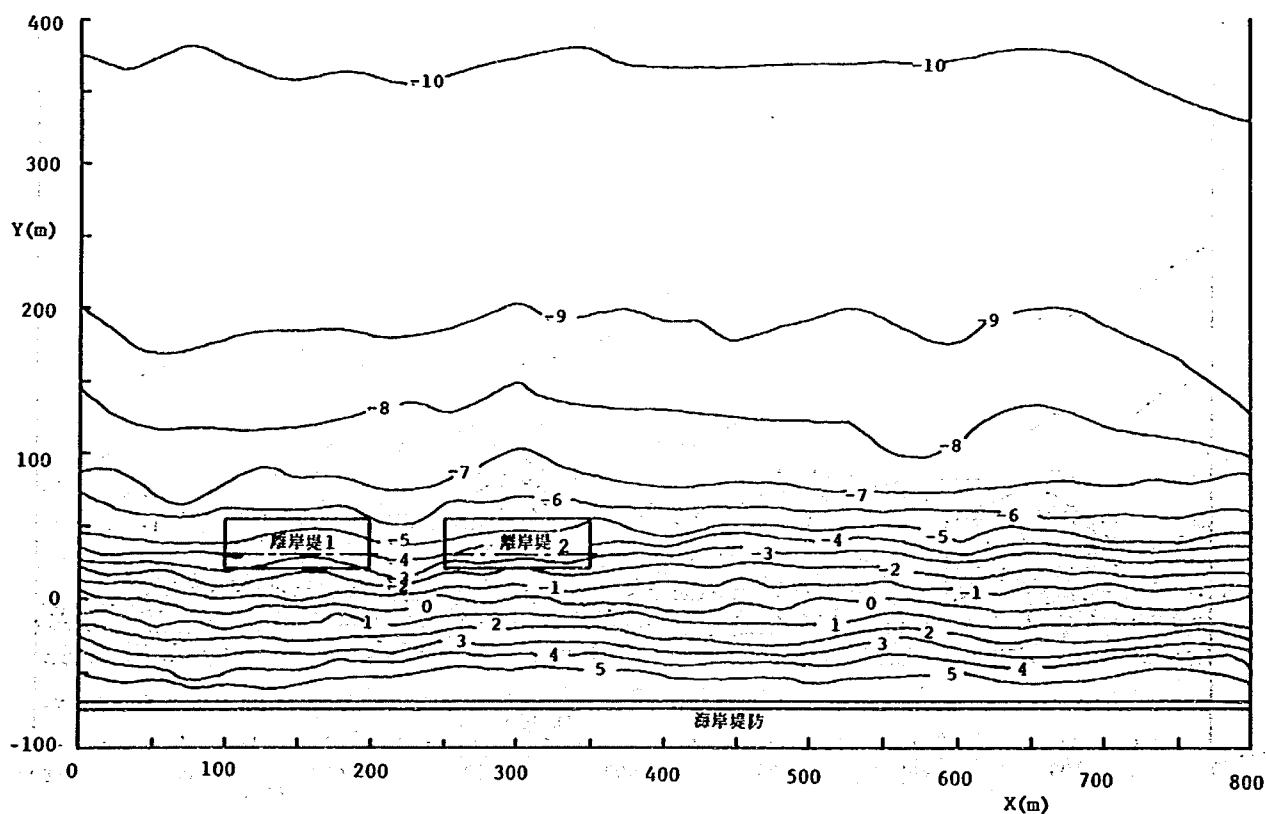


図- 5.36 海浜形状 (ケース③, 初期形状)

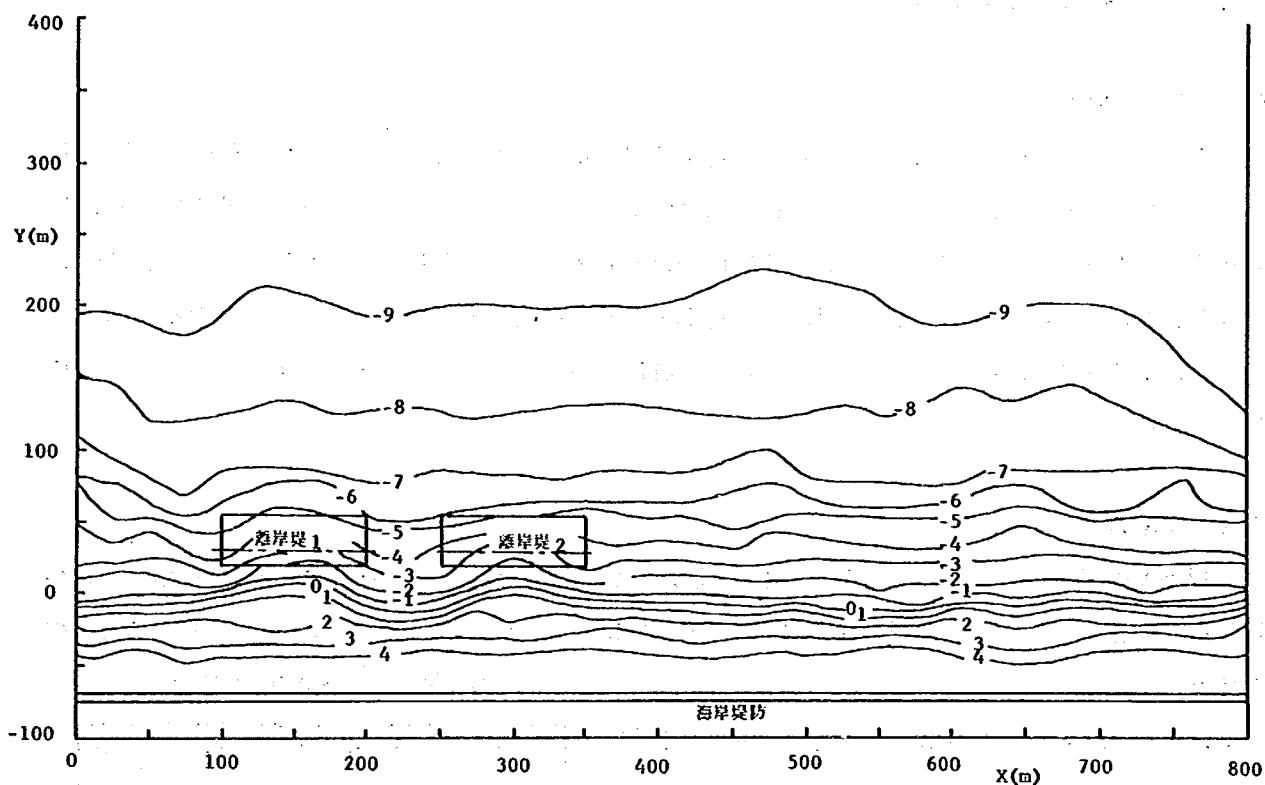


図- 5.37 海浜形状 (ケース③, 5 時間後)

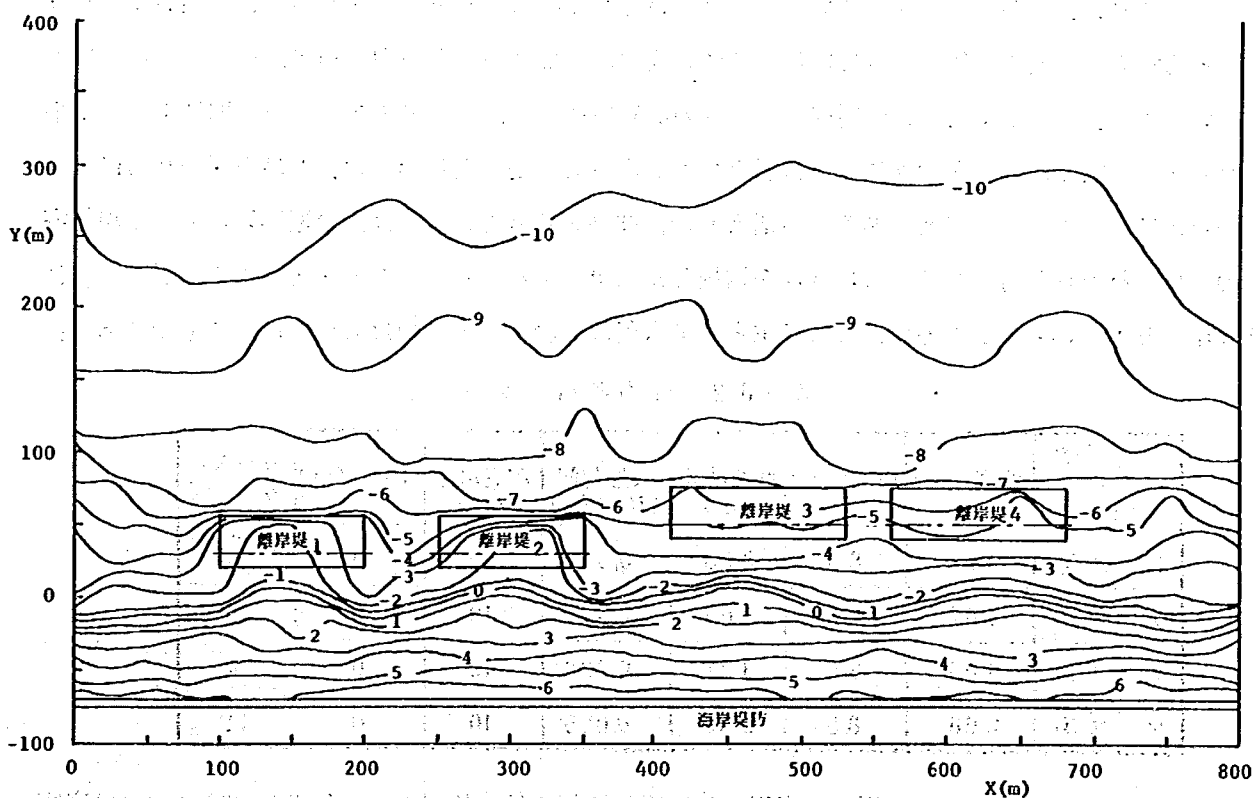


図- 5.38 海浜形状 (ケース③, 10 時間後)

6. 突堤効果模型実験

6.1 実験の目的

本模型実験では、種々の構造物の侵食防止効果を明らかにする。具体的には突堤、離岸堤、T字突堤をとり上げ、それらの漂砂阻止機能の相違について検討する。この検討は、高知港港湾区域内のT字突堤と仁井田海岸の離岸堤計画との接続法について考えるための資料として利用することができる。

第6章の実験のもう一つのねらいは、海浜変形モデルを作成するための基礎データを得ることである。海浜変形モデルは第8章で提案されるが、それに用いられるデータはすべて第6章で得られた実験データである。

6.2 実験方法

突堤効果模型実験は、全体で4ケースから成る。実験は幅16m、長さ21mの平面水槽を用い、模型縮尺を1/50として行った。相似律は、フルードの相似則を用い、各物理量の縮尺を表-6.1のように定めた。

表-6.1 各物理量の縮率

実験結果は、上記縮率を用いて現地スケールに換算したものを示す。ただし、地形変化速度に関しては、フルードの相似則が成立しないために、測定時間間隔を上記縮率によって現地時間に換算することはできない。よって測定時刻などについては、実験値をそのまま表示する。

物 理 量	縮 率	物 理 量	縮 率
鉛直長さ	50	波 長	50
水平長さ	50	波形勾配	1
波 高	50	時 間	7.07
海底勾配	1	周 期	7.07

4ケースの実験条件は表-6.2にまとめられている。波高は2.68mより3.03mと、現地海岸の平均波高と比較すると大きな値となっている。粒径波高比は、現地海岸と模型実験で同一とすることはできないので、現地と模型とではほぼ同様な大きさの底質粒径とし、波高のみをフルード則によって縮小したとき、実験では底質が動きにくい状態となる。よって、地形変化形状の相似性を保つためには波高を見かけ上大きくする必要がある。周期8.5秒、波高2.6mという値は、模型実験において現地海岸の平均海浜形状が得られるように条件を選択した結果である。ただしケース①～④の入射波高には2.6mより大きいものがあるが、これは主として入射波高測定データのばらつきによるものである。

表-6.2 外力条件一覧表

条件 ケース名	波高 (m)	周期 (sec)	沖波波高 (m)	波形勾配 (H_0/L_0)	測定水深 (m)	潮位 (m)	波の入射 方 向
ケース①	2.91	8.5	3.08	0.027	10	0	時計回りに 14°
ケース②	2.87	8.5	3.04	0.027	10	0	14°
ケース③	3.03	8.5	3.21	0.029	10	0	14°
ケース④	2.68	8.5	2.85	0.025	10	0	14°

本模型実験の主な目的は、突堤、離岸堤、T字突堤の機能性を検討し、高知港港湾区域内のT字突堤と仁井田海岸の離岸堤計画との接続法について考えるための資料を得ることにある。したがって、

対象海岸として仁井田海岸をとり上げた。この海岸は南寄りの入射波となる場合、高知港の防波堤と前出のT字突堤の影響によって大きな侵食が生ずる可能性がある。このため波の入射方向としては、海岸線の法線に対して時計回りの方向に 14° 傾いた方向とした。この方向は、仁井田海岸では $S2^\circ E$ の方向である。

4 ケースの実験条件のうち、構造物の配置等をまとめたのが表-6.3である。また構造物の配置は図-6.1に示される。ケース①は突堤のみを3基配置したものである。突堤の汀線からの長さはいずれも90mで、間隔は300mである。ケース②は同じく突堤を3基設置したものであるが、中央の突堤の汀線からの長さが90mより32.5mと短くなっている。ただし突堤の間隔は300mで、ケース①と同様である。ケース③は離岸堤を3基設置したものであり、離岸距離が90m、離岸堤長が80m、間隔が220mである。離岸堤はテトラポッドを三層に積んだもので、基礎にはマウンド工として碎石を敷設した。ケース④はT字突堤を3基設置したものである。T字突堤の離岸堤部と汀線との距離は90m、またその長さは80mとした。なお、実験に使用したテトラポッドは、0.2kgのものである。

表-6.3 構造物諸元一覧表

ケース名	構 造 物 諸 元
ケース①	突堤3基 長さ90m, 間隔300m
ケース②	突堤3基
ケース③	離岸堤3基 $\ell=90\text{m}$, $d=220\text{m}$, $r=80\text{m}$
ケース④	T字突堤3基 $d=300\text{m}$, $r=80\text{m}$

注 ℓ は離岸距離, d は離岸堤間隔, r は離岸堤長を示す。

模型海浜は図-6.2に示すように製作した。すなわち初期汀線に対して波が斜めに入射するように、初期汀線を波の入射方向に対して反時計回りに 14° 回転させたものである。初期汀線に直角方向の海浜断面形状は、図-6.3に示すように、高知海岸の平均海浜断面を与えた。

測定項目は、海浜形状、碎波波高、入射波高、流況、波向、汀線位置である。海浜形状は初期と実験開始後10、20時間後の3回測定した。測定は沿岸方向に25m間隔に並んだ測線上において、岸沖方向に5m間隔で行った。碎波波高、流況、波向は実験開始直後と、実験終了直前の19時間目の2回測定した。入射波高は、汀線より275m離れた位置で、沿岸方向にほぼ等間隔で並んだ2地点に容量式波高計を設置して測定した。測定時間間隔は1時間である。碎波波高は容量式波高計を用いて沿岸方向に25m間隔で測定した。この場合、碎波点位置は場所的に変化するために、碎波点位置と碎波水深を同時に測定した。流況はクレーンで約5m（模型上の実高）の高さに吊ったカメラを利用し、投入した多数のフロートの移動状況を写真撮影して求めた。フロートとしては、フィルムケースのフタ（直径約3cm）を3色に着色して利用した。波向は流況の撮影を行った写真より求めた。汀線位置の測定は、沿岸方向に12.5m間隔で測定した。測定は、実験開始後、1、2、3、4、6、8、12、14、16、18時間後の10回行

った。

6.3 入射波高の経時変化

入射波高は各ケースとも2台の容量式波高計を用いて測定した。その設置位置は図-6.2にA, Bで示されるように、初期汀線より275 m沖合の2地点である。図-6.4より図-6.7はケース①からケース④の入射波高の経時変化を示している。図中、いずれも実線と破線が示されているが、これは、汀線から沖を見たとき左側に位置する波高計(A)の記録を実線で、右側に位置する波高計(B)の記録を破線で示した。実験中、造波機のストロークはほぼ一定に保ったが、測定された入射波高はかなりの変動を有している。この原因は、海浜変形が生ずるにつれ、構造物や海浜からの反射の状況が時間的に変化して行くためと考えられる。表-6.1ではこれらの値の平均値を平均入射波高としてまとめたが、実際に波を作用させた場合には図-6.4より図-6.7に示された程度の変動幅を有することに注意が必要である。

6.4 地形変化の特性

図-6.8, 6.9はケース①の0, 20時間後の海浜形状を示している。ケース①では初期汀線より長さ90mの突堤が3基設置されている。初期状態では等深線はすべて平行である。時計回りの方向に14°の向きより波を作用させると、高さ3 mの等高線と深さ3 mの等深線の間の等高線および等深線は、ほぼ入射方向と直角となった。また6 m以深の等深線、+4 m以上の等高線には変化が生じていない。汀線位置の動きと、 $-3\text{ m} \leq h \leq 3\text{ m}$ の等深・等高線の変化はよく似たものとなっているが、このことは、この海岸の地形変化が単一のパラメータ(例えば汀線位置など)によって良く表示されうること示している。このような地形変化は沿岸漂砂による地形変化と考えられる。突堤長が初期汀線より90m、突堤間隔が300 mの場合、各々の突堤間の土砂は隣りの区間へ移動することではなく、各区間で安定な汀線形状が得られる。

ケース②の海浜形状は図-6.10, 6.11に示されている。ケース②はケース①と突堤配置は良く似ているが、中央の突堤の長さが90mより32.5 mに短くしてある。その他の条件はケース①と同様である。初期状態における突堤先端の水深は3 mである。0時間と20時間の海浜形状を比較すると、基本的特徴はケース①とほぼ同様なのがわかる。すなわち高さ3 mの等高線と深さ-3 mの等深線との間の等高・等深線はほぼ入射方向と直角となった。また6 m以深の等深線、+4 m以上の等高線には変動はあるものの、有意な変化は生じていない。突堤の長さが短くなったことの影響は顕著ではなく、突堤を回り込んだ大きな砂移動は生じていない。小突堤、大突堤によって囲まれた部分は各々独立し、ほぼ安定な汀線形状となっている。

ケース③の海浜形状は図-6.12, 6.13に示されている。ケース③は離岸堤を3基設置した場合である。離岸距離は90m、間隔は220 mとしている。20時間後の海浜形状をみるといくつかの特徴が現われている。離岸堤の背後にはトンボロが形成され、また離岸堤上手側の汀線はほぼ入射方向と直角に

なった。一方、下手側は沿岸方向の汀線の勾配が急になった。さらに、最も上手側（右側）のトンボロは下手側のそれよりもずっと大きさが小さいが、これは全体として土砂が下手方向へ移動したことを意味する。

ケース④の海浜形状は図-6.14, 6.15に示されている。これらは順に0, 20時間後の海浜形状である。図-6.14と図-6.15を比較すると明らかなように、沿岸方向への土砂移動は突堤によって完全に阻止されている。離岸堤によって突堤両側にはトンボロが生ずるが、トンボロ形状は突堤で不連続となっている。T字突堤によって囲まれた部分は各々独立し、安定な汀線形状となった。

6.5 流 況

ケース①の0, 20時間後の流況は図-6.16と図-6.17に示されている。初期状態では突堤に沿って強い離岸流が発達した。なお、図中の破線は波峰線を示し、また、ループの印は砕波線を表わしている。20時間後になると、汀線は波峰線とほぼ平行になるとともに、突堤に沿った離岸流は弱まった。

図-6.18と図-6.19はケース②の0, 20時間後の流況を示す。初期状態における流況はケース①と良く似ている。すなわち突堤間で沿岸流が生じ、この流れは下手側の突堤に沿って沖への離岸流となった。このような流れは20時間後大きく変化した。中央の突堤周辺の流れの状況に注目すると次の特徴が明らかとなる。

- ① 中央やや左側では流軸が右に傾いた離岸流が存在する。
- ② 中央右側ではこの離岸流の反流として時計回りの循環流が発達した。
- ③ さらに右側の領域では流軸が左へ傾いた離岸流が存在する。

以上のように、20時間後流況は大きく変化した。この原因は次のように考えられる。すなわち、20時間後には汀線がすでに波峰線と平行になっているため、初期状態のような左向きの沿岸流は弱まり、波高分布の場所的な相違に起因して生ずる流れが顕著となったためである。

図-6.20と図-6.21はケース③の0時間と20時間の流況である。ケース①と②は、突堤を配置した場合であったが、ケース③では離岸堤が設置されている。初期状態では離岸堤の背後を沿岸流が通過する。このため離岸堤背後を通過する下手方向への土砂輸送も生ずる。この沿岸流は、離岸堤背後にトンボロが発達するにつれて弱まる。離岸堤開口部ではとくに離岸堤右側で離岸流の集中が見られる。

最後にケース④の流況を示すのが図-6.22と図-6.23である。図-6.22は0時間の流況を、図-6.23は20時間の流況を示す。ケース③とケース④の相違は、用いた構造物が離岸堤よりT字突堤と変わった点である。T字突堤を用いた場合、当然のことながら突堤では沿岸流が完全に阻止される。また、T字の離岸堤部分があるために、ケース③と比較して離岸流の流軸は上流方向へ大きく曲げられている。

6.6 汀線の経時変化

汀線位置の変化は、0, 10, 20時間後の海浜測定時とは別に、1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 14, 16, 18時間後の

合計10回、汀線測量を行って調べた。したがって0～20時間の間で13回の測定が行われたことになる。以下、ケース①よりケース④の汀線変化の状況について説明する。

図-6.24はケース①の汀線変化状況を示している。汀線変化は、中央の突堤を境にして左右良く似た形となっている。汀線変化は10時間程度までは急速であるが、その後は緩やかになっている。汀線は波の入射方向と直角となると、その変化が停止した。

図-6.25はケース②の汀線変化状況を示す。生じた汀線変化の状況はケース①と良く似たものであった。しかし、ケース②では初期汀線位置が沿岸方向に一樣ではなく、中央の突堤の両側で差が大きい。これは、ケース①の実験終了後、海床整形が不十分なため生じたものである。この意味より、ケース②の実験結果はケース①ほど有効ではないと言える。初期海浜の整形が悪いとこのような結果となることを銘記すべきである。

図-6.26は離岸堤を配置したケース③の汀線変化図である。ケース①、②の突堤を配置した場合は、海岸線は突堤の位置で不連続となったが、離岸堤の場合はトンボロが形成されて、滑らかな海岸線となる。離岸堤の開口部は侵食され、背後部には土砂が堆積したが、形成されたトンボロを見ると、右側（上手側）のものは左側のものより小さくなっている。この原因は、土砂が全体として右側から左側へと流されたためである。またトンボロの形状は左右非対称であって、離岸堤の中央を境にしたとき、左側の方が右側よりも海岸線の勾配が急である。これは波が時計回りの方向より 14° の角度で入射したため、離岸堤の右側と左側で回折状況が変化したことに起因する。

図-6.27はケース④の汀線変化状況を示す。ケース③と④の相違は、ケース③の離岸堤の中央に突堤を付けたことにある。この突堤は横への沿岸漂砂を阻止するのに十分な長さを有していたため、各構造物間で侵食量と堆積量とが均り合った。すなわち図-6.27において初期汀線より後退した部分の面積と前進した部分の面積はほぼ等しいことがわかる。突堤部分によって漂砂の移動は阻止されるため、例えば中央のT字突堤において典型的に表われているように、突堤の左と右側では海岸線は滑らかに連続するものとはならず、不連続なものとなった。

6.7 ま と め

第6章では突堤、離岸堤、T字突堤をとり上げ、それらの漂砂阻止機能の相違について検討した。最後に得られた結果をとりまとめておく。

- (1) 初期汀線より長さが90m、間隔が300mの突堤群に 14° の方向より波を作用させた結果によると、各の突堤間の土砂は隣りの区間へ移動することではなく、各区間で安定な汀線形状が得られた。すなわち、汀線より90mの長さの突堤では先端を回り込む漂砂はほとんどなかった。
- (2) 突堤長を32.5mとした場合、突堤長が90mのものとはほぼ同様な結果が得られた。ただしこの実験では初期海浜の整形が十分でなかったため、誤差を含む可能性がある。
- (3) 離岸距離90m、間隔220mの離岸堤を設置して波を斜め入射させたとき、離岸堤の背後にはいずれもトンボロが形成されたが、上手側のトンボロは下手側のトンボロよりも大きさが小さくなった。

これは、全体として土砂が下手方向へ移動したことを意味する。

- (4) T字突堤では、離岸堤と同様にトンボロが形成されるが、トンボロ形状は突堤部分の左右岸で不連続な形状を持つ。T字突堤によって囲まれた部分は、各々独立し、安定な汀線形状となった。用いたT字突堤ではT字突堤を回り込んで移動する漂砂はほとんど生じない。
- (5) 突堤では、海岸線に波が斜め入射するとき、上手側の部分に離岸流が生ずる。
- (6) 離岸堤では、トンボロが形成される以前の段階において、離岸堤の背後を沿岸流が通過する。これは(3)で述べた土砂の下手方向への全体的移動の原因となっている。また、離岸堤開口部では、とくに離岸堤右側で離岸流の集中が見られる。
- (7) T字突堤を用いた場合、沿岸流は完全に阻止された。また、T字の横堤部分があるために、離岸堤の場合と比較して離岸流の流軸は上流方向へ大きく曲げられた。
- (8) 突堤、離岸堤、T字突堤を用いたときの汀線形状の相違は次のようである。突堤では海岸線は突堤の位置で不連続となる。離岸堤ではトンボロが形成されて、滑らかな海岸線となる。ただしトンボロの大きさは上手側のものは下手側のものより小さい。T字突堤では、離岸堤と同様にトンボロが形成されるが、T字突堤の右と左側では海岸線は不連続となる。また、各T字突堤に囲まれた部分では汀線の前進した部分の面積と後退した部分の面積がほぼ均衡する。

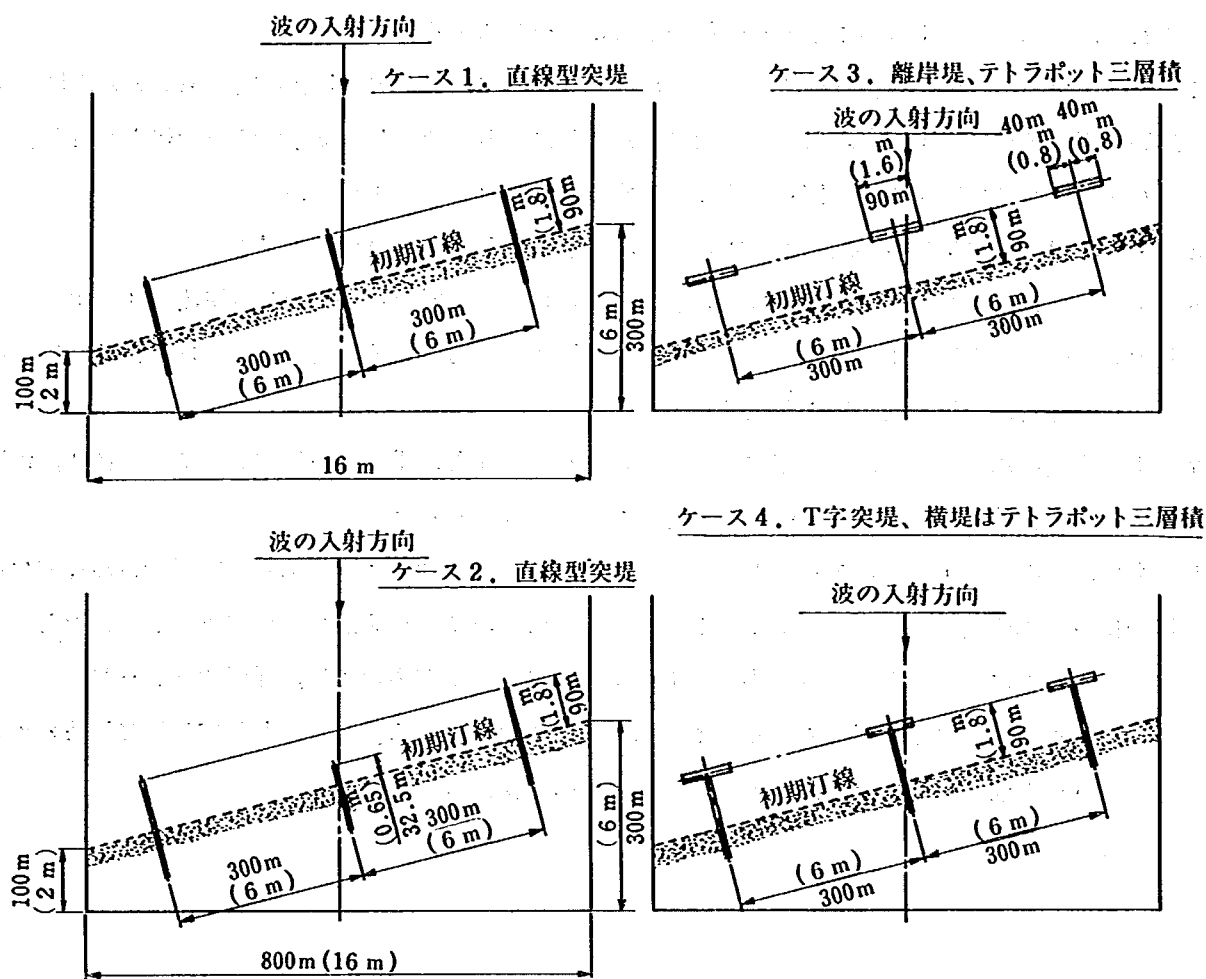


図- 6. 1 構造物の配置図 (カッコ内の数値は模型上の長さを示す)

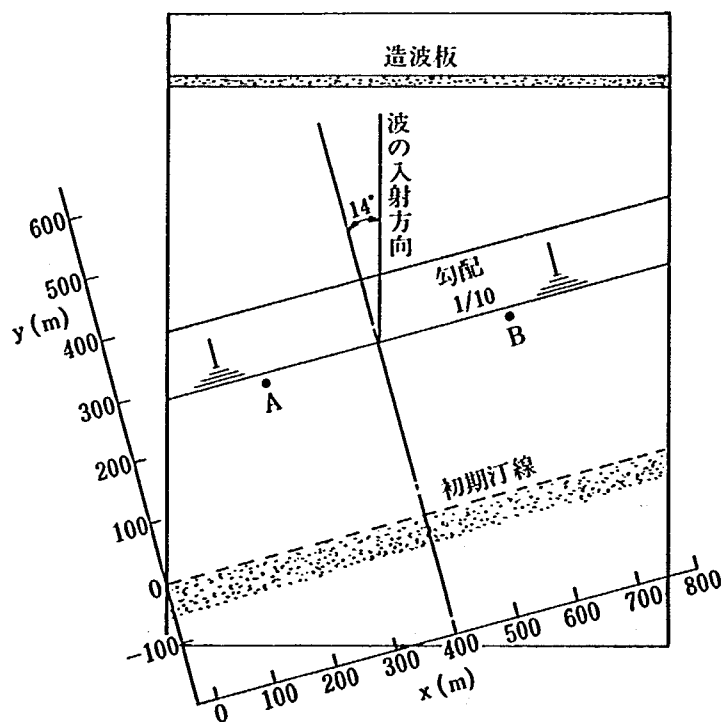


図- 6. 2 模型海浜平面図

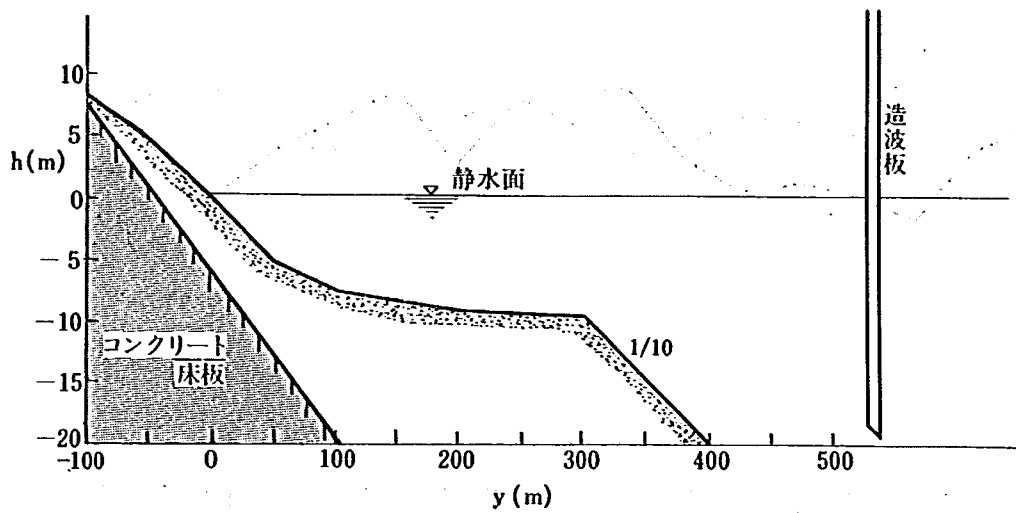


図-6.3 模型海浜断面図 (m単位)

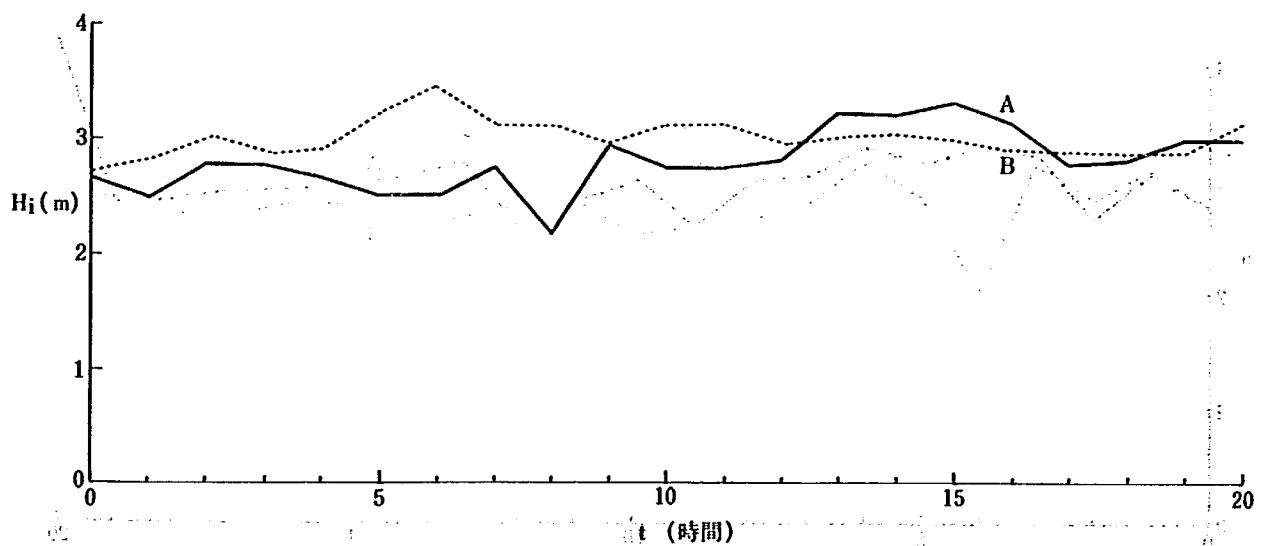


図-6.4 入射波高の経時変化 (ケース①)

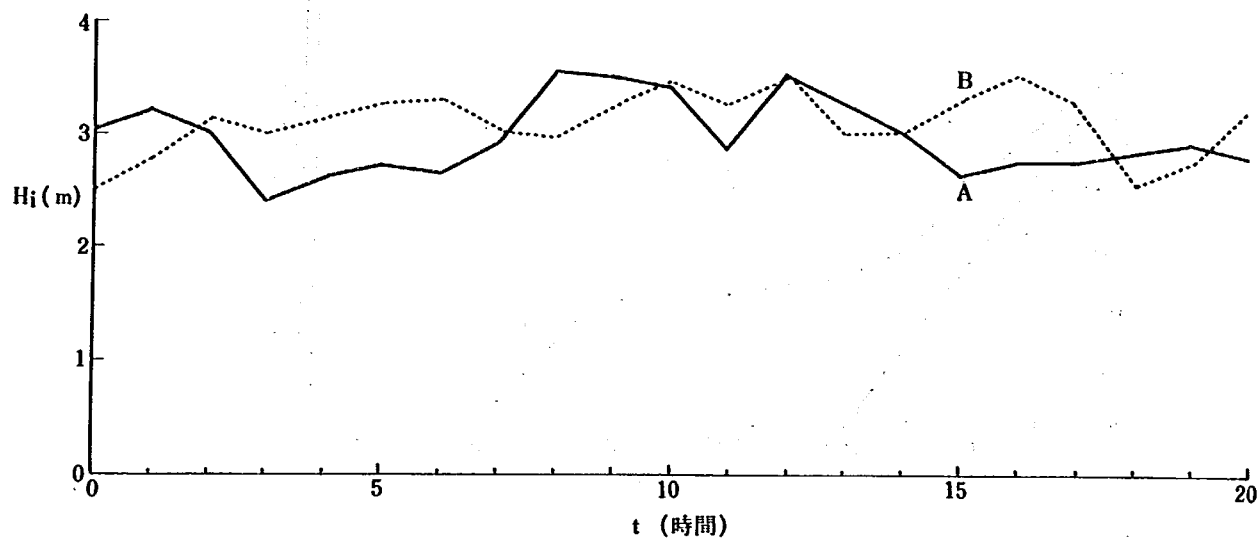


図- 6. 5 入射波高の経時変化 (ケース②)

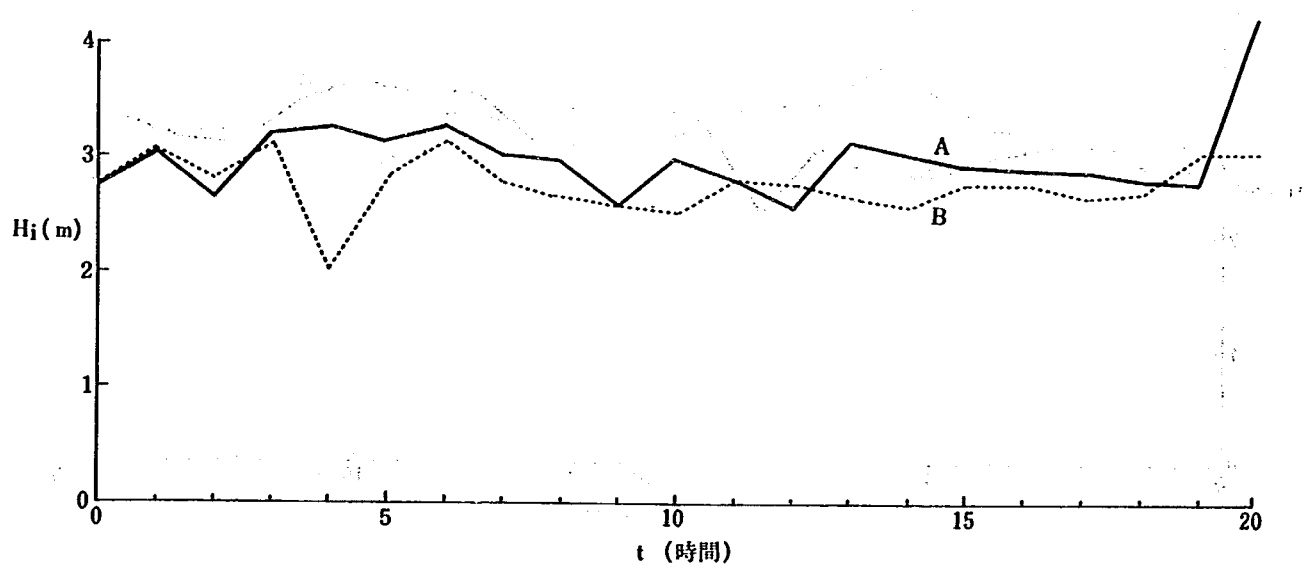


図- 6. 6 入射波高の経時変化 (ケース③)

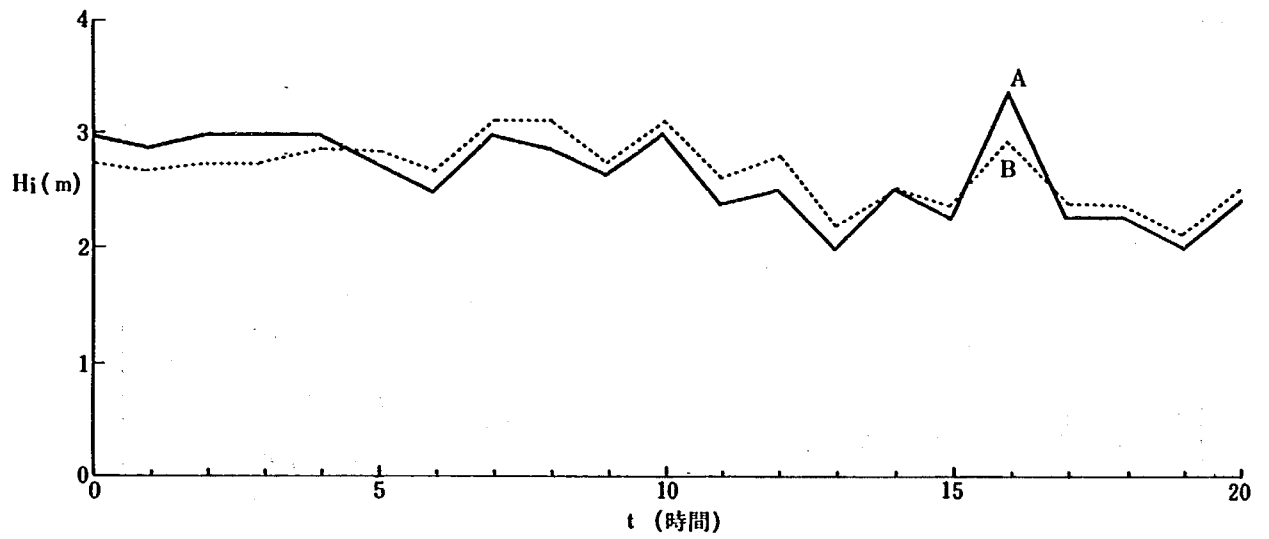


図- 6. 7 入射波高の経時変化 (ケース④)

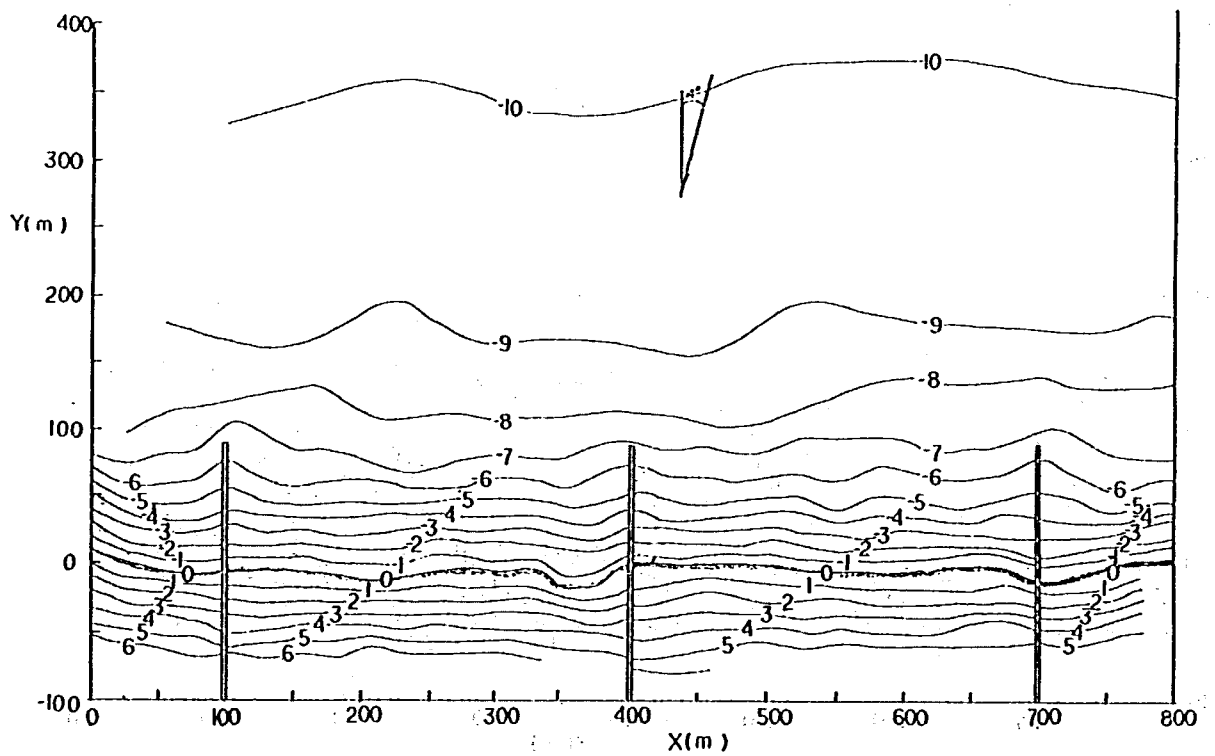


図- 6. 8 深浅図 (ケース①, 0時間, 高さはm単位)

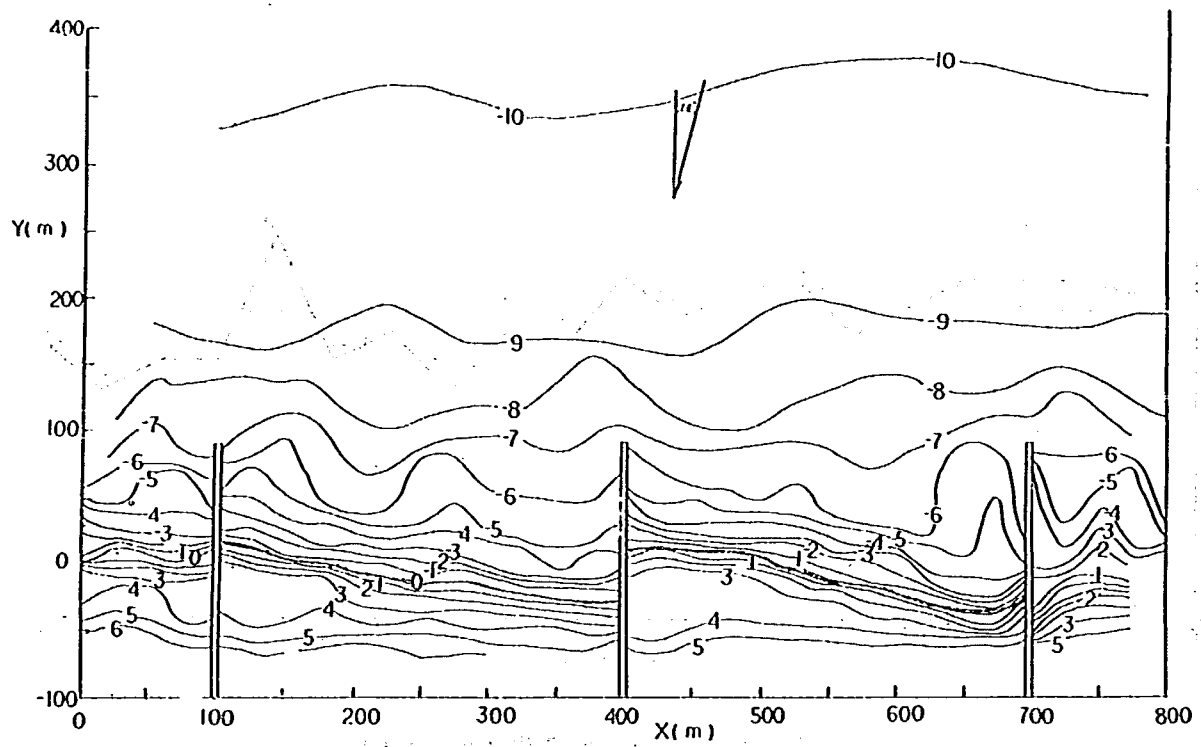


図-6.9 深浅図 (ケース①, 20時間, 高さは m 単位)

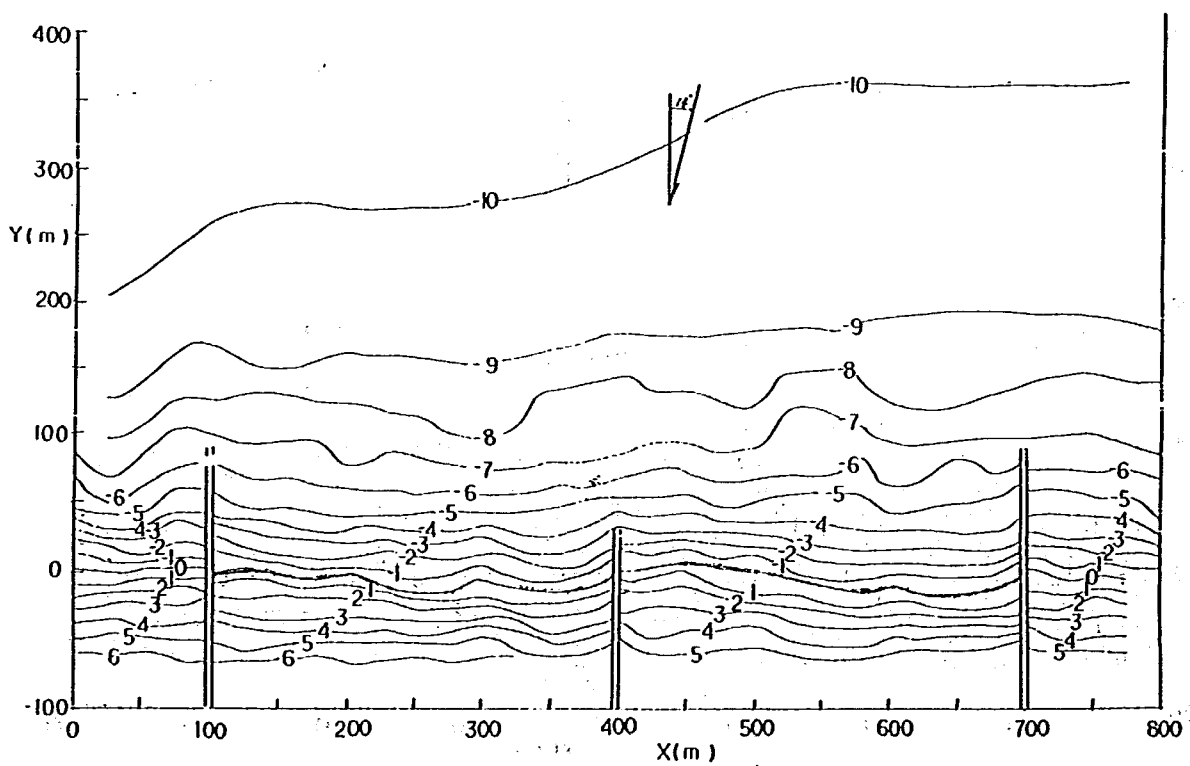


図-6.10 深浅図 (ケース②, 10時間, 高さは m 単位)

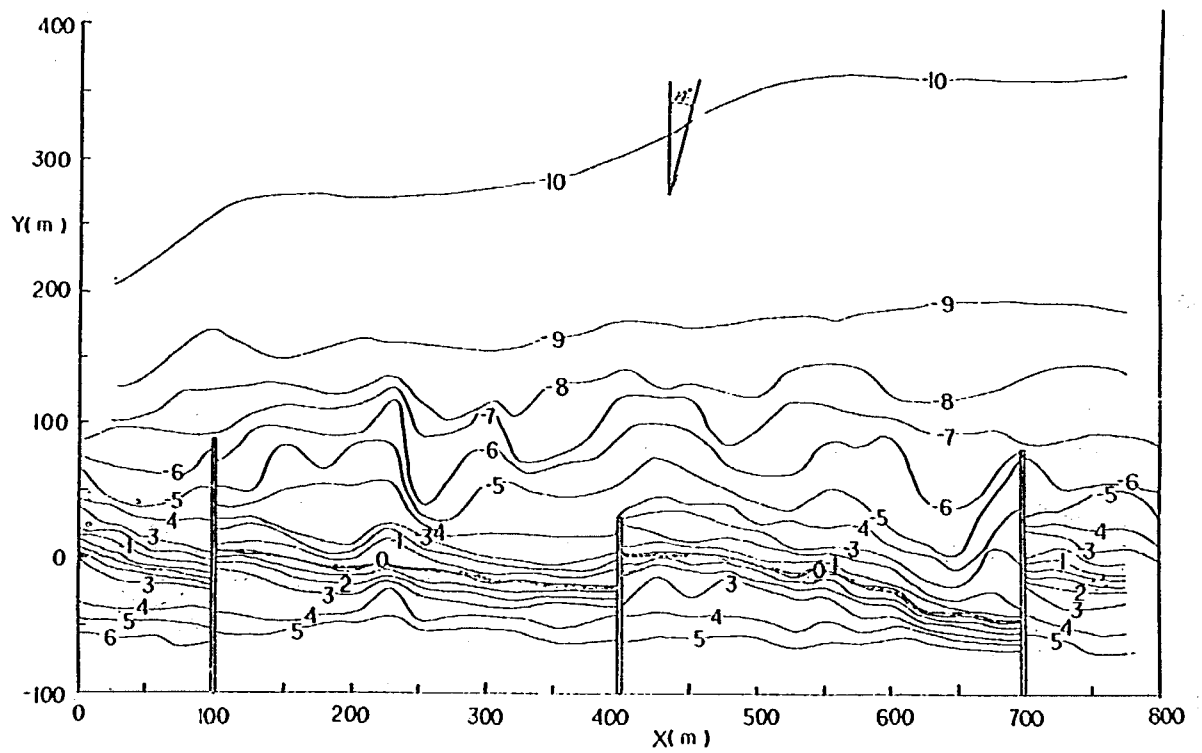


図-6.11 深浅図 (ケース②, 20時間, 高さは m 単位)

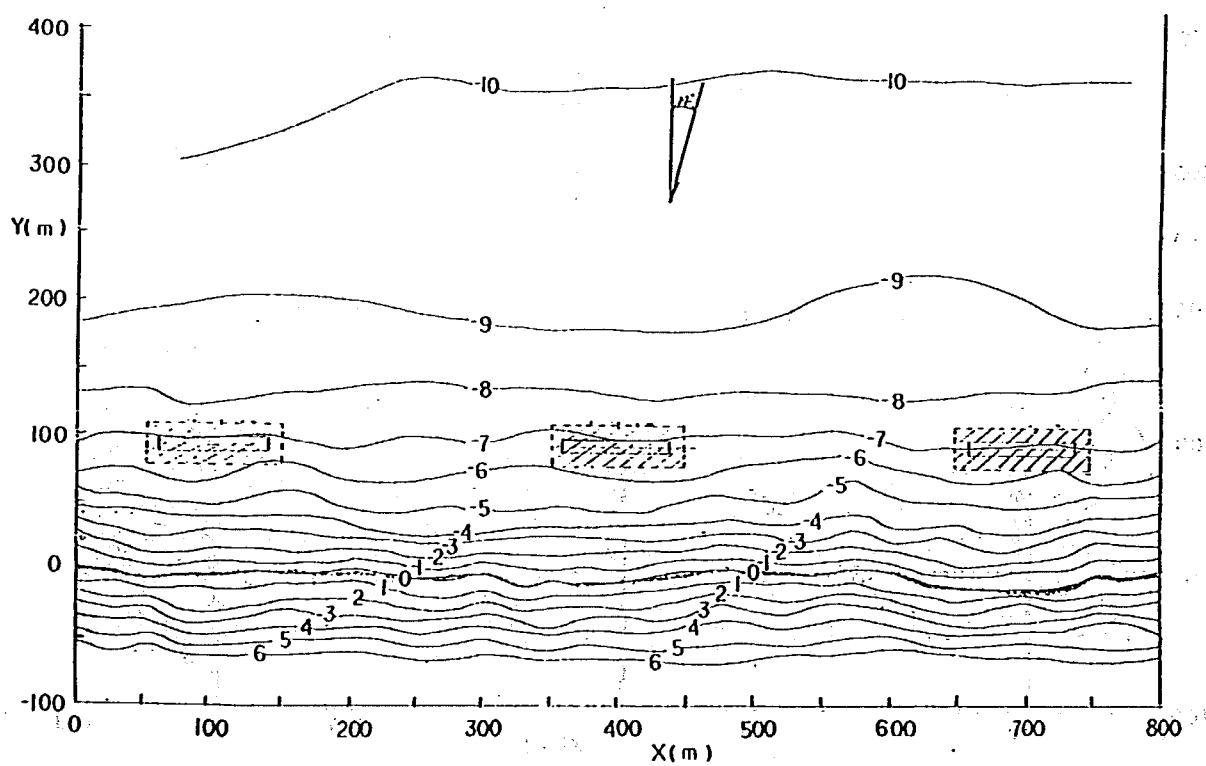


図-6.12 深浅図 (ケース③, 0時間, 高さは m 単位)

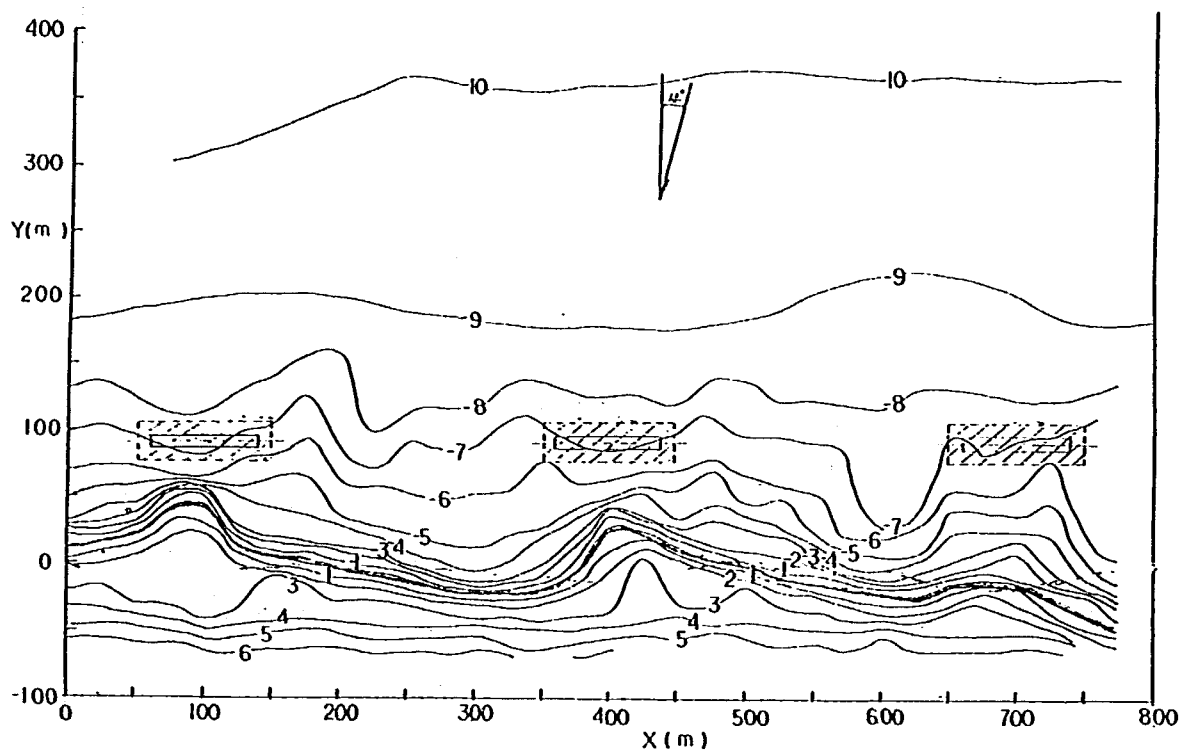


図- 6.13 深浅図 (ケース③, 20時間, 高さは m 単位)

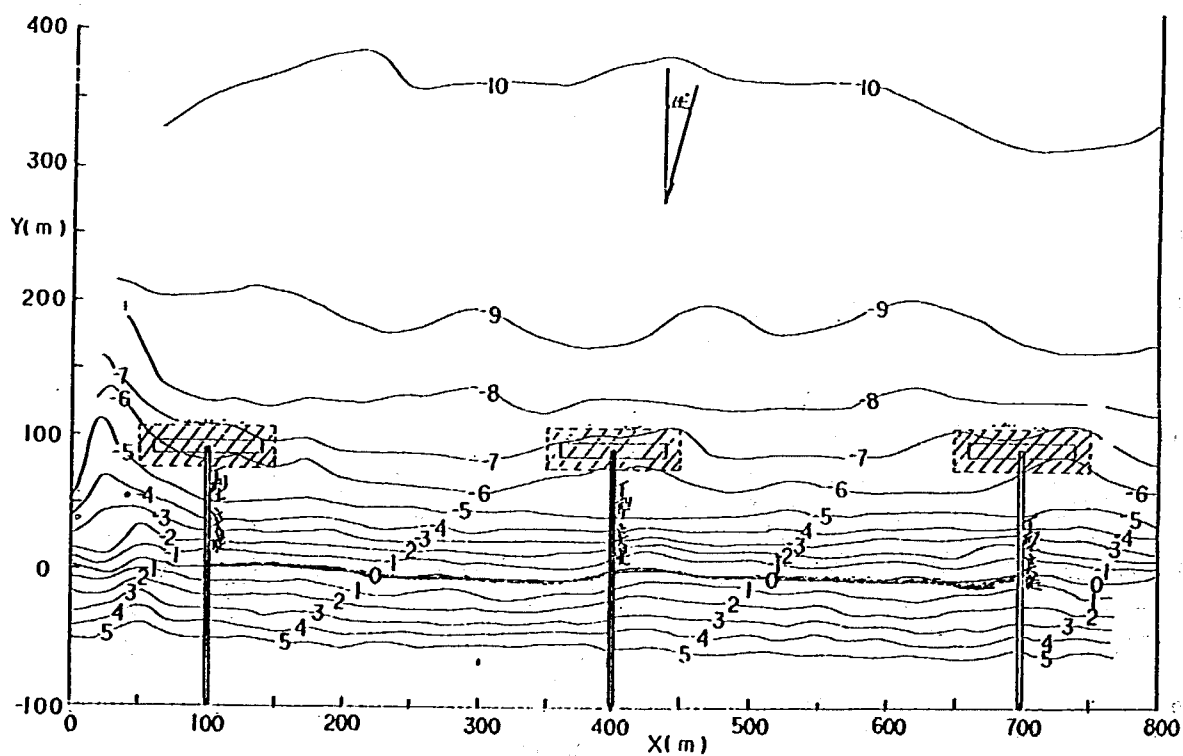


図- 6.14 深浅図 (ケース④, 0時間, 高さは m 単位)

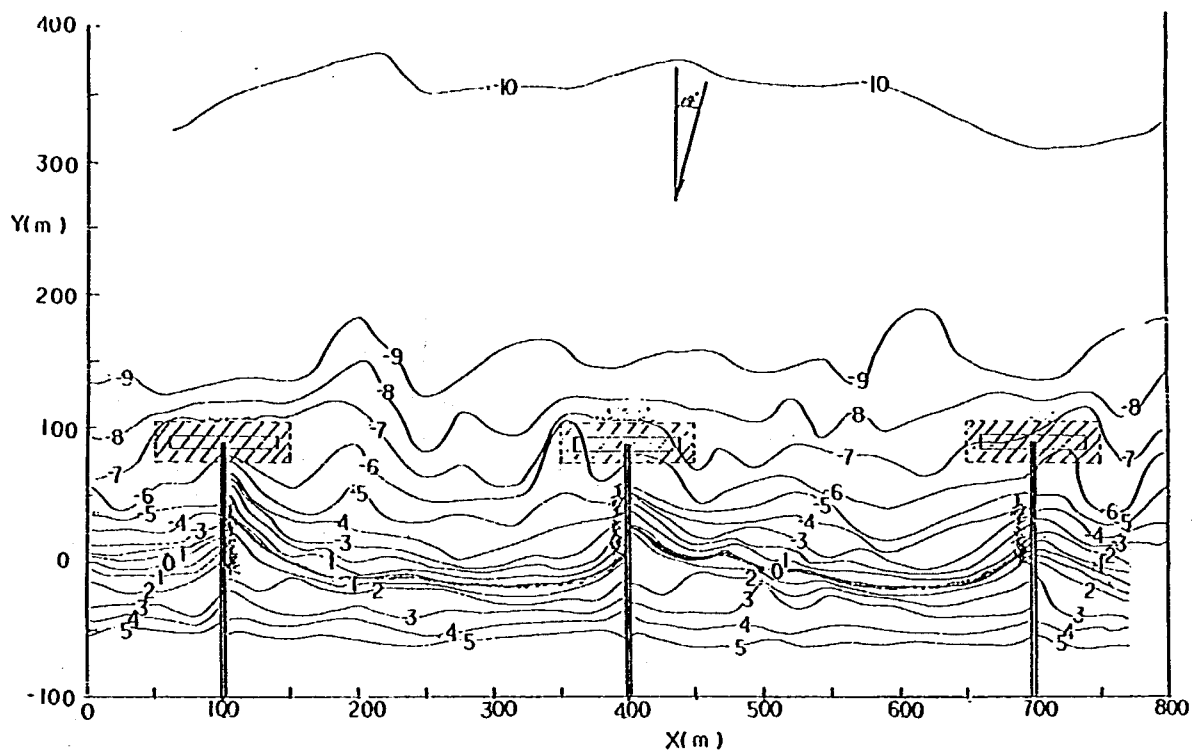


図- 6.15 深浅図 (ケース④, 20時間, 高さは m 単位)

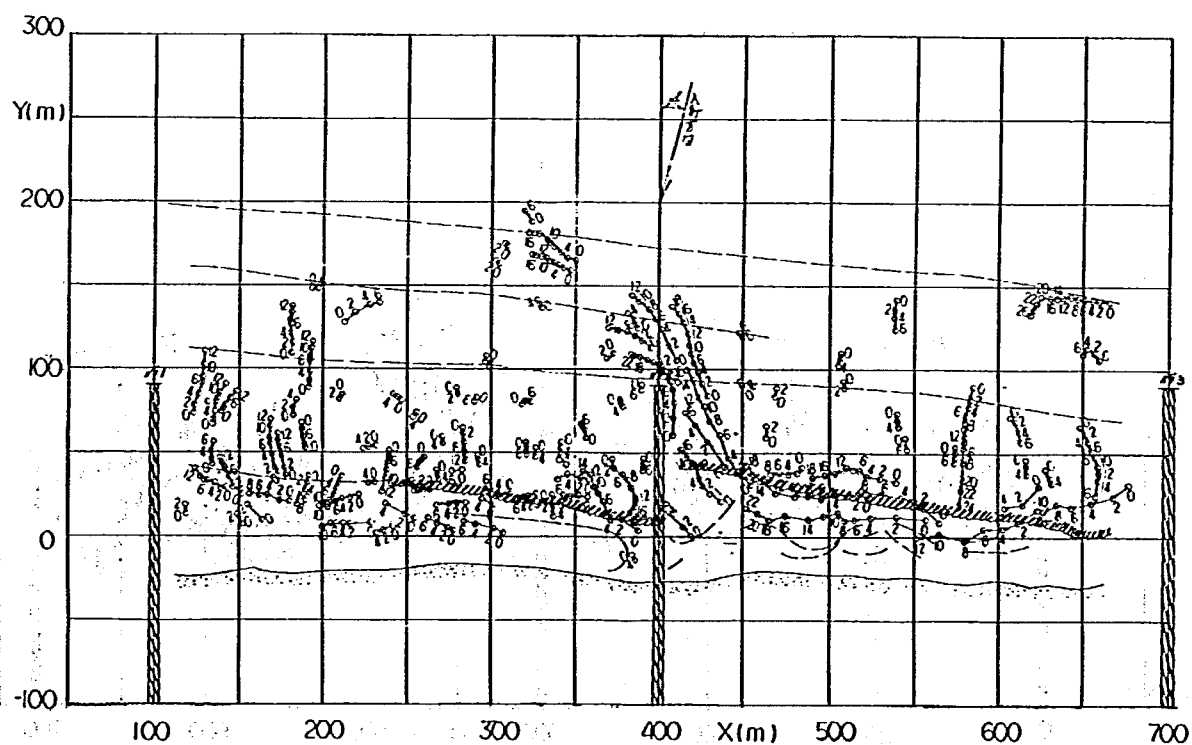


図- 6.16 流況図 (ケース①, 0時間)

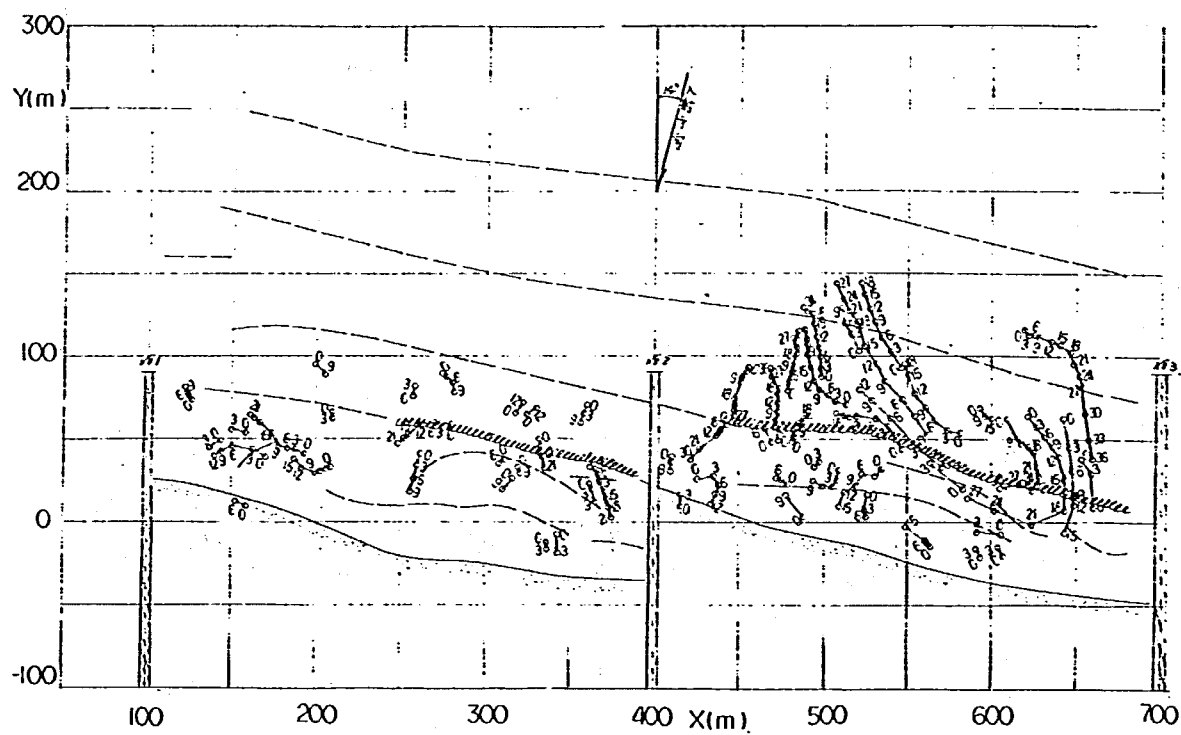


図- 6.17 流況図 (ケース①, 20時間)

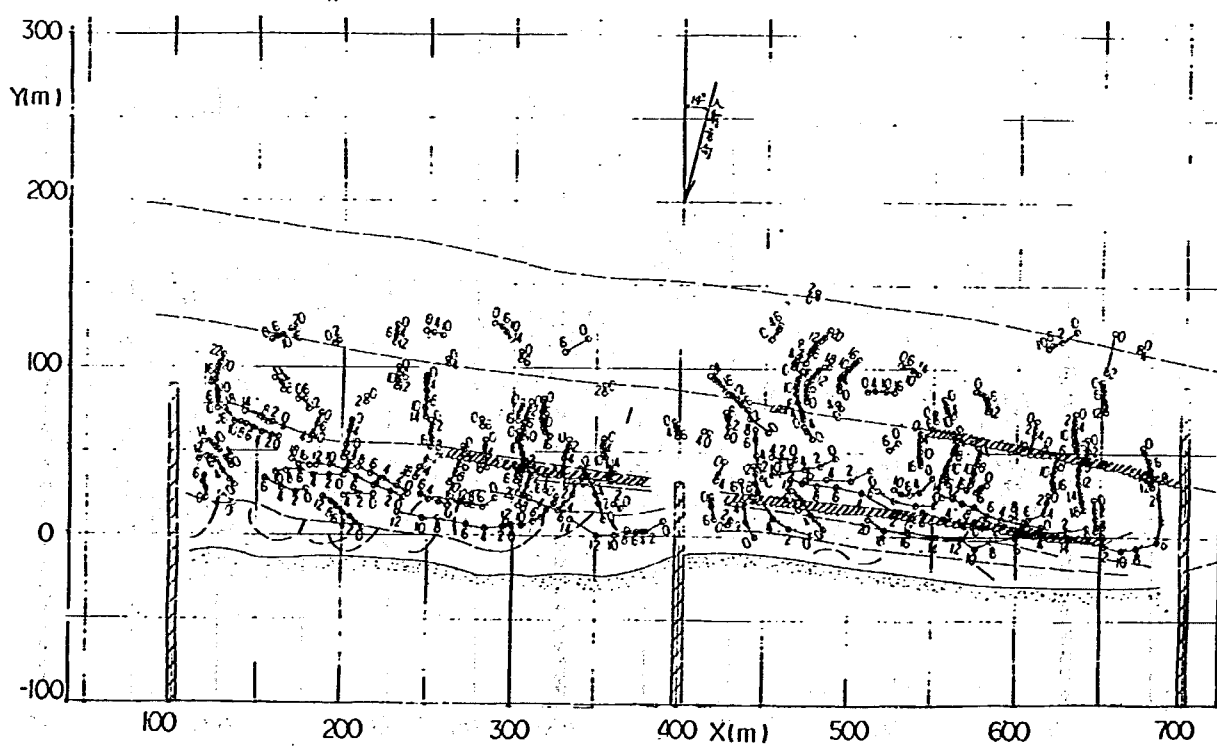


図- 6.18 流況図 (ケース②, 0時間)

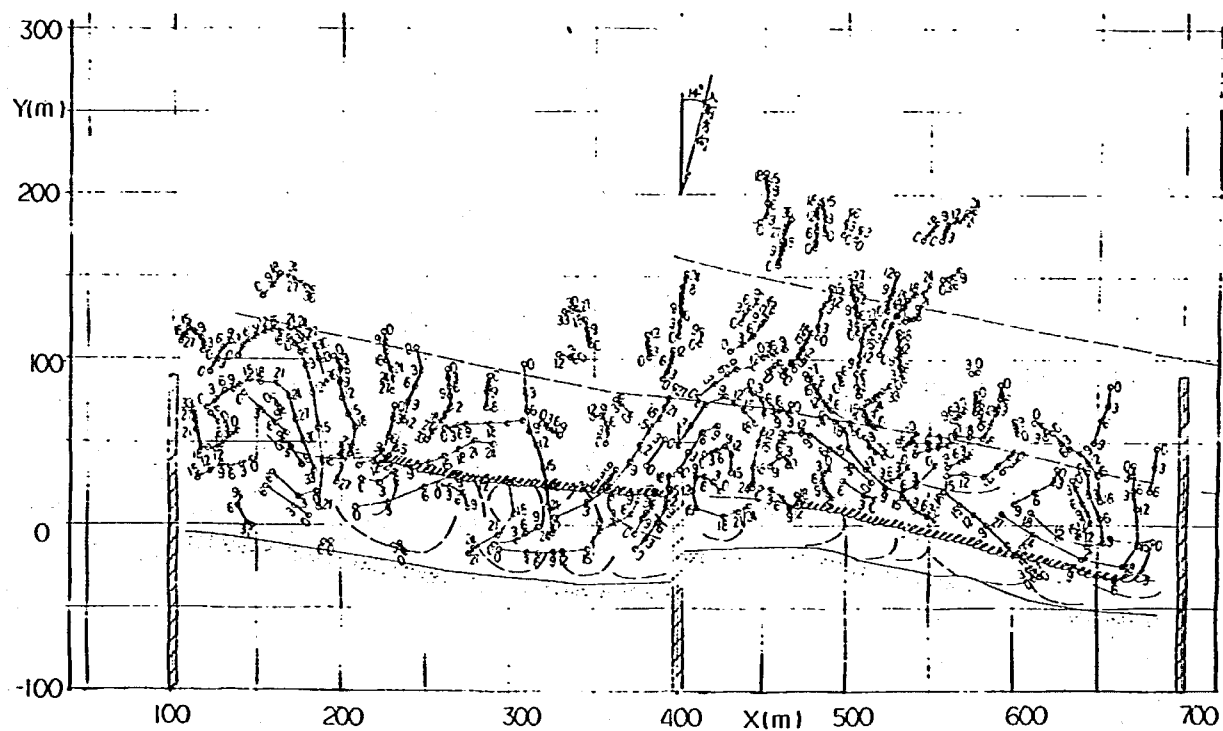


図-6.19 流況図(ケース②, 20時間)

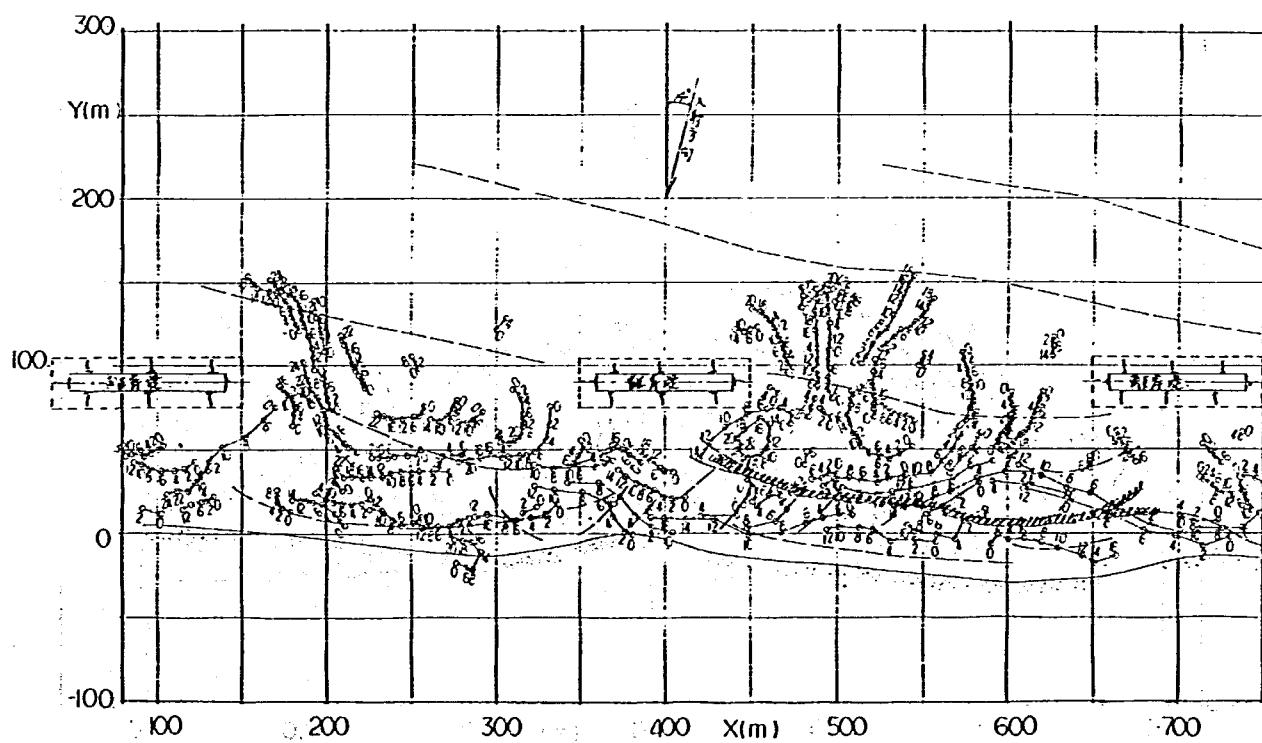


図-6.20 流況図(ケース③, 0時間)

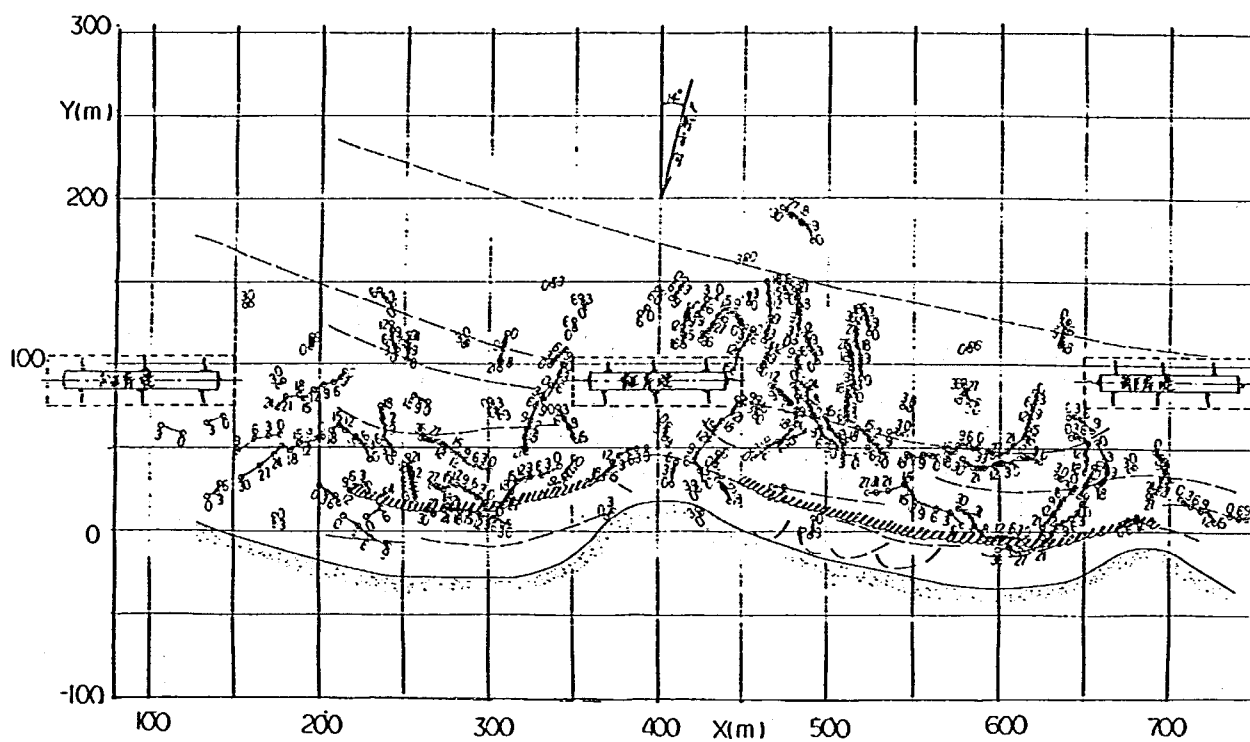


図-6.21 流況図 (ケース③, 20時間)

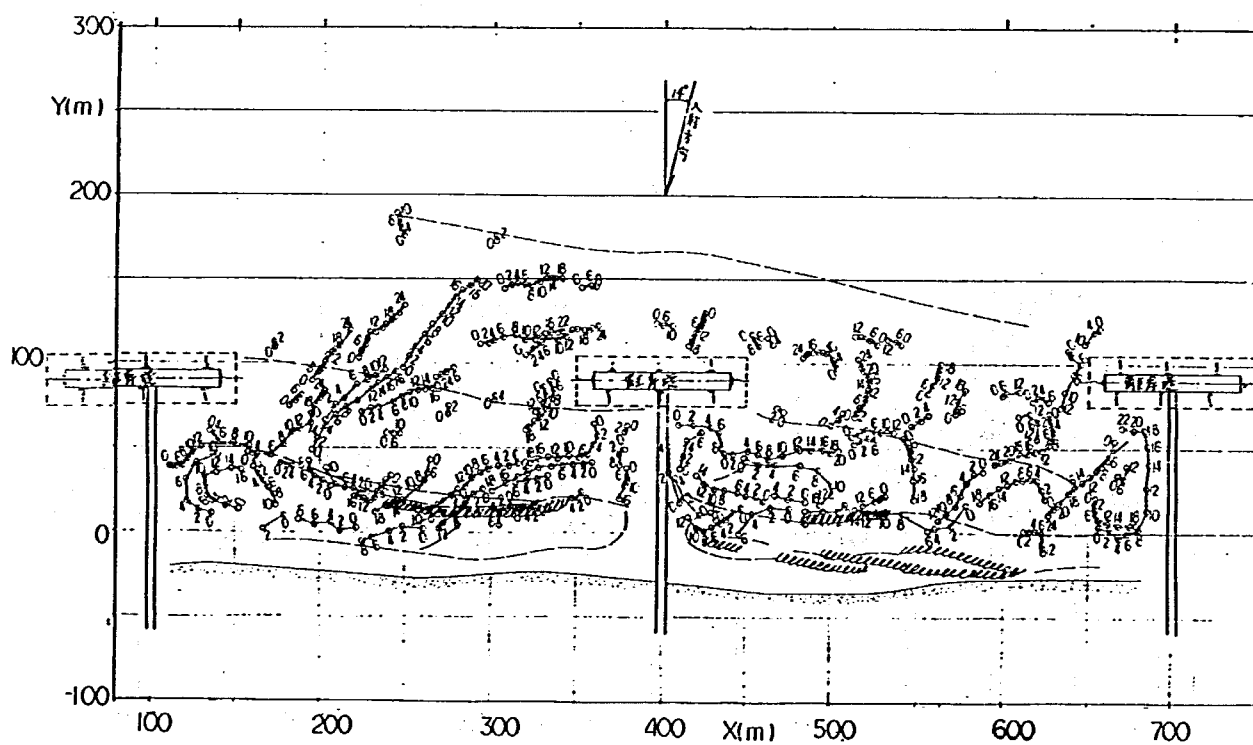


図-6.22 流況図 (ケース④, 0時間)

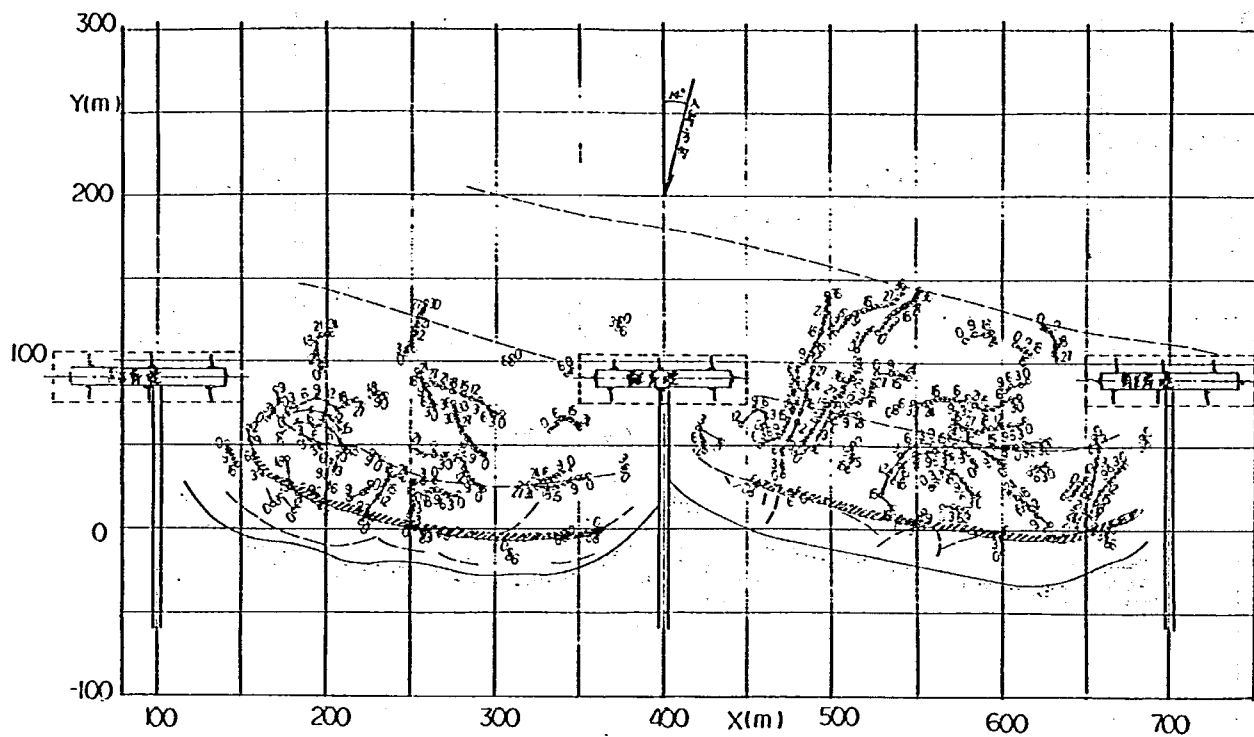


図-6.23 流況図 (ケース④, 20時間)

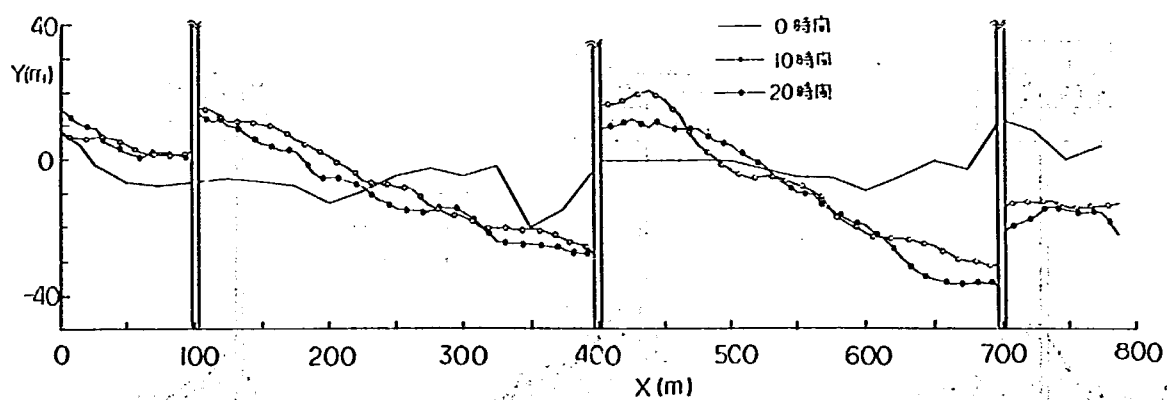


図-6.24 汀線変化 (ケース①)

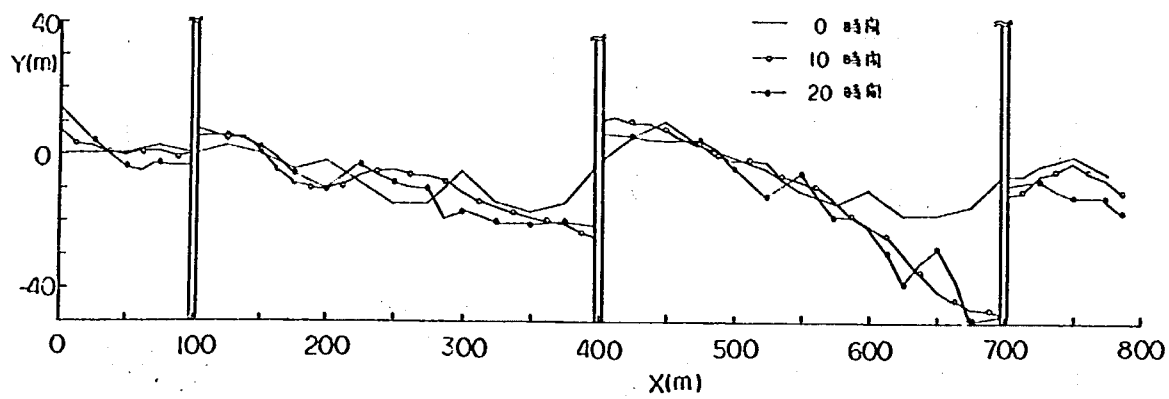


図-6.25 汀線変化 (ケース②)

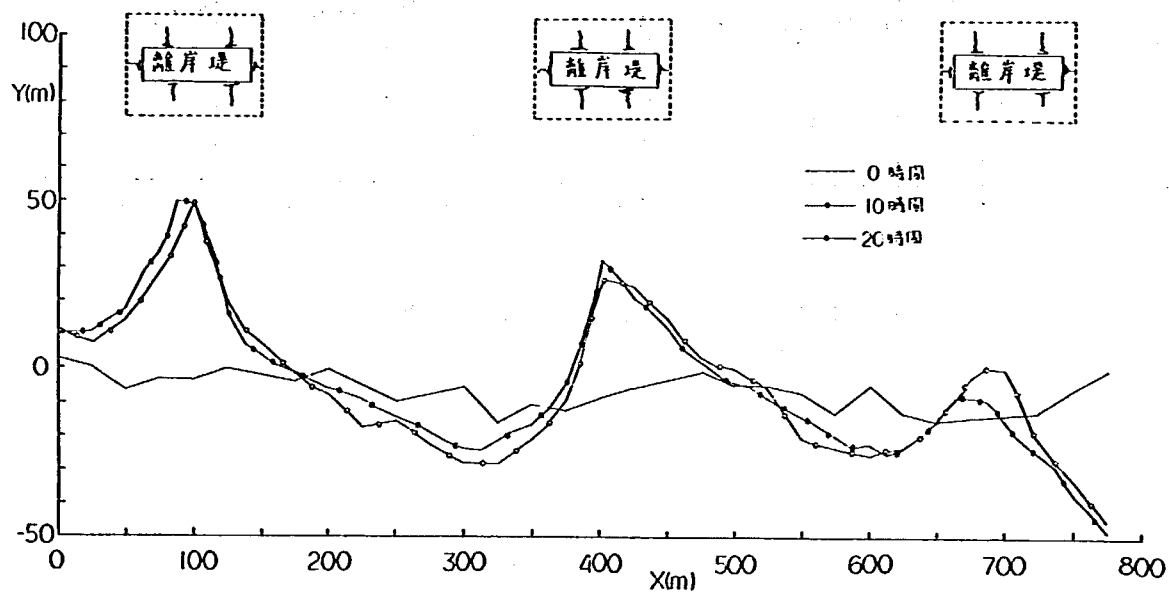


図-6.26 汀線変化 (ケース③)

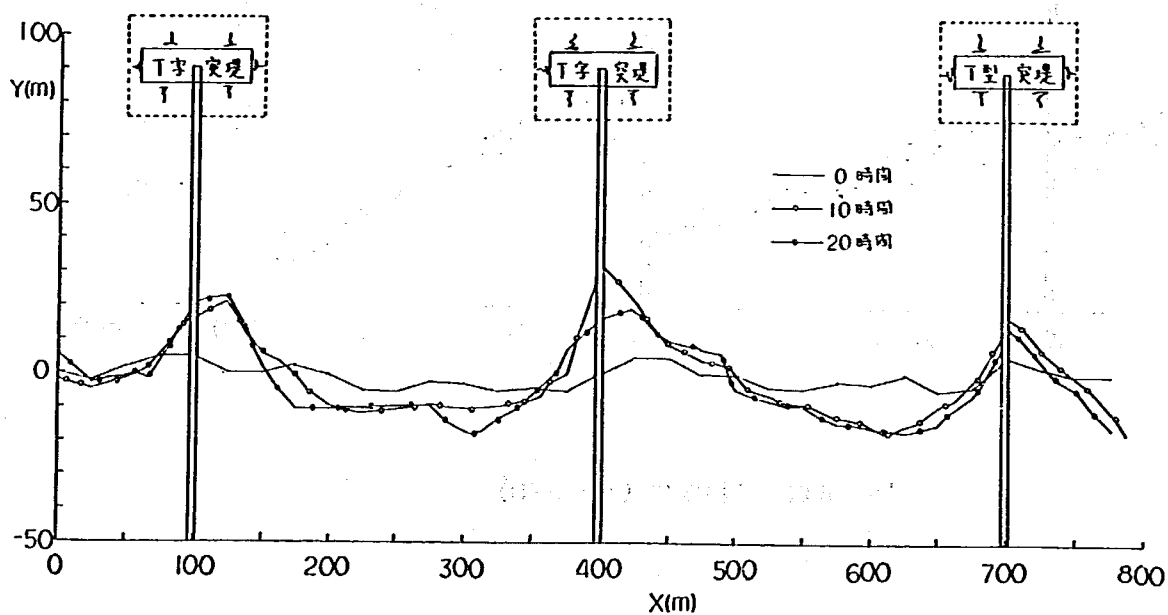


図-6.27 汀線変化 (ケース④)

7. 離岸堤, T字突堤模型実験

7.1 実験の目的

第6章では突堤の持つ機能について検討したが, 設定した90mと32.5mの突堤では沿岸漂砂の移動はほぼ阻止された。海岸構造物では放水路などのように, 構造物先端が汀線付近に位置することもあるので, 突堤先端が汀線に位置する場合の検討を行っておく必要がある。よって第7章ではまず最初にこの点について実験的に調査する。

一方, 離岸堤群に波が斜め入射するという条件のもとで, 離岸距離の相違が海浜地形変化に及ぼす影響を明らかにし, 最適離岸距離について検討するために, 離岸距離40mと60mの条件で実験を行う。

最後に, 高知港港湾区域内のT字突堤と仁井田海岸の離岸堤計画との接続法について検討する。接続法としては離岸堤を用いる場合と, 小T字突堤を用いるもの, との2通りについて調査する。

7.2 実験方法

離岸堤, T字突堤模型実験は, 全体で5ケースから成る。実験は幅16m, 長さ21mの平面水槽を用い, 模型縮尺を1/50として行った。相似律はフルードの相似則を用い, 各物理量の縮率を表-7.1のように定めた。

表-7.1 各物理量の縮率

物 理 量	縮 率	物 理 量	縮 率
鉛直長さ	50	波 長	50
水平長さ	50	波形勾配	1
波 高	50	時 間	7.07
海底勾配	1	周 期	7.07

実験結果は, できる限り上記縮率を用いて現地スケールに換算したものを示す。ただし地形変化速度に関しては, フルードの相似則が成立しないために, 測定時間間隔を上記縮率によって現地時間に換算することはできない。よって, 測定時刻などについては, 実験値をそのまま用いることにした。

5ケースの実験条件は表-7.2に示されている。

表-7.2 外力条件一覧表

条件 ケース名	波高 (m)	周期 (sec)	沖波波高 (m)	波形勾配 (H_0/L_0)	測定水深 (m)	潮位 (m)	波の入射 方向(度)
ケース①	2.76	8.5	2.92	0.026	9.50	0.0	時計回りに 14°
ケース②	2.19	8.5	2.31	0.021	9.50	0.0	14°
ケース③	3.17	8.5	3.34	0.030	9.50	0.0	14°
ケース④	2.50	8.5	2.64	0.023	9.50	0.0	14°
ケース⑤	2.79	8.5	2.94	0.026	9.50	0.0	14°

これは, 外力条件のみを表わしている。波高は2.19mより3.17mと現地海岸の平均的波高と比較すると大きな値となっている。この理由は次のように考えれば良い。粒径波高比は, 現地海岸と模型実

験で同一にすることはできないので、現地と模型とではほぼ同様な大きさの底質粒径とし、波高のみをフルード則によって縮小したとき、実験では底質が動きにくい状態となる。このため、地形変化形状の相似性を保つためには、波高を見かけ上大きくする必要がある。周期 8.5 秒、波高 2.6 m という値は、模型実験において現地海岸の平均海浜形状が得られるように条件を選定した結果である。なお、ケース①よりケース⑤で波高は 2.19m より 3.17m まで変化しているが、これは実験条件設定時のわずかな差および入射波高測定データのばらつきによるものである。各ケースごとに波高を意識的に変えようとしたものではない。

本模型実験の主な目的は、高知港港湾区域内の T 字突堤と、仁井田海岸の離岸堤計画との接続法について検討することにある。よって対象海岸としては仁井田海岸を取り上げた。この海岸は南寄りの入射波となる場合、高知港の防波堤および

表 7.3 構造物諸元一覧表

前出の T 字突堤の影響によって大きな侵食が生ずる可能性がある。このため波の入射方向としては、海岸線の法線に対して時計回りの方向に 14° 傾いた方向とした。この方向は仁井田海岸では S 2° E の方向である。

ケース名	構 造 物 諸 元
ケース①	突堤 3 基
ケース②	離岸堤 5 基 $\ell = 40\text{m}$, $d = 50\text{m}$, $r = 100\text{m}$
ケース③	離岸堤 5 基 $\ell = 60\text{m}$, $d = 50\text{m}$, $r = 100\text{m}$
ケース④	T 字突堤 1 基と離岸堤 4 基
ケース⑤	T 字突堤 3 基と離岸堤 2 基

5 ケースの実験条件のうち、構造物の配置等をまとめたのが表 7.3 である。また、注 ℓ は離岸距離、 d は離岸堤間隔、 r は離岸堤長を示す。構造物の配置は図 7.1 にも示される。

ケース①は突堤のみを 3 基配置したものである。中央の突堤はその先端が初期汀線となるよう配置した。左右の 2 基の突堤の先端は、初期汀線より 90m の位置にある。左右の突堤間の間隔は約 600 m である。ケース②は離岸堤を 5 基設置したものであり、離岸距離が 40m、離岸堤長が 100 m、間隔が 50m である。離岸堤は六脚ブロックを二層に積んだもので、基礎にはマウンド工として碎石を敷設した。ケース③はケース②と同様に 5 基の離岸堤を設置するが、離岸距離を大きくし、ケース②の 40m より 60m と変更した。主として離岸距離が変化したときの地形変化状況の相違を調べるために行う。ケース④は T 字突堤 1 基と離岸堤 4 基を図 7.1 に示されるように設置したものである。T 字突堤の離岸堤部と汀線との距離は 90m とした。またその長さは 80m とした。離岸堤部はテトラポッドを二層に積み、突堤部は不透透性のコンクリートブロックで造った。ケース⑤はケース④と基本的に良く似た形状であるが、T 字突堤の下手側に位置する 2 基の離岸堤を T 字突堤に変えたものである。突堤部分は、六脚ブロックの 2 層積み構造とした。

模型海浜は、図 7.2 に示すように製作した。すなわち初期汀線に対して波が斜めに入射するように、初期汀線を波の入射方向に対して反時計回りに 14° 回転させたものである。初期汀線に直角方向の海浜断面形状は、図 7.3 に示すように、高知海岸の平均海浜断面を与えた。

測定項目は、海浜形状、碎波波高、入射波高、流況、波向、汀線位置である。海浜形状は初期と、

実験開始後 5, 20 時間後の 3 回測定した。測定は、沿岸方向に 25m 間隔に並んだ測線上において岸沖方向に 5 m 間隔で行った。碎波波高、流況、波向は実験開始直後と、実験終了直前の 19 時間目の 2 回測定した。入射波高は、図 7.2 に A, B で示されるように汀線より 275 m 離れた位置で、沿岸方向にほぼ等間隔で並んだ 2 地点に容量式波高計を設置して測定した。測定時間間隔は 1 時間である。碎波波高は、容量式波高計を用いて沿岸方向に 25m 間隔で測定した。この場合、碎波点位置は場所的に変化するために、碎波点位置と碎波水深を同時に測定した。流況はクレーンで約 5 m (模型上の実高) の高さに吊ったカメラを利用し、投入した多数のフロートの移動状況を写真撮影して求めた。フロートとしてはフィルムケースのフタ (直径約 3 cm) を 3 色に着色して利用した。波向は流況の撮影を行った写真を利用して求めた。汀線位置の測定は沿岸方向に 12.5 m 間隔で測定した。測定は原則として実験開始後、0, 1.5, 3, 5, 8, 12, 16, 20 時間後の 8 回行った。

7.3 突堤、離岸堤、T 字突堤による海浜変形

海浜地形測定は、初期、5, 20 時間後の 3 回行ったので、深淺図は各ケースとも 3 枚ずつ得られた。しかし、5 時間と 20 時間後の図は同一特性を示すため、5 時間後のデータについては省略し、0 時間と 20 時間との比較において地形変化状況を明らかにする。以下、ケース①よりケース⑥まで順に結果を明らかにしよう。

ケース①は突堤が配置されており、初期状態において等深線は X 軸に平行であった。図 7.4 がその状態を示している。この海浜形状に波を時計回りの方向より 14° の入射角で入射させて 20 時間が経過したときの海浜形状が図 7.5 である。図 7.5 を見ると、海浜高さがほぼ +3 m より -4 m の範囲の等高線は波の入射方向とほぼ直角になっていることがわかる。また水深が 7 m より深い部分の等深線や、海浜高さが 3 m より高い場所の等高線には変化は生じていない。すなわち波が斜め入射することによって生じた沿岸漂砂による地形変化は、主として海浜高さが +3 m より -4 m の領域で生じたことになる。この理由は次のように考えられる。陸上において波の最大打ち上げ点より高い地点の土砂は動くことができないし、また海中では漂砂の移動限界水深より深い所でも土砂は動くことができない。これら二つの点により、土砂の移動範囲が限定されたものである。以上の地形変化は特徴的であって、地形変化の生じたあとの等高線、等深線の形状は全体として見たとき逆 Z 型となることがわかる。ただしこれは波が海岸線の法線に対して時計回りの方向より入射する場合である。突堤の下手側では海浜は侵食されて汀線が後退するが、ここでは汀線付近の海底勾配は急になり、逆に沖浜の海底勾配は緩くなる。下手に位置する突堤の上手側では土砂が堆積する。また、侵食域と比較すると堆積域ではより深い所まで土砂が移動し、堆積する。このため沖浜で海底勾配が急になっている。

以上に述べたように、地形変化は大局所には逆 Z 形となるが、20 時間後の海浜形状を多少詳しく調べると、沿岸方向に周期的な変化があることがわかる。例えば、 $h = -5\text{ m}$, -6 m の等深線を見ると、 $X = 225\text{ m}$, 350 m , 475 m , 625 m の位置では沖に向けて凸形状となっている。この位置は、第 7.3 節で明らかにするケース①の流況図 (図 7.14 および図 7.15) と比較すると、離岸流の流頭に

位置しており、主として離岸流によって運ばれた土砂が堆積して出来たものと考えられる。

中央の小突堤の効果については、20時間後の海浜形状で調べてみても顕著な特性は表われていない。汀線付近まで出した突堤では、沿岸漂砂はほとんど全量が通過してしまうものと考えられる。

ケース②は、離岸堤のみを配置したものである。図-7.6は初期形状を、図-7.7は20時間後の海浜形状を示している。両者を比較すると、いくつかの点が明らかとなる。まず、離岸堤より沖合の海底地形には有意な地形変化は生じていない。ただし局所的には-7mの等深線が離岸堤の所で岸方向へわずかに移動している。さらに地形変化は離岸堤より岸側で生ずることもわかる。

離岸堤の背後にはいずれもトンボロが生じているが、トンボロの形状は左右対称ではなく、上手側の方が下手側よりもX軸とのなす角が急になっている。この原因は、次のように考えることができる。すなわち離岸堤の開口部では波が斜め入射するため、回折係数の分布、および回折波の進行方向が左右対称とはならないためである。また、離岸堤背後のトンボロ形状を調べてみると、+1mまたは+2mの等高線に示されるように、トンボロが各2個ずつ形成されたあと、それらが合体して1つの大きなトンボロに発達したことがわかる。さらに20時間後の形状において、汀線付近の形状を見ると、離岸堤の背後のトンボロは、漂砂の下手に近くなるほど大きくなる傾向がある。これは、上手側の土砂が下手方向へ全体として移動したため、上手側では下手側より水深が増加し、波の回折が強まったことによってトンボロが小さくなったと考えられる。

ケース③はケース②と同様に離岸堤のみを配置したものであるが、離岸距離がケース②の40mよりケース③の60mと変わっている。設置水深は変化しているが、離岸堤の長さや間隔はケース②と同一である。ケース③の実験目的は離岸距離を変えたとき地形変化がどの様になるかを明らかにすることにある。

実験結果は図-7.8、図-7.9に示されている。図-7.8は初期形状を、図-7.9は20時間後の形状である。ケース②と比較すると、離岸距離が長くなったため、波浪減殺効果が弱まった。このため離岸堤背後のトンボロはケース②に比較して小さくなった。以上のように、離岸堤の離岸距離を長くすることは、逆にトンボロを小さくする結果を招くことがわかる。もちろん、離岸距離を極端に短くし、ほとんど汀線上に離岸堤が設置されることになればトンボロは再び小さくなるはずであるから、以上の結果は、最も大きなトンボロを発生させるための最適位置がありうることを示唆している。この最適位置は、ここで行った模型実験のみでは明らかではないが、これは沿岸漂砂量の分布形と密接に関連しているものと考えられる。この点に関する詳しい解析は第8章で行う。

ケース④はケース②における右端の離岸堤をT字突堤に変えたものである。海浜形状は図-7.10、図-7.11に示されている。図-7.10は初期形状を、図-7.11は20時間後の形状である。離岸堤の背後部にはトンボロが発達するが、この状況はケース②とほぼ同様である。T字突堤背後にもトンボロが出来たが、その汀線形状で比較する限り、離岸堤背後のトンボロよりも小さいものとなった。これはT字突堤の離岸距離が大きかったため、開口部からの回折波が強くなったことによると考えられる。

ケース⑤はケース④の4基の離岸堤のうち2基をT字突堤に変えたものである。実験結果は図-7.12、

13に示されている。等深線の形状はケース④と基本的には良く似ているが、ケース④、⑤の20時間後の海浜形状（図一7.11と図一7.13）を比較すると、小T字突堤背後の海浜形状が異なっている。小T字突堤の背後では突堤によって左右の海浜が分離されているため、両側の等深線は不連続形で、両者のなす角が、離岸堤の場合よりも鋭角になっている。

以上、ケース①よりケース⑥まで突堤、離岸堤、T字突堤を組合わせた場合の海浜地形変化を、等深線形状を比較することによって明らかにした。最後に、得られた要点をまとめておく。

- ① 突堤のみを配置し、波を斜め入射すると、地形変化の生じたあとの等高線、等深線の形状は逆Z形となる。ただし、これは波が時計回りの方向より入射する場合である。
- ② 汀線付近まで出した小突堤では、沿岸漂砂の阻止機能はほとんどない。
- ③ 高知海岸の海浜形状および波浪条件のもとでは、離岸距離40mの離岸堤より沖合では有意な地形変化は生じなかった。
- ④ 波を斜め入射させたときのトンボロの形態は左右対称ではなく、上手側の方が下手側よりもX軸（沿岸方向座標）とのなす角が急になる。この原因は、離岸堤の開口部より波が斜め入射したとき、回折係数の分布および回折波の進行方向が左右対称とならないためである。
- ⑤ 離岸距離を40mより60mに変えたとき、生ずるトンボロは大きくならない。
- ⑥ 離岸距離が90mという大きなT字突堤の背後に生じたトンボロは、離岸距離40mの離岸堤のそれよりも小さかった。
- ⑦ 突堤と離岸堤の機能の相違は次のようである。突堤を用いたとき、上手側、侵食領域の土砂は汀線が波向と平行となるまですべて移動する。離岸堤では、各離岸堤ごとにトンボロが形成され、各場所ごとに漂砂量がほぼ0となるように変形して行く。このため海浜の変形は突堤の場合よりもなだらかである。

7.4 流 況

突堤、離岸堤、T字突堤周辺の流況分布は、図一7.14より図一7.23に示されている。流況は各ケースとも0時間と20時間の2回測定されている。図中○印はフロートの位置を示すものである。測定は投入した多数のフロートの移動状況を2波（2.4秒）おきに写真撮影することによって行った。以下、ケース①よりケース⑥まで、得られた流況の特性について述べる。

図一7.14は、突堤を配置したケース①における0時間の流況図である。中央の短い突堤はその先端が初期汀線上にある。右端の突堤のすぐ下手側および左側の突堤のすぐ上手側を除き、沿岸流は汀線に沿ってほぼ一様に流れている。中央部に置いた突堤の影響は顕著ではない。20時間後の流況は、図一7.15に示される。汀線形状には大きな変化が見られるが、沿岸流はこの海岸線と平行に流れてはおらず、蛇行して流れている。また、中央の突堤についてはかなりの影響が表われており、突堤の上手では離岸流が発達し、下手では循環流が形成されている。すなわち、中央の突堤のすぐ下手では大局的に見た沿岸流の流向と逆の方向に流れていることがわかる。以上の結果は、突堤の長さが短く先端

が汀線付近に位置する構造であったとしても、流況にはかなりの影響を及ぼすものであることがわかる。

図一7.16は、離岸堤を配置したケース②の0時間における流況図である。ケース②の離岸堤の配置は、離岸距離が40m、離岸堤長100m、間隔50mである。0時間では、離岸堤の背後にまだトンボロが発達していないために、沿岸流は下手方向へ流れている。離岸堤の開口部では離岸流が生じている。沖へ流出した離岸流は、全体として流向が下手方向へ傾いている。次に、図一7.17はケース②の20時間後の流況を示す。離岸堤背後ではトンボロが発達し、このため汀線と離岸堤との間を通過する沿岸流は弱くなる。この代りに、離岸堤開口部における離岸流がより顕著になっている。図一7.16、図一7.17で共通して言えることは、離岸流が沿岸方向の軸（X軸）とは直角とならず、下流方向に傾いていることである。その傾き角を、Y軸より反時計回りを正として測定すると、0時間の測定結果（図一7.16）では左より順に25.5°、30°、23°、33°となっている。ただし測定は、離岸堤間の離岸流についてのみ行った。20時間後（図一7.17）においても同様に計算すると、32°、33°、32°、32°となるので、以上8個のデータより平均値を求めると、29°となる。この値は入射角の約2倍の大きさである。

離岸流は相当強いものであるが、高知海岸では汀線付近の勾配は急であり、また離岸堤設置位置の水深は約5mと深いので、岸付近の土砂が直接離岸流によって沖合へ運ばれるわけではない。すなわち、離岸流が強くても、水深が深ければその地点では土砂移動量はそれほど大きくはないと考えられる。

図一7.18は、ケース③の0時間における流況を示している。ケース②と③の相違は、離岸堤の離岸距離が40mより60mと長くなった点にある。ただし離岸堤長および間隔は100m及び50mと、ケース②と同一である。図一7.18とケース②の0時間の流況図（図一7.16）とを比較すると、離岸堤開口部の離岸流は弱くなっており、沿岸流は開口部より離岸流とならずに、離岸堤背後において連続的に流れている。このような流れは時間的に変化する。図一7.19は、ケース③の20時間後の流況である。0時間において離岸堤の背後に発達した沿岸流は20時間後にはずっと弱まる。代りに20時間では離岸堤開口部より下手方向へ向いた離岸流が強くなる。離岸流の流軸とY軸とのなす角をケース②と同様に反時計回りを正として読みとると、離岸堤間の開口部、左より順に24°、41°、31°、29°となる。これらの平均は33°であって、ケース②よりわずかに大きい値を与える。

離岸流の強さをケース②、③の20時間後の流況（図一7.17と図一7.19）で比較すると、ケース③の方が流れの強さが弱くなっていることがわかる。入射波高はケース②が2.19m、ケース③が3.17mとケース③の方が大きかったにもかかわらず開口部の離岸流流速が小さかったということは、離岸距離が開口部での離岸流速を定める上で重要なことを示している。さらに離岸距離が40m以下の場合には明らかではないが、40m以上においては離岸距離が大きくなると、開口部の離岸流が弱くなることがわかる。

図一7.20は、ケース④の0時間における流況を示している。ケース④は右端にT字突堤を配置したものであり、その他の離岸堤の配置などはケース②と同様である。T字突堤周辺以外の場所の流況は

ケース②の0時間における流況と良く似ている。すなわち、離岸堤背後では下流方向へ沿岸流が流れており、また開口部からは離岸流が発達しているが、この流れの流軸は下手方向へ傾いている。流軸とY軸とのなす角は、左側より順に 30° , 44° , 23° であってその平均は 32° となる。一方、T字突堤と離岸堤との接続部分では流向は大きく変化し、ほとんどX軸と平行に流れることがわかる。これは離岸堤とT字突堤とが階段状となることによって、流れの向きがおさえられるためである。図-7.21はケース④の20時間後における流況である。20時間後の流況に関しては、左端の離岸堤右側の離岸流と、離岸堤、T字突堤間の流れ以外は、ほぼ0時間と同一である。T字突堤左側の流向は、0時間ではほとんどX軸と平行に流れていたが、20時間後、その流軸は、反時計回りの方向に 37° の傾きとなり、他の場所の離岸流の流向と近い値となった。

ケース④の20時間後の流況（図-7.21）とケース②の20時間後の流況（図-7.17）とを比較すると明らかなように、T字突堤を置くことは、汀線付近の沿岸流のしゃ断を意味する。沿岸流が阻止されるということは、同時に沿岸漂砂も阻止されることを意味するから、T字突堤の下手では海浜の侵食が離岸堤の場合より激しいことになる。

ケース④は離岸距離90mのT字突堤を1基のみ配置したものであったが、ケース⑤ではさらに2基T字突堤を増した。図-7.22と図-7.23はケース⑤の0, 20時間後の流況を示す。離岸距離が90mのT字突堤と40mのT字突堤の間の流れは、ケース④の場合と良く似ており、開口部でX軸方向への曲がり大きい。この原因は両者が段違いに並んでいるため、離岸流の向きが横へそらされるためである。

以上、ケース①よりケース⑤まで突堤、離岸堤、T字突堤を組合わせた場合の流況について順に説明したが、それらを要約すると以下ようになる。

- ① 突堤のみ配置したとき、初期状態においては沿岸流は汀線と平行に流れるが、さらに波を作用させて地形変化が生ずると、沿岸流は蛇行して流れる。
- ② その先端が汀線付近に位置する突堤であっても、流れにはかなり大きな影響を及ぼす。突堤の上手では離岸流が、下手では反流としての循環流れが発達する。
- ③ 離岸堤を配置したとき、トンボロが発達する以前の段階では離岸堤背後には下手方向への沿岸流が生ずる。これはトンボロが形成される以前には下手方向への沿岸漂砂が生じていることを意味する。
- ④ 離岸堤の開口部では離岸流が生ずるが、斜め入射の場合、離岸流の向きは下手方向へ傾く。この傾き角は入射角の約2倍の大きさであった。
- ⑤ 離岸堤を設置して波を作用させると、次第にトンボロが発達するが、これに伴って汀線と離岸堤間の沿岸流は弱まり、逆に離岸堤開口部における離岸流が強くなる。
- ⑥ 離岸堤の離岸距離が大きくなると、開口部の離岸流は弱くなる。ただし離岸距離が40m以下の場合には明らかではない。
- ⑦ 離岸堤とT字突堤とを段違いに配置すると、開口部における離岸流の向きと、海岸線の法線との

なす角は平行に配置したときよりも大きくなる。

- ⑧ T字突堤を配置すると、汀線付近の沿岸流はしゃ断される。このことは、T字突堤が沿岸漂砂をも阻止することを意味する。

7.5 汀線の経時変化

汀線の経時変化については、全体で8回測定を行った。測定時刻は0, 1.5, 3, 5, 8, 12, 16, 20時間である。このうち0, 5, 20時間後の汀線位置は海浜地形測定の結果を利用して求め、残りの1.5, 3, 8, 12, 16時間後の5回の測定は、汀線位置をスケールにより直接測定した。なお、測定はすべて沿岸方向に12.5m間隔で行った。実験結果は汀線の経時変化図としてとりまとめたが、ケース②よりケース⑤は汀線の時間的变化状況がともに良く類似していた。このため実験結果はケース①と、ケース⑤のみを代表的に示すことにした。

図-7.24と図-7.25はケース①とケース⑤の汀線の変化状況を示したものである。まず図-7.24に示されたケース①の汀線変化によると、右端の突堤の下手側で次第に汀線が後退し、逆に左端の突堤の右側では汀線が前進する。また、汀線の前進、後退の速さは時間とともに減少してゆくことがわかる。例えば初期と3時間までの間に生ずる変化と、16時間より20時間に至る4時間の変化を見ると、前者の方がはるかに変化が大きい。

ケース⑤の汀線変化を示す図-7.25によると、離岸堤背後のトンボロの形成は非常に速く、約3時間ではほぼその概形ができ上がっている。これは突堤を配置した場合と異なって、土砂が全体として右から左へ移動するという変化ではなく、離岸堤間で土砂収支がほぼ均衡したため、変形に要する時間が短くて済んだことを意味する。

7.6 汀線変化量の沿岸方向分布

前節ではケース①と⑤について汀線の詳しい経時変化状況を示した。次に、0時間と20時間との差より汀線変化量を算出し、これによって各ケースごとに変化状況を比較してみる。

図-7.26より図-7.30は、ケース①よりケース⑤の汀線変化量の沿岸方向分布を示している。汀線変化量は初期形状を基準とし、これより5時間後と20時間後の形状を用いて算出されている。図-7.26はケース①の結果である。図の正值は正味の前進量を、負値は正味の後退量を表わしている。中央には突堤が置かれているが、この場合、突堤右側では侵食が生じたため汀線は後退し、逆に左側では汀線が前進している。中央の突堤の効果は局所的であり、土砂は突堤の右から左へほとんど通過したことがわかる。ただし、汀線変化の生じた平面的広さに関しては、汀線が前進した部分の方が後退した部分の面積より狭く、平面的には均衡を保っていないことがわかる。

ケース②とケース③の相違を図-7.27と図-7.28によって比較すると、汀線変化量の差はわずかである。この結果は第7.2節で述べたように、ケース②とケース③でトンボロ形状に差違が小さかったという事実と一致する。離岸堤建設に要する工費は設置水深の増加とともに増大する。したがって汀

線変化に対して同一の効果しか期待されない以上、ケース②の離岸距離40mの離岸堤の方がケース③の60mの離岸堤よりも望ましいことになる。

図一7.29と図一7.30はケース④、⑤の結果を示しているが、両者を比較すると、ケース⑤では $X=400$ mに設置したT字突堤の効果が著しく、下手側に大きな侵食が見られる。これはT字突堤が沿岸漂砂を完全にしゃ断するためと考えられる。

7.7 構造物周辺の碎波波高分布と地形変化の生ずる最高高さの分布

構造物周辺の碎波波高は、容量式波高計を用いて沿岸方向に12.5 m間隔で測定した。図一7.31より図一7.35には、ケース①よりケース⑤の碎波波高が破線で示されている。図示された碎波波高は20時間後における測定値である。ケース①の突堤の場合は別として、離岸堤またはT字突堤の背後では碎波波高が低くなっている。これは離岸堤による波浪減殺効果によるものである。

離岸堤の背後部で碎波波高が低くなると、波の打ち上げ高さも低くなる。このことは陸上部における地形変化の生ずる高さ、いい換えれば砂州高も低くなることを意味している。このため図一7.31より図一7.35に、地形変化の生ずる最高高さ h_p の測定値を合せて示した。ケース①の結果によると、中央より右側の侵食部で h_p が大きく、逆に堆積部では小さくなっており、碎波波高と弱い相関がある。ケース②～⑤ではほぼ同一の傾向が見られる。すなわち離岸堤の背後では碎波波高が小さくなるとき、 h_p も小さくなっている。

地形変化の生ずる高さの最大値(h_p)と碎波波高の間には相関関係が見出されるので、 h_p と碎波波高(H_b)の関係性を調べてみる。図一7.36はケース①からケース⑤のすべてのデータを用いて定めた h_p と H_b の関係性を示す。図より次の点が明らかになる。

- ① 離岸堤背後部では碎波波高が小さいが、ここでは h_p は小さい。開口部では碎波波高が大きい、この部分では h_p は大きい。
- ② $H_b > 2$ mの範囲ではばらつきはあるが h_p はほぼ一定値($h_p \div 3$ m)となる。
- ③ ケース①では系統的傾向は見られず、 h_p は平均的に3 mに等しい。
- ④ h_p と H_b の関係性はほぼ図中の実線のように表わせる。

7.8 汀線位置の変化量と静水面以上の断面積の変化量との関係

離岸堤やT字突堤の背後では、前節で述べたとおり、碎波波高が小さくなるとともに、地形変化の生ずる最高高さは減少する。この結果、離岸堤背後では陸上部における地形変化の代表高さが減少する。多少意味がわかりにくい、図一7.37を使って説明する。図一7.37は海浜地形変化の状況を模式的にまとめたものであって、地形変化の生ずる最高高さ(h_p)、汀線変化量(ΔY_s)および静水面以上の海浜断面積の変化量(ΔA_1)が示されている。通常、 ΔA_1 と汀線変化量 ΔY_s の間には線形な関係が成立し、 $\Delta A_1 = h_1 \Delta Y_s$ と書くことができるが、ここでは係数 h_1 のことを陸上部における地形変化の代表高さと呼ぶことにする。ただし、 h_1 を陸上部における地形変化の代表高さと呼ぶ理由は次のと

おりである。

ΔA_1 は静水面以上における地形変化であるが、この変化量を汀線変化量 (ΔY_s) と沿直方向の代表高さの積として表わそうとすれば、 ΔA_1 と ΔY_s との比が代表高さを与える。汀線位置の変化量は航空写真や汀線測量などによって比較的容易に測定しうるが、上記の関係式をあらかじめ算出しておけば、与えられた汀線変化量より陸上部における土量の変化を推定することが可能になる。

図—7.38より図—7.42は汀線変化量と陸上部の海浜断面積変化量の関係をまとめたものである。変化量は、初期形状を基準として5, 20時間後地形より算出した。図—7.38より図—7.42はいくつかの特徴を示しているが、それらをまとめると以下ようになる。

① ケース①は他のケースに比較して汀線変化量、断面積変化量ともに大きい。この理由は、ケース①では離岸堤が設置されなかったため、漂砂の移動が阻止されず、大きな地形変化が生じたことによる。

② ケース①よりケース⑤ではほぼ線形な関係が成り立つ。図中の実線は次の関係を示す。

$$\text{ケース①} \quad \Delta A_1 = 3.35 \Delta Y_s + 23.25 \quad (8.1)$$

$$\text{ケース②} \quad \Delta A_1 = 2.20 \Delta Y_s + 2.0 \quad (8.2)$$

$$\text{ケース③} \quad \Delta A_1 = 2.10 \Delta Y_s + 14.25 \quad (8.3)$$

$$\text{ケース④} \quad \Delta A_1 = 1.80 \Delta Y_s + 15.75 \quad (8.4)$$

$$\text{ケース⑤} \quad \Delta A_1 = 1.80 \Delta Y_s + 7.75 \quad (8.5)$$

ここに、 ΔA_1 の単位は m^2 、 ΔY_s は m である。

③ 陸上部における地形変化の代表高さは、ケース①よりケース⑤まで、3.35mより1.80mまで順に減少する。これは突堤よりも離岸堤が、離岸堤よりもT字突堤の方が波高減殺効果が大きいことに対応している。

④ ケース①はほぼ線形な関係であるが、ケース②、⑤では線形な関係からのずれが大きくなる。とくに汀線が大きく前進した部分（離岸堤、T字突堤の背後）で、地形変化の代表高さが小さくなっていることを意味する。

7.9 ま と め

第7章では突堤の機能性、離岸堤の離岸距離を変えることの効果、およびT字突堤と離岸堤計画との接続法について実験的に調査した。得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 突堤のみを配置し、波を斜め入射すると、地形変化の生じたあとの等高線、等深線の形状は逆Z型となる。ただしこれは波が時計回りの方向より入射する場合である。
- (2) 汀線付近まで出した小突堤では、沿岸漂砂の阻止機能はほとんどない。しかし流れにはかなり大きな影響を及ぼす。
- (3) 高知海岸の海浜形状および設定した波浪条件のもとでは、離岸距離40mの離岸堤より沖合では有意な地形変化は生じなかった。

- (4) 波を斜め入射させたときのトンボロの形態は左右対称ではなく、上手側の方が下手側よりもX軸（沿岸方向座標）とのなす角が急になる。この原因は離岸堤の開口部より波が斜め入射したとき、回折係数の分布、および回折波の進行方向が左右対称とならないためである。
- (5) 離岸距離を40 mより60 mに変えても、生ずるトンボロは大きくならなかった。
- (6) 突堤と離岸堤の機能の相違は次のようである。突堤を用いたとき、上手側侵食領域の土砂は汀線が波峰線と平行となるまですべて移動する。離岸堤では、各離岸堤ごとにトンボロが形成され、各場所ごとに漂砂量がほぼ0となるように変形して行く。このため海浜の変形は突堤の場合よりもなだらかである。
- (7) 離岸堤の開口部では離岸流が生ずるが、斜め入射の場合離岸流の向きは下手方向の傾く。この傾き角は入射角の約2倍の大きさであった。
- (8) T字突堤を配置すると、汀線付近の沿岸流と沿岸漂砂はしゃ断され、下手側の侵食が離岸堤と比較すると著しくなった。この点より、接続部の工法としては離岸堤が望ましいと考えられる。

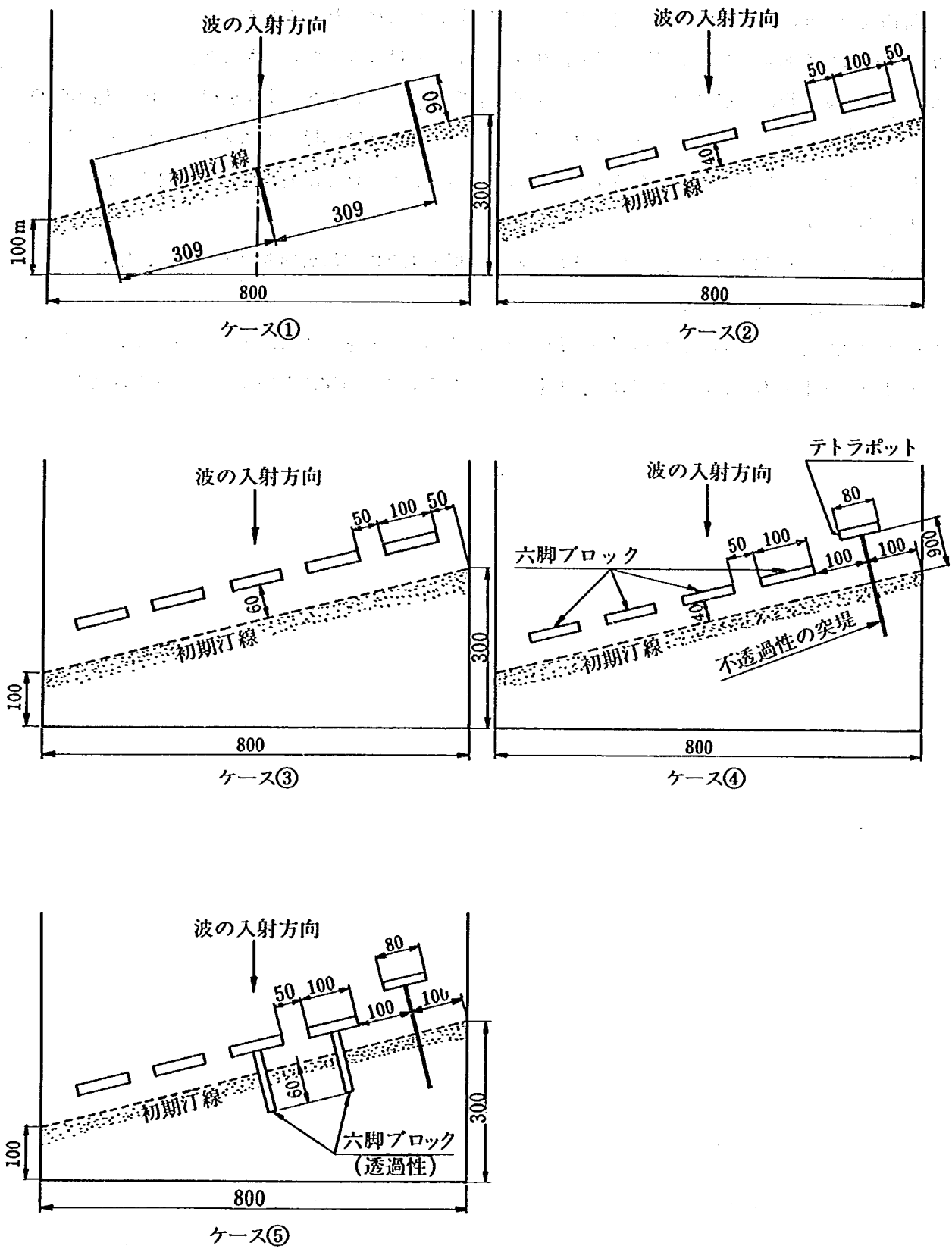


図- 7. 1 構造物の配置図 (m単位)

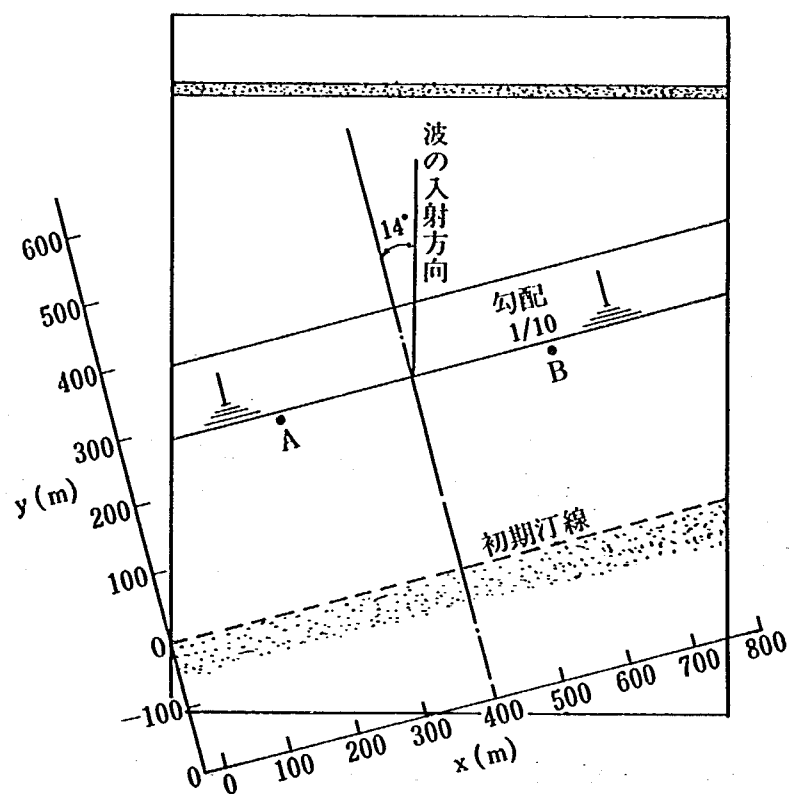


図-7.2 模型海浜平面図

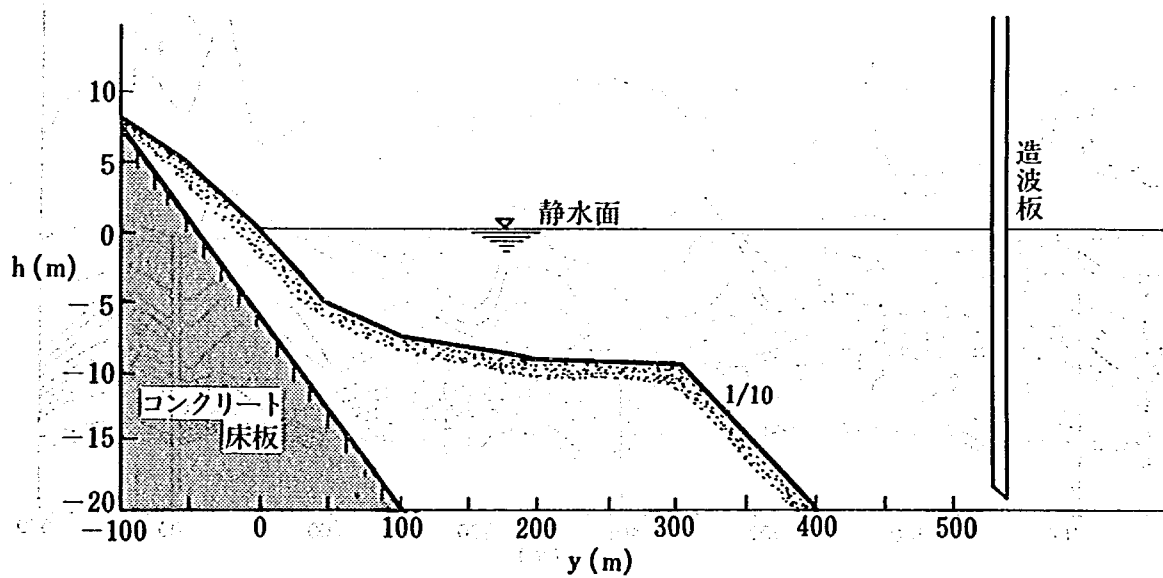


図-7.3 模型海浜断面図 (m単位)

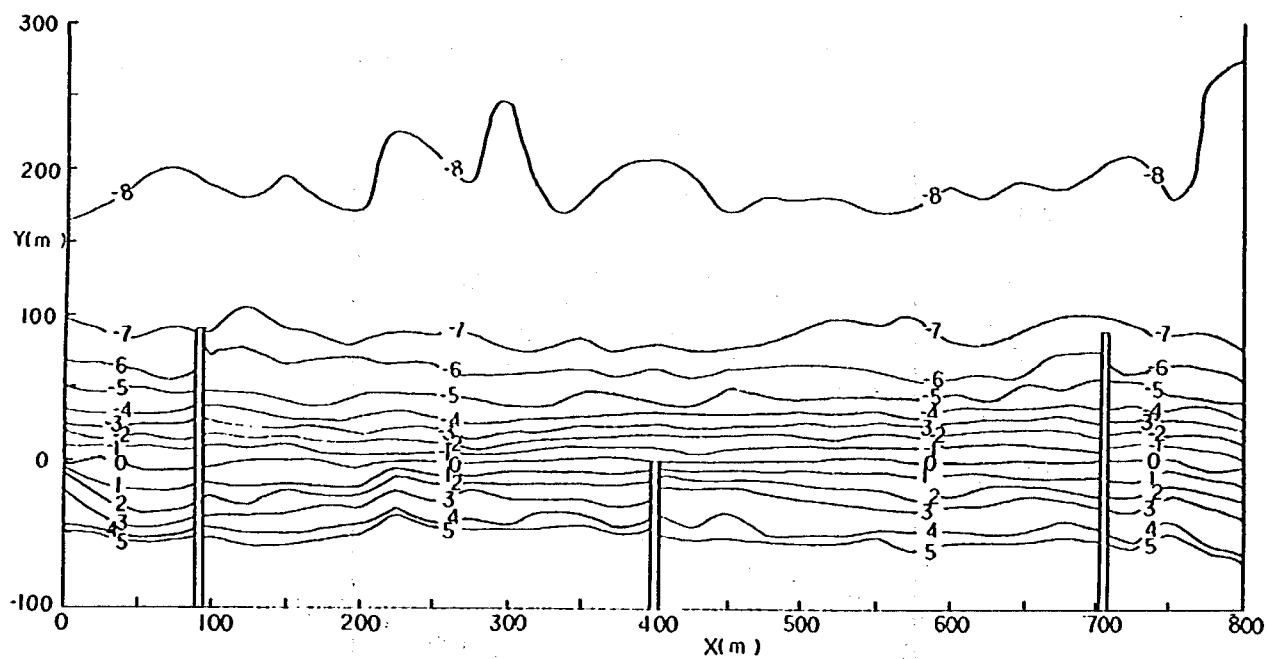


図-7.4 深浅図 (ケース①, 初期地形, 高さは m 単位)

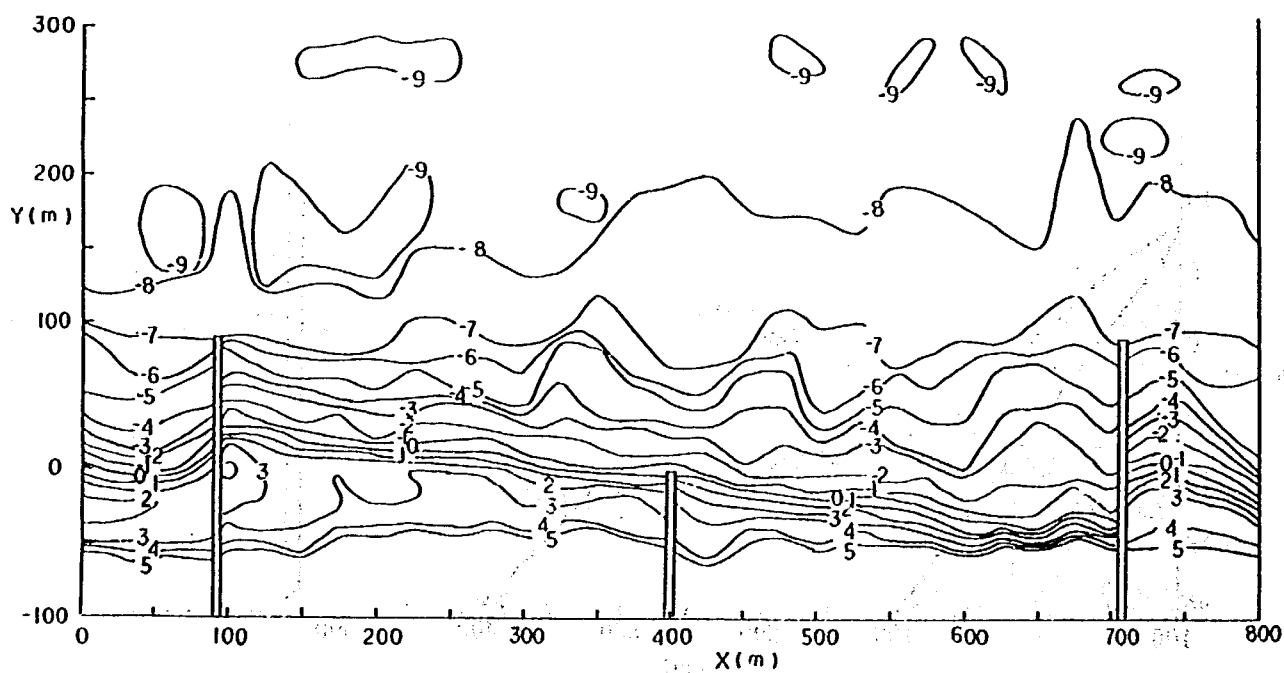


図-7.5 深浅図 (ケース①, 20時間後形状, 高さは m 単位)

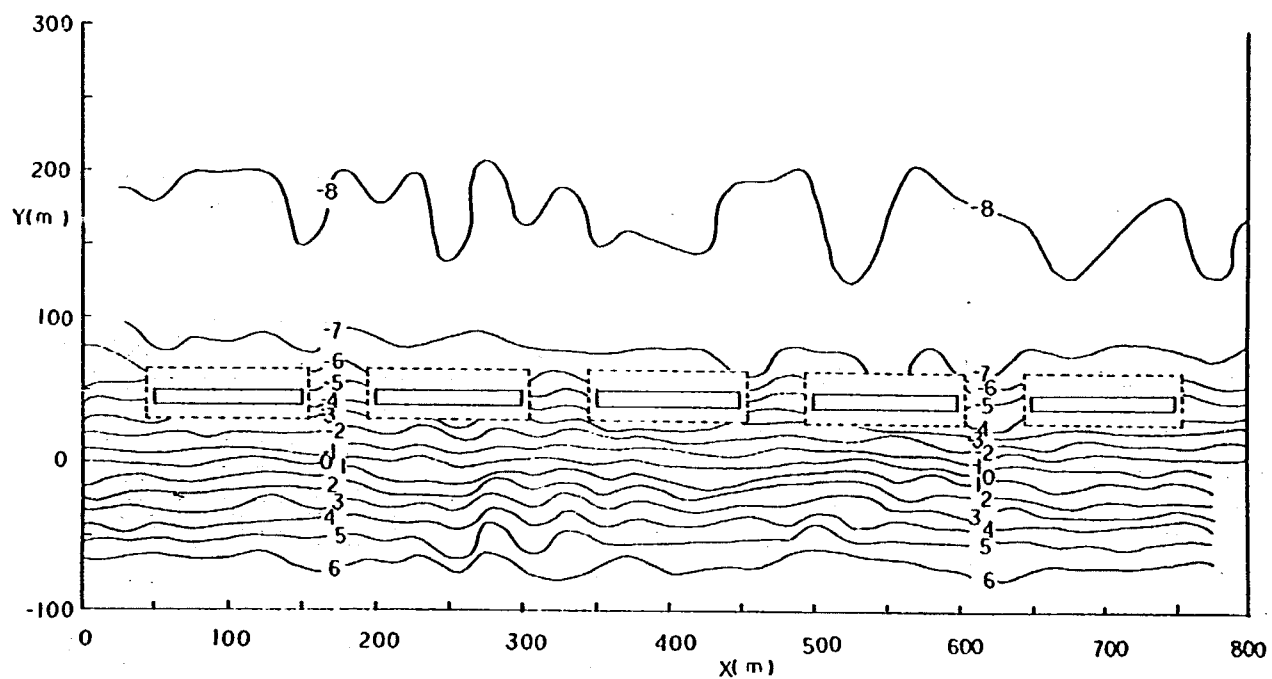


図-7.6 深浅図 (ケース②, 初期地形, 高さは m 単位)

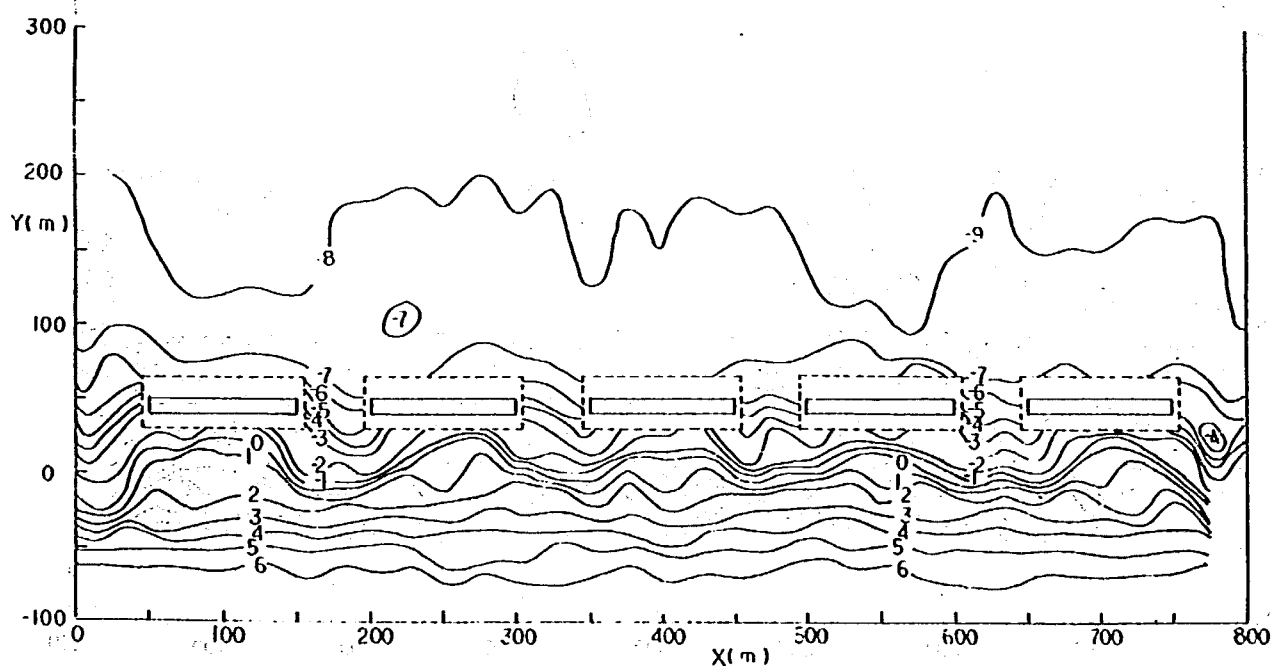


図-7.7 深浅図 (ケース②, 20時間後形状, 高さは m 単位)

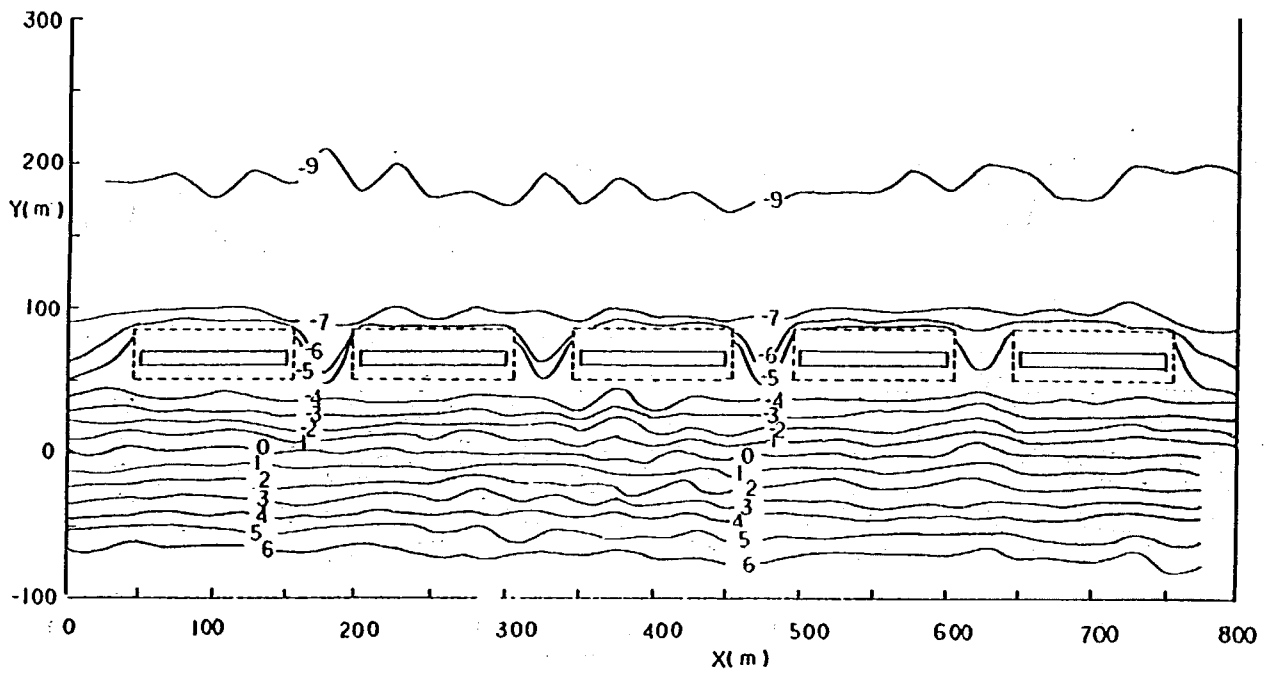


図-7.8 深浅図 (ケース③, 初期地形, 高さは m 単位)

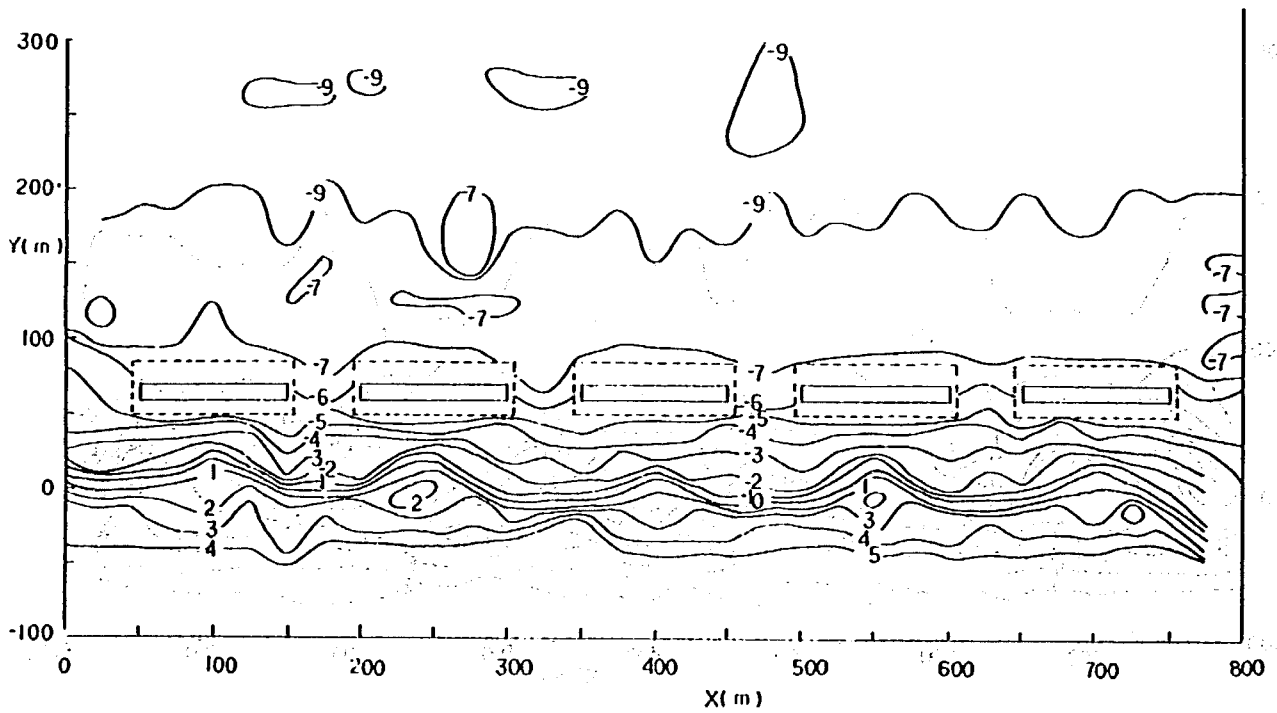


図-7.9 深浅図 (ケース③, 20時間後形状, 高さは m 単位)

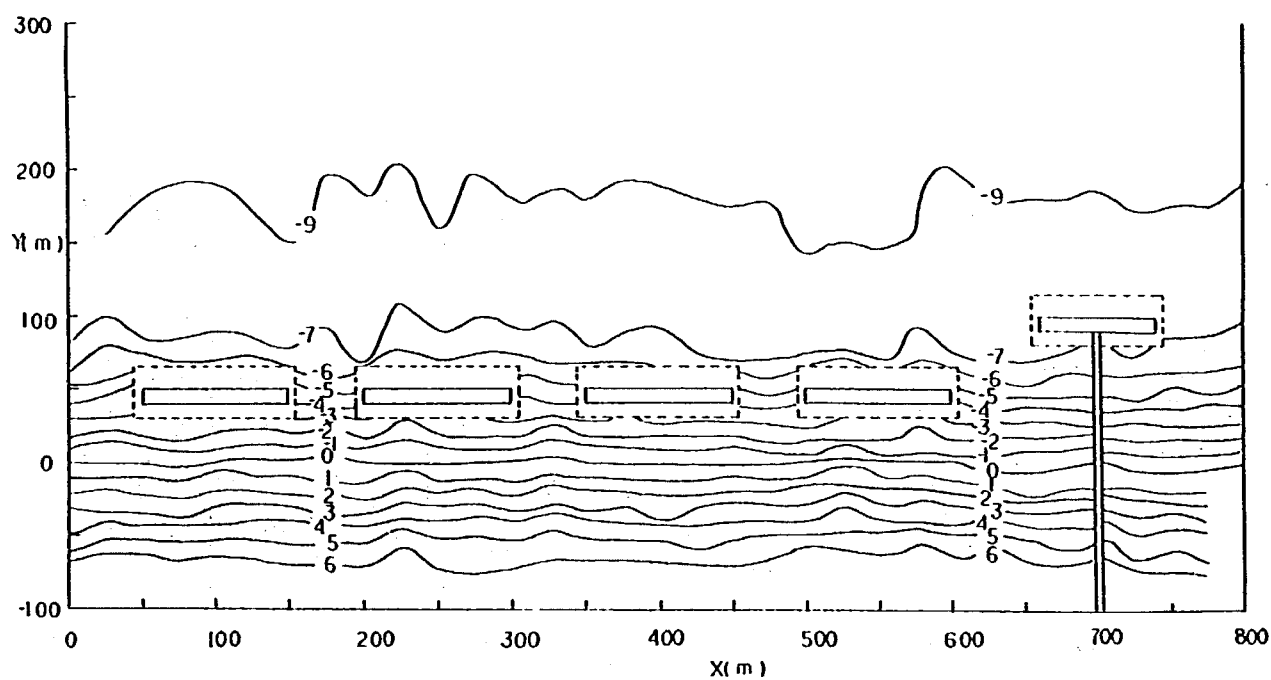


図-7.10 深浅図 (ケース④, 初期地形, 高さは m 単位)

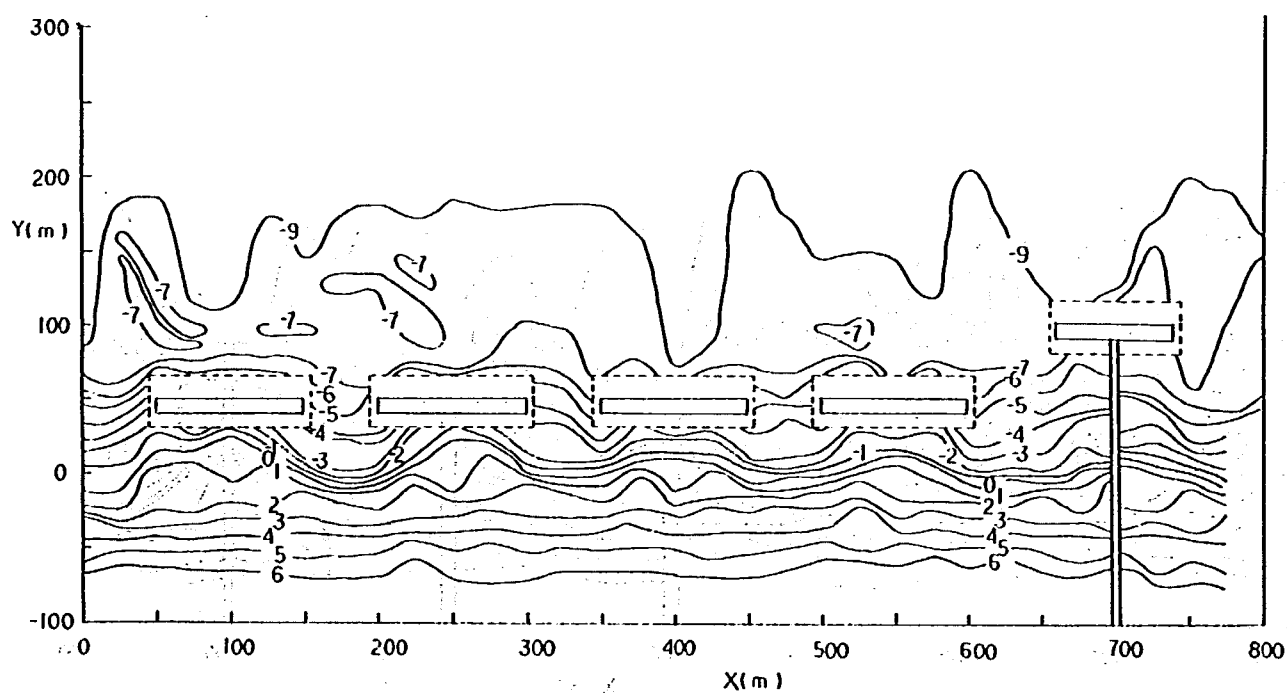


図-7.11 深浅図 (ケース④, 20時間後形状, 高さは m 単位)

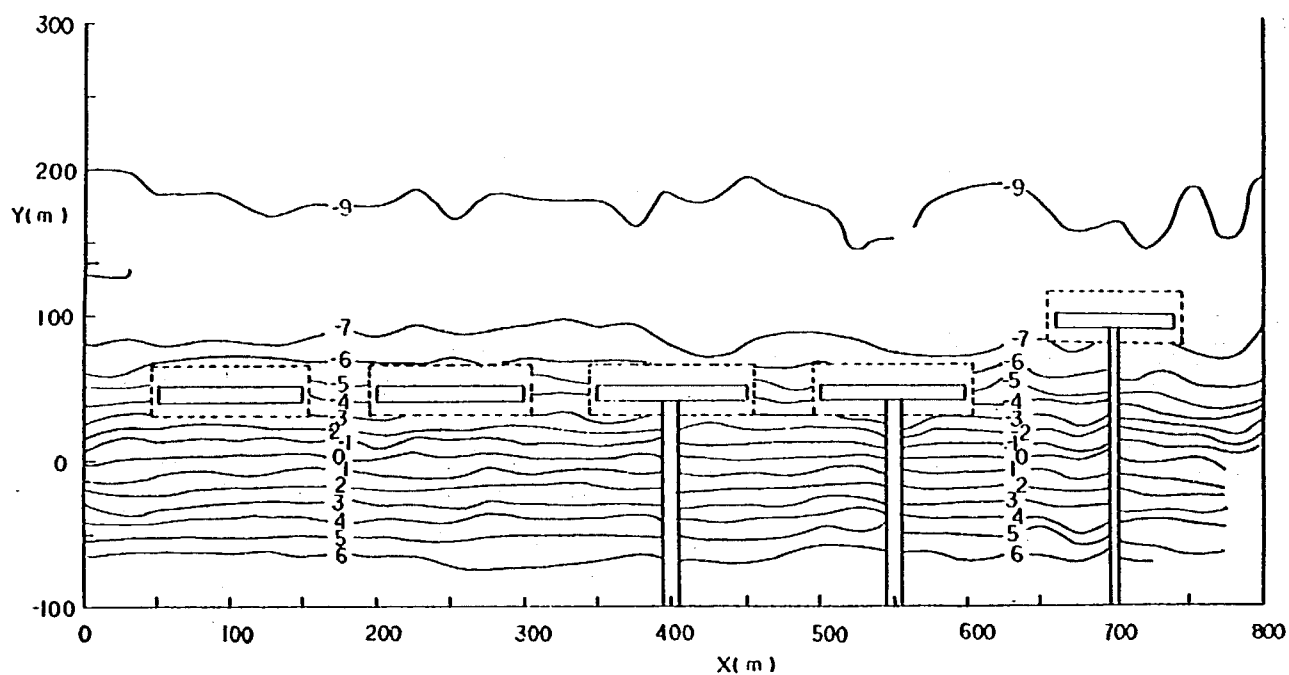


図-7.12 深浅図 (ケース⑥, 初期地形, 高さは m 単位)

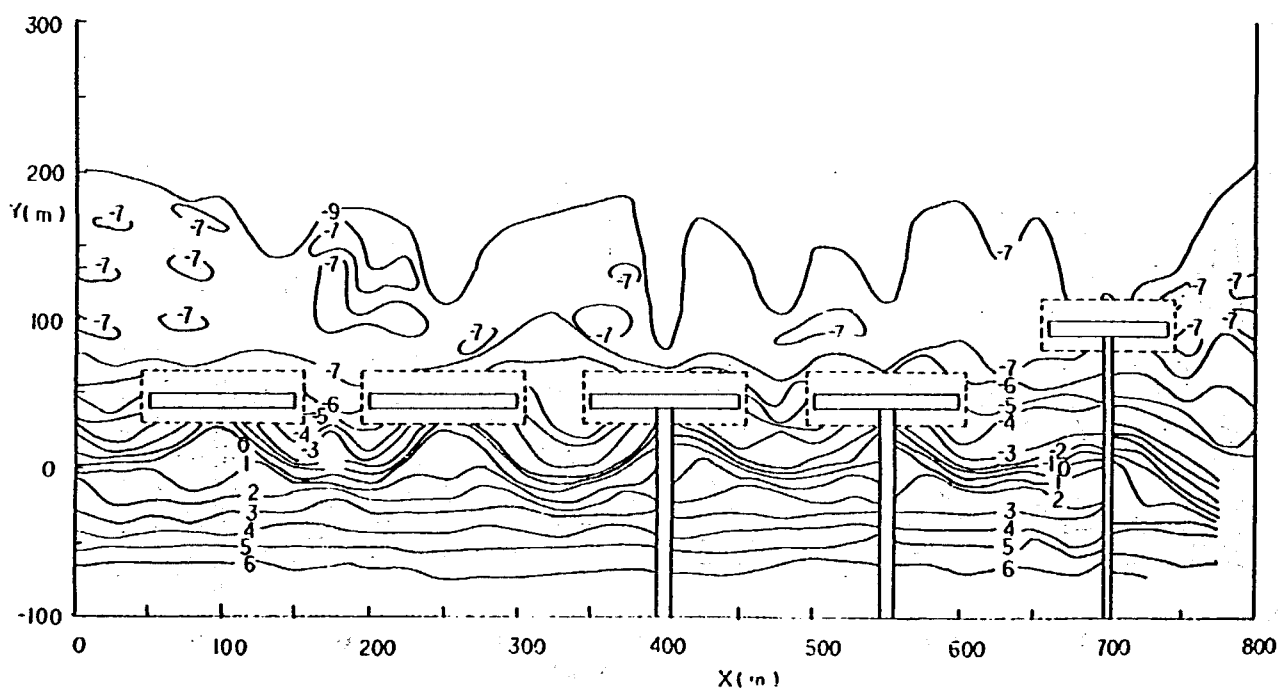


図-7.13 深浅図 (ケース⑥, 20時間後形状, 高さは m 単位)

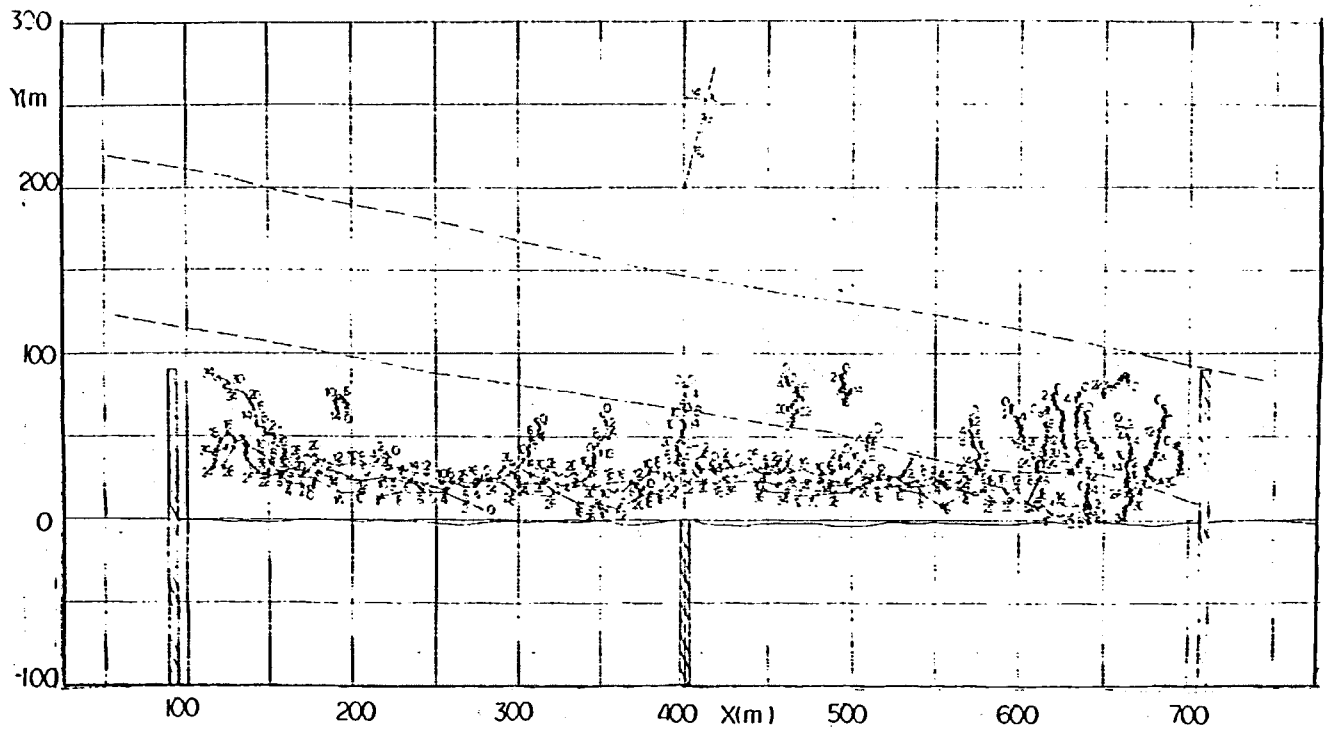


図-7.14 流況図 (ケース①, 0時間目)

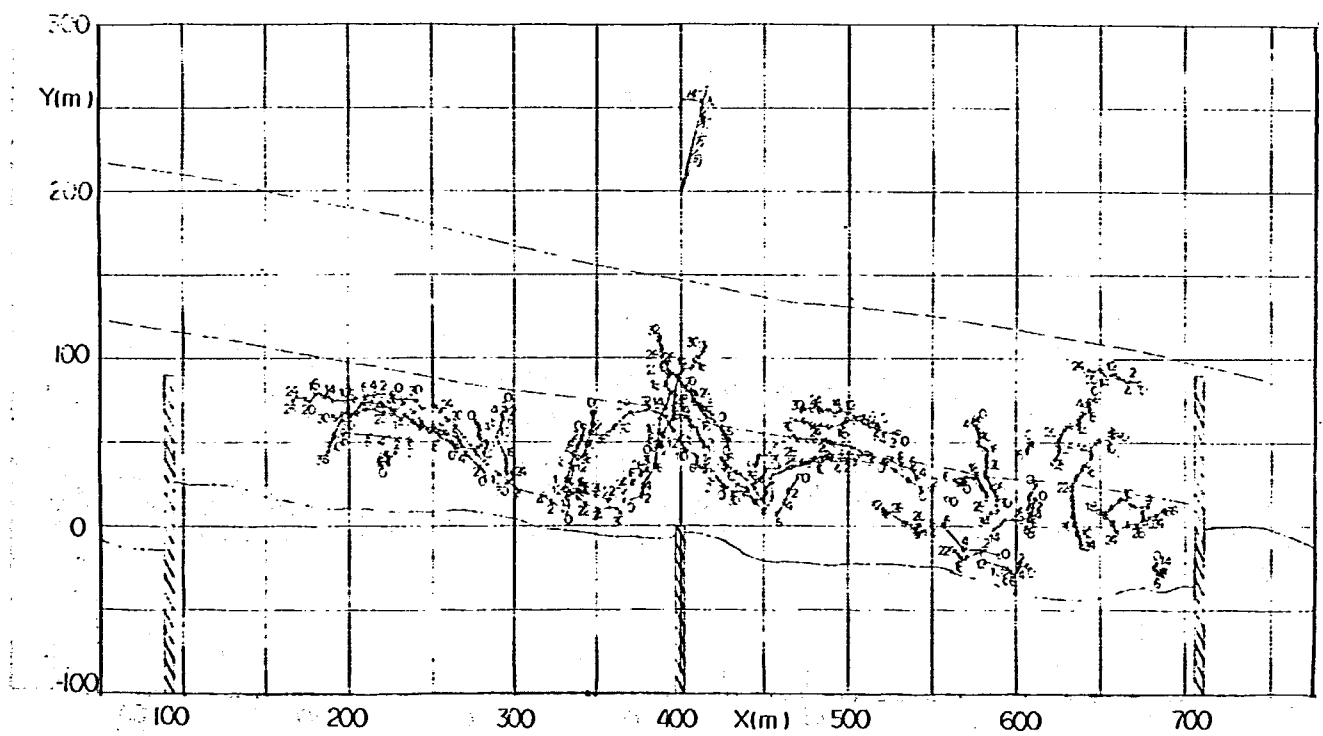


図-7.15 流況図 (ケース①, 20時間後)

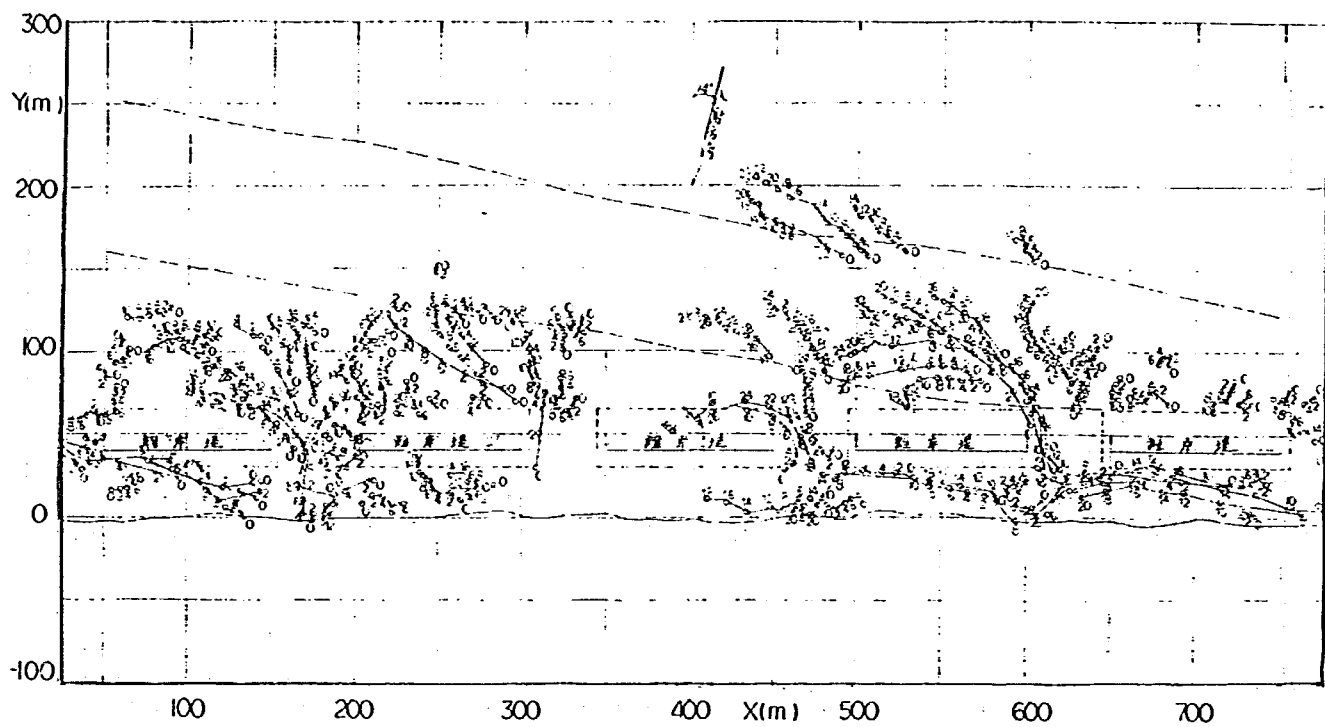


図-7.16 流況図 (ケース②, 0時間目)

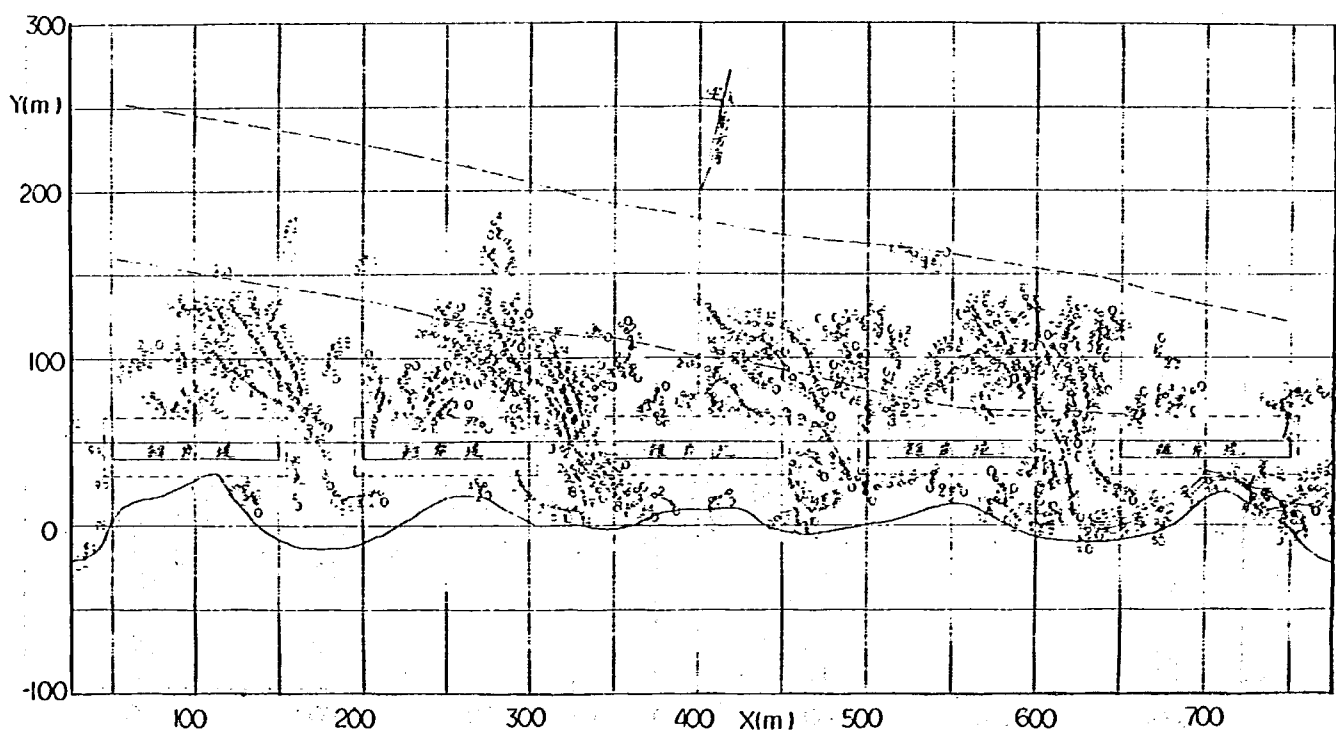


図-7.17 流況図 (ケース②, 20時間後)

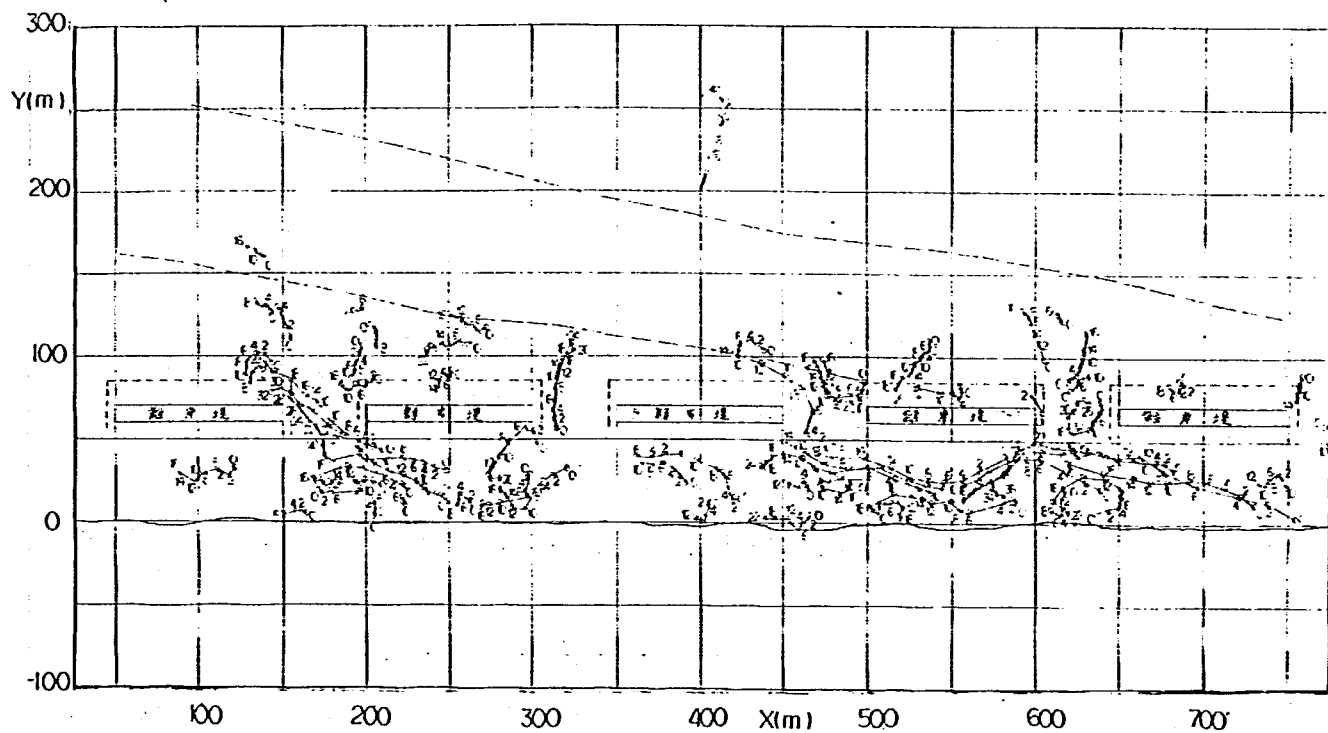


図-7.18 流況図 (ケース③, 0時間目)

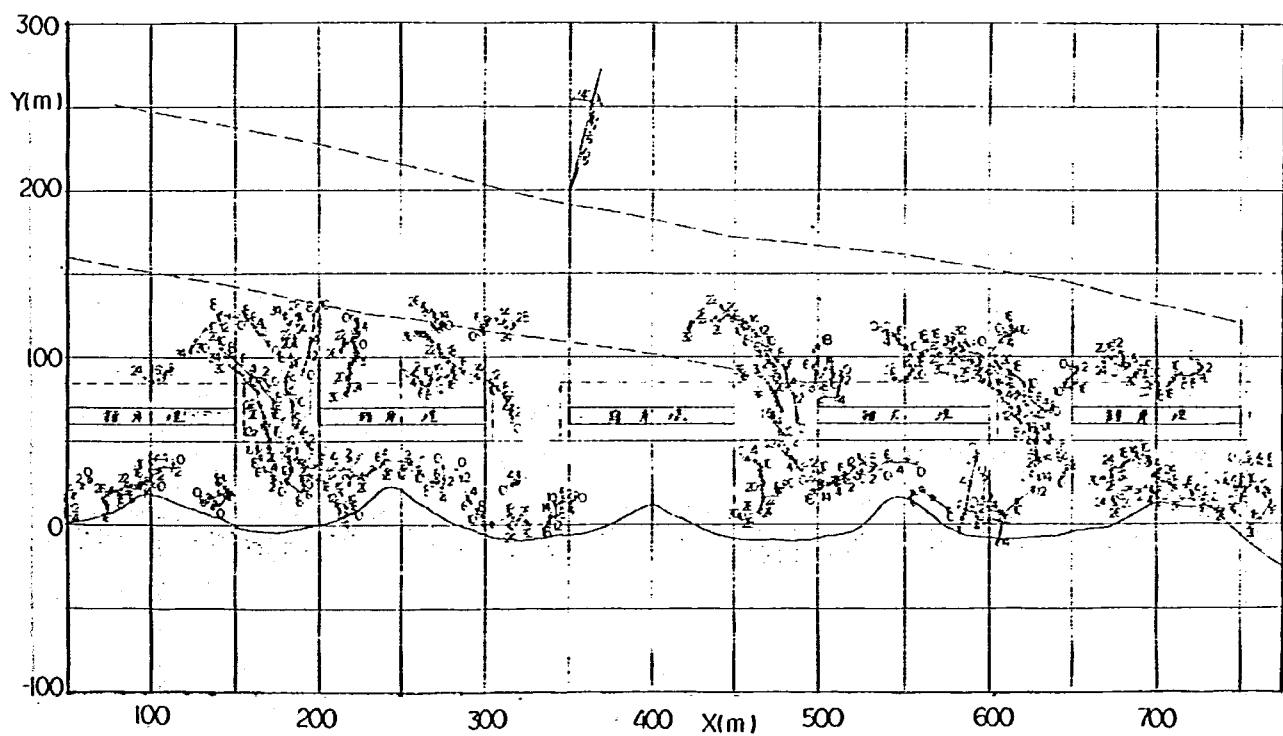


図-7.19 流況図 (ケース③, 20時間後)

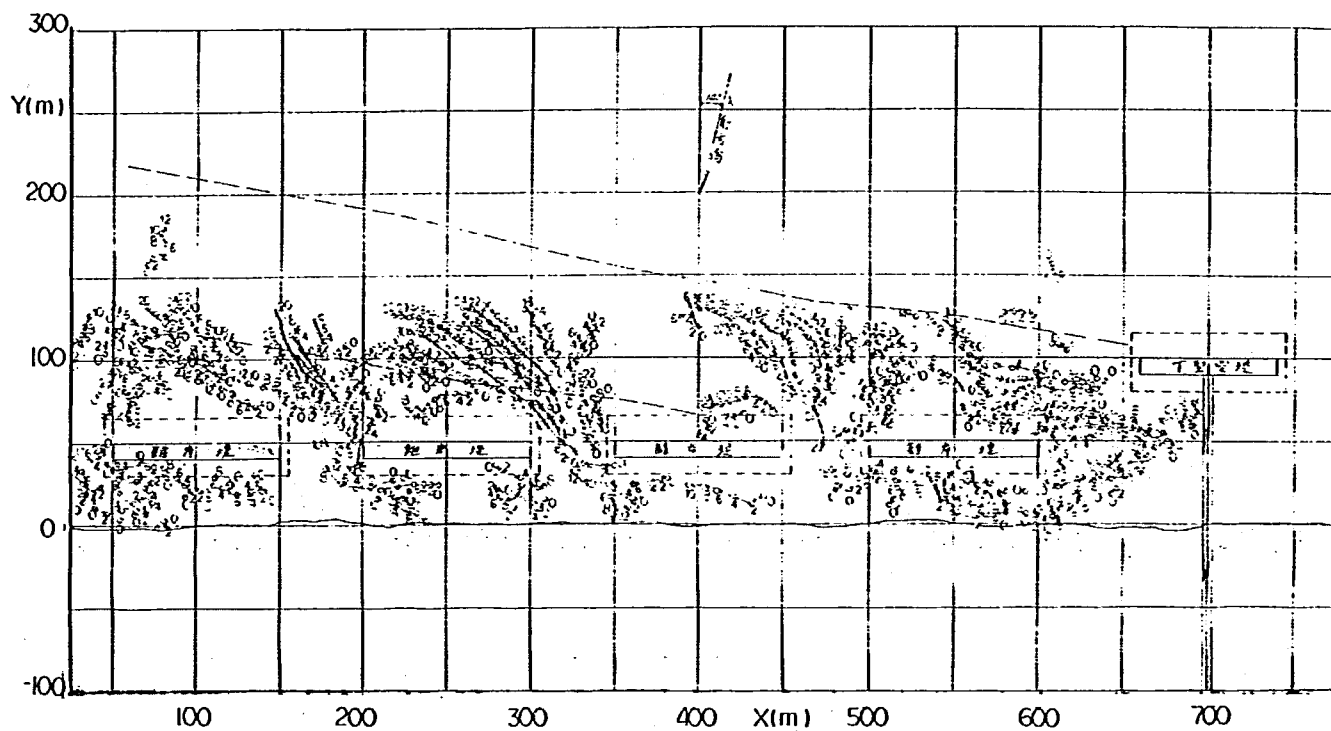


図-7.20 流況図(ケース④, 0時間目)

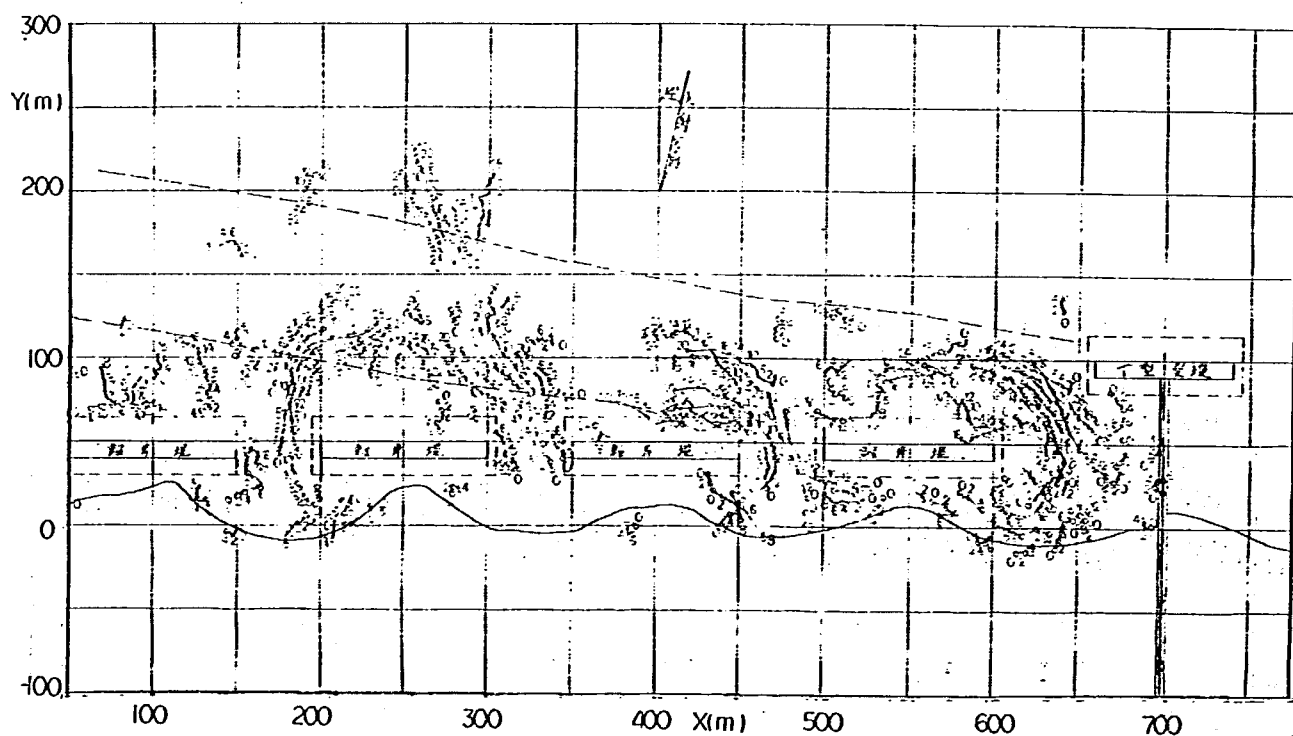


図-7.21 流況図(ケース④, 20時間後)

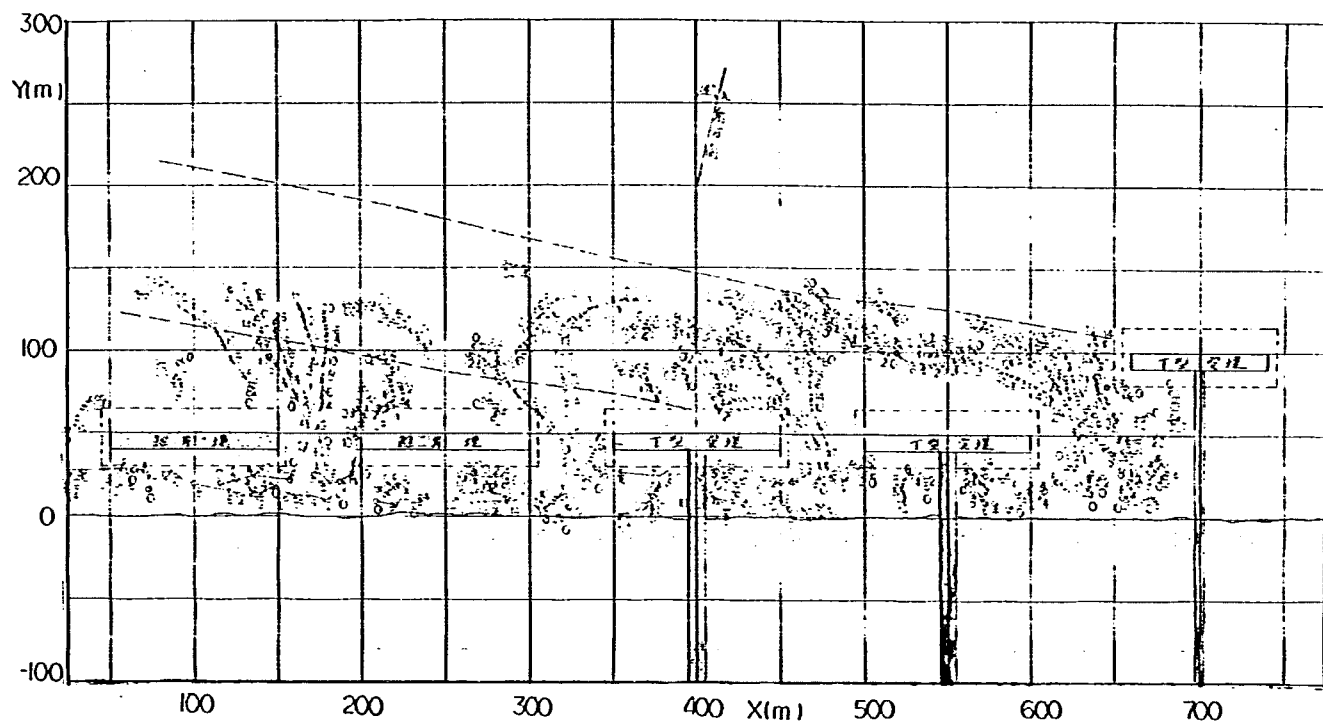


図-7.22 流況図 (ケース⑤, 0時間目)

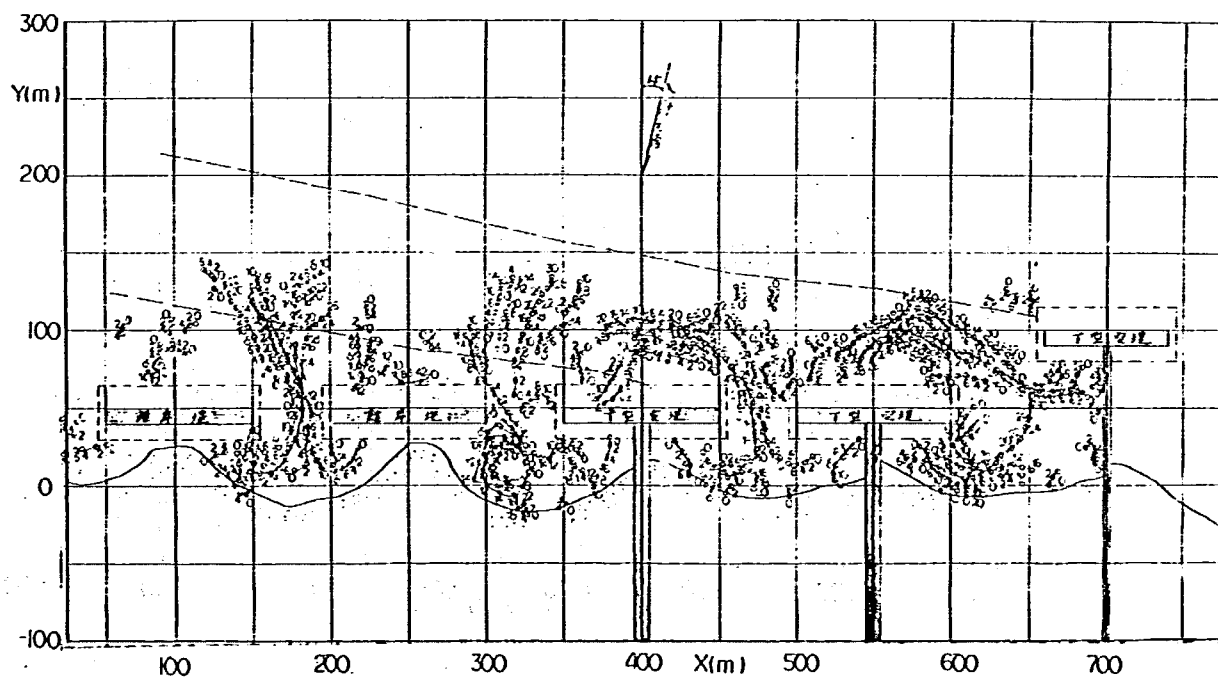


図-7.23 流況図 (ケース⑤, 20時間後)

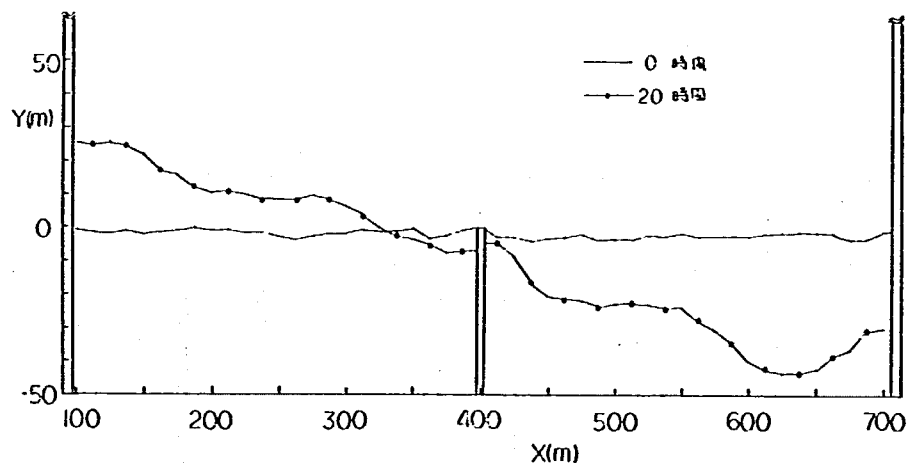


図-7.24 汀線の経時変化 (ケース①)

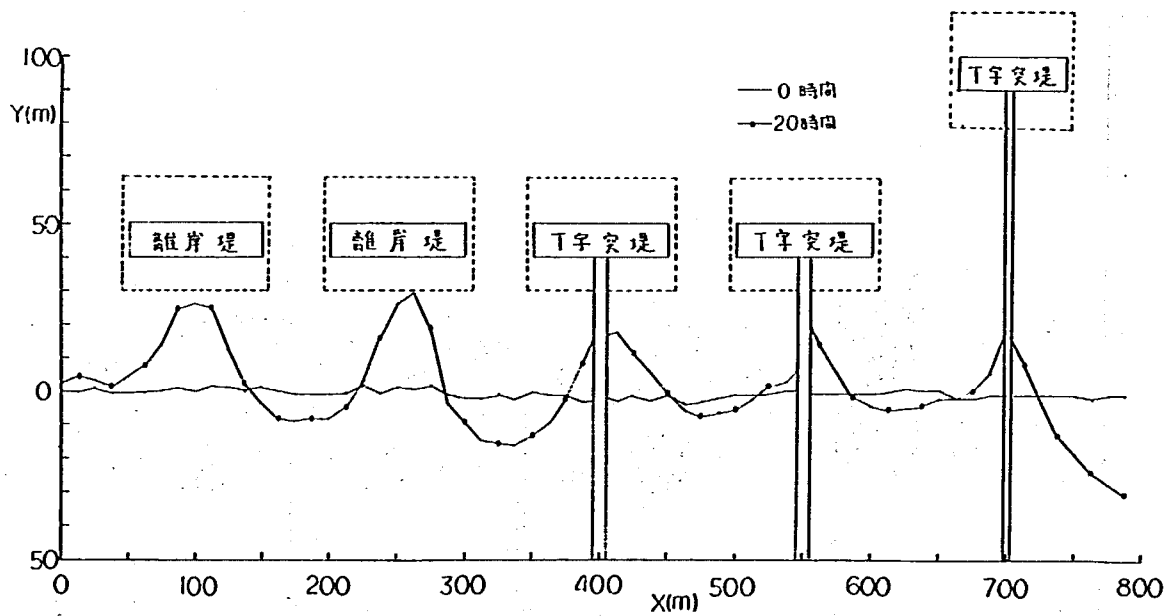


図-7.25 汀線の経時変化 (ケース⑤)

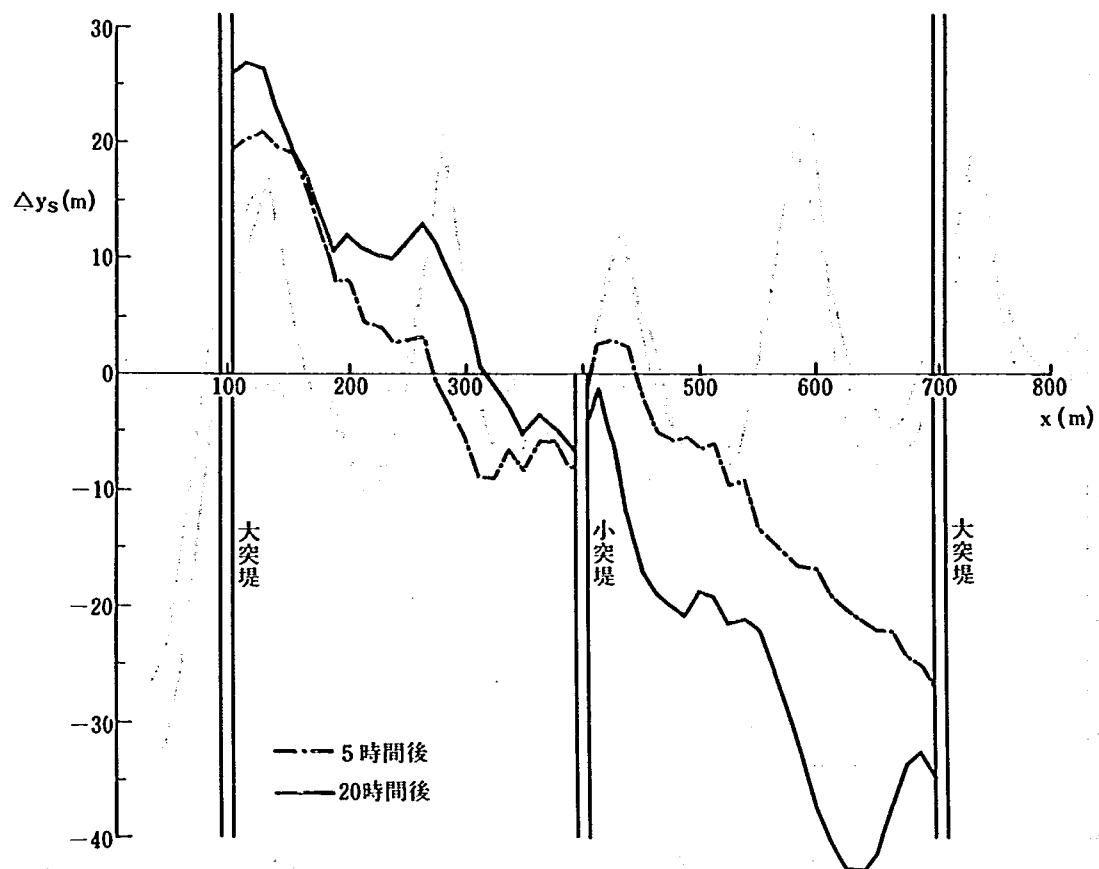


図-7.26 汀線変化量の沿岸方向分布 (ケース①)

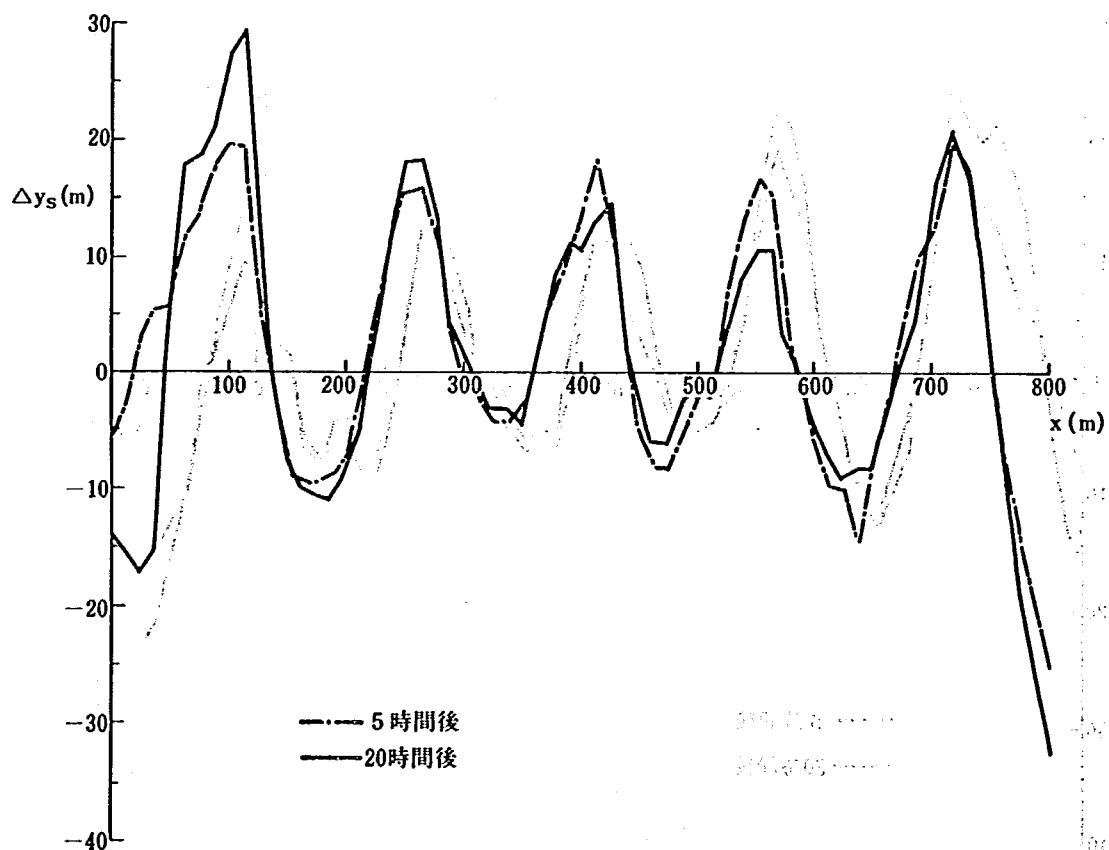


図-7.27 汀線変化量の沿岸方向分布 (ケース②)

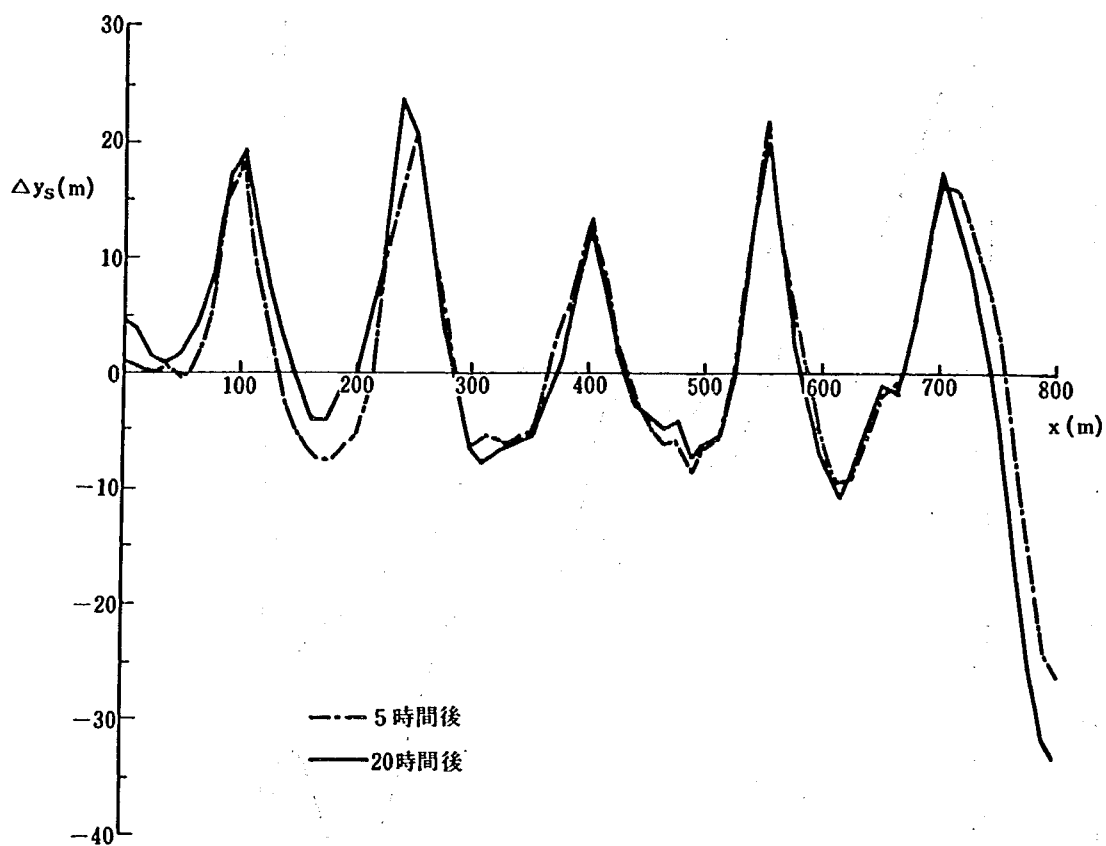


図-7.28 汀線変化量の沿岸方向分布 (ケース③)

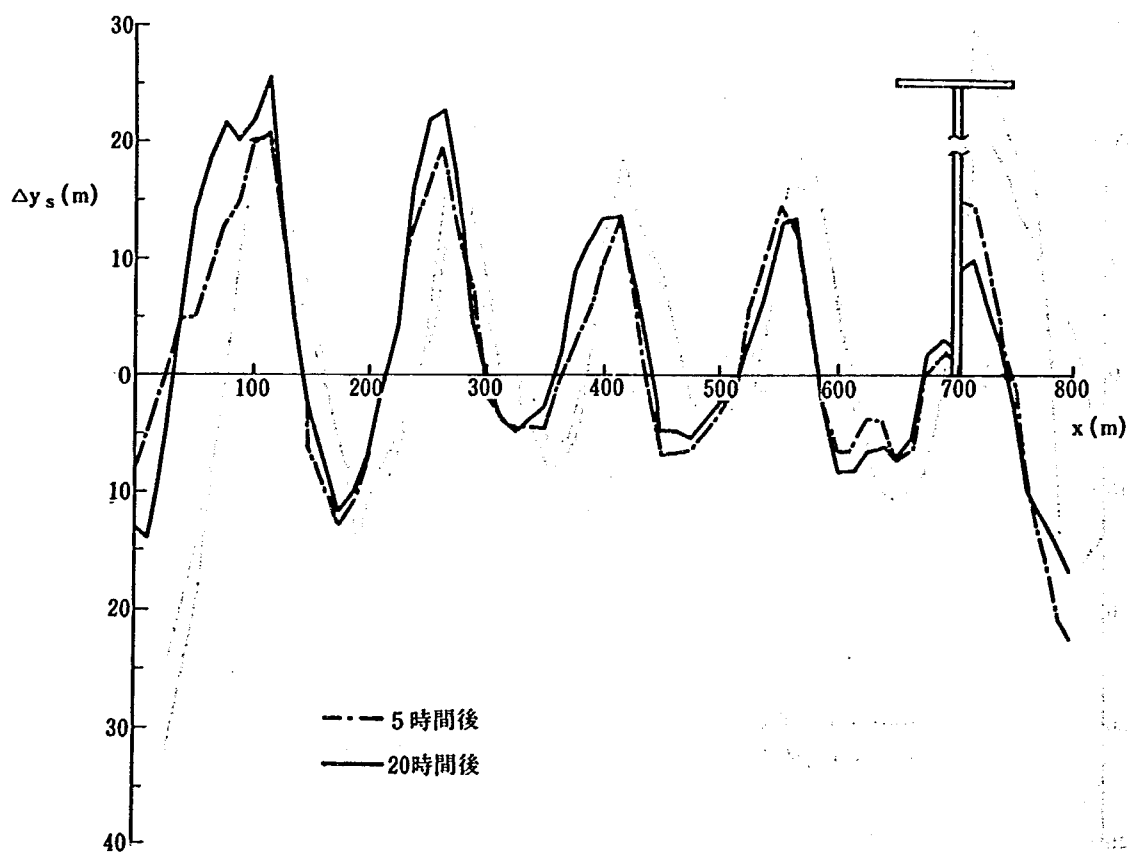


図-7.29 汀線変化量の沿岸方向分布 (ケース④)

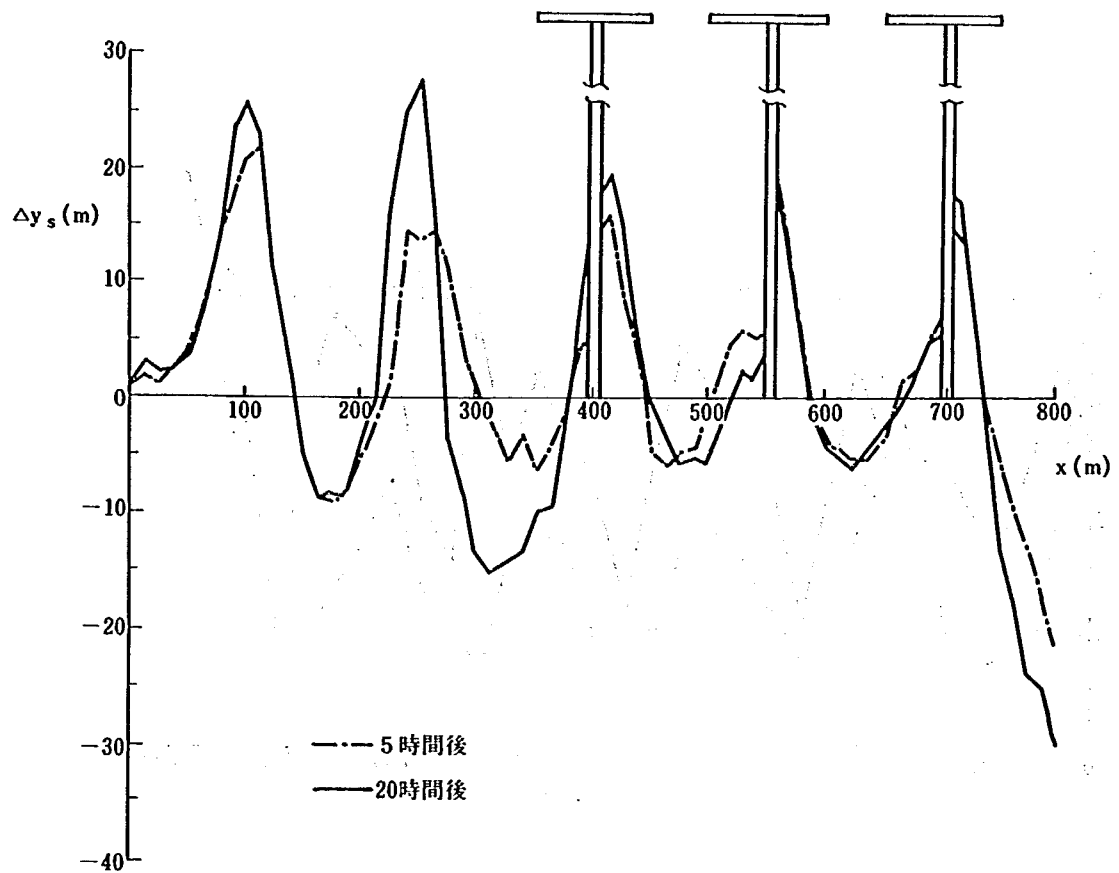


図- 7.30 汀線変化量の沿岸方向分布 (ケース⑤)

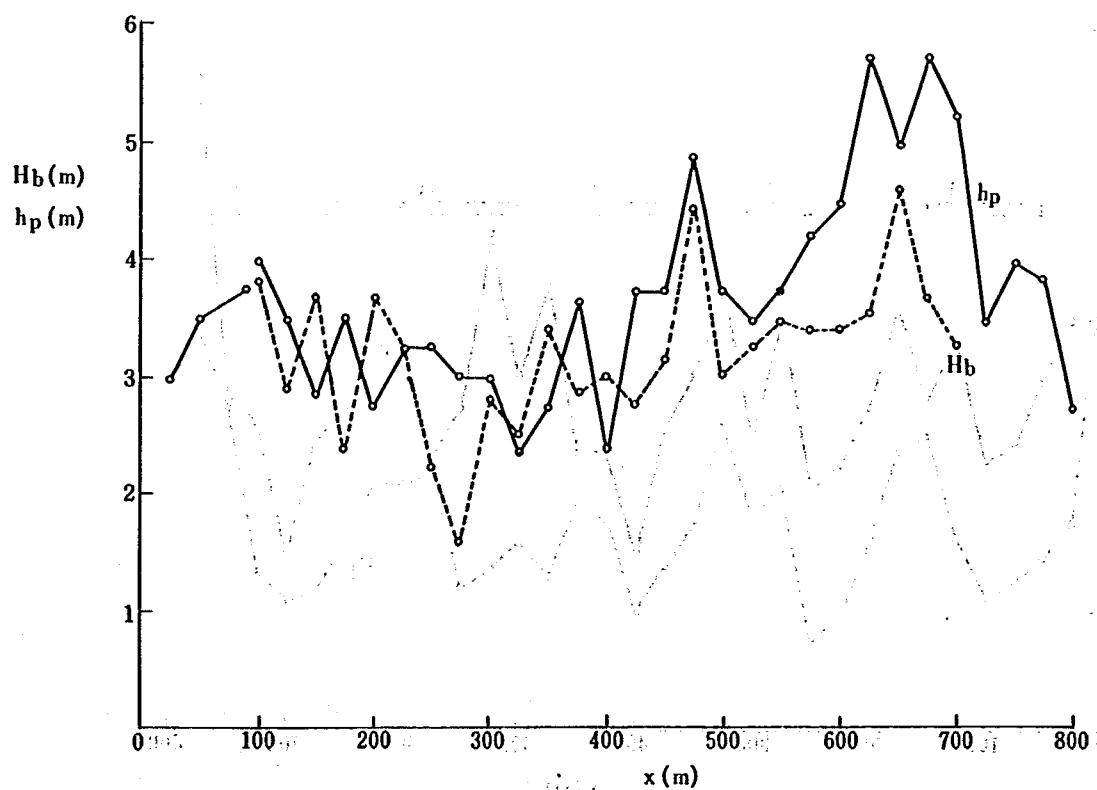


図- 7.31 砕波波高 (H_b) と地形変化の生ずる最高高さ (h_p) の沿岸方向分布 (ケース①)

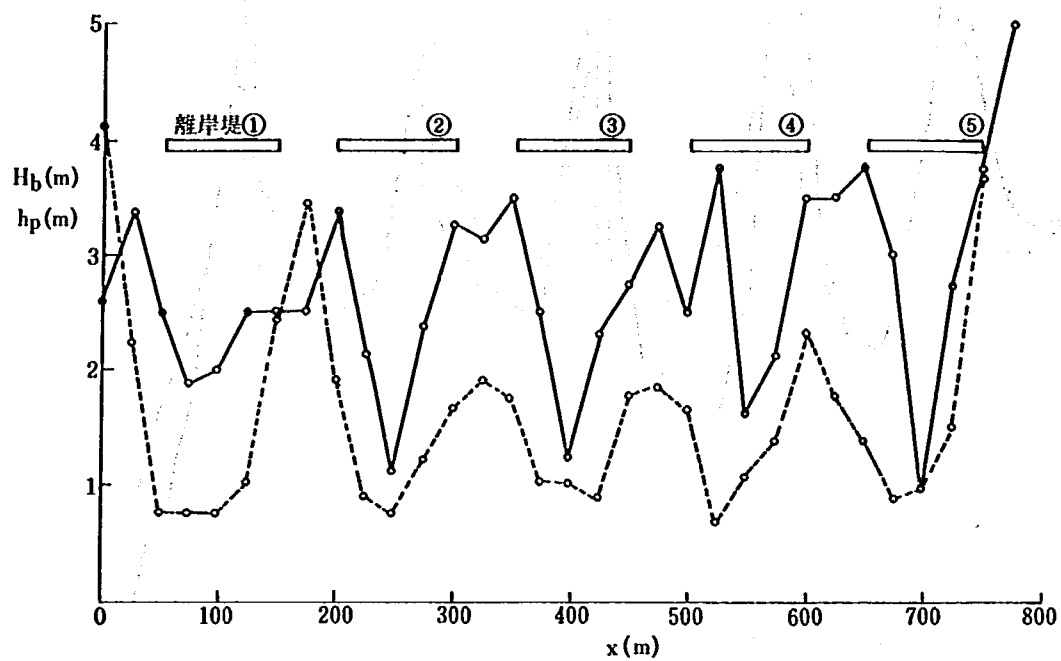


図- 7.32 砕波波高 (H_b) と地形変化の生ずる最高高さ (h_p) の沿岸方向分布 (ケース②)

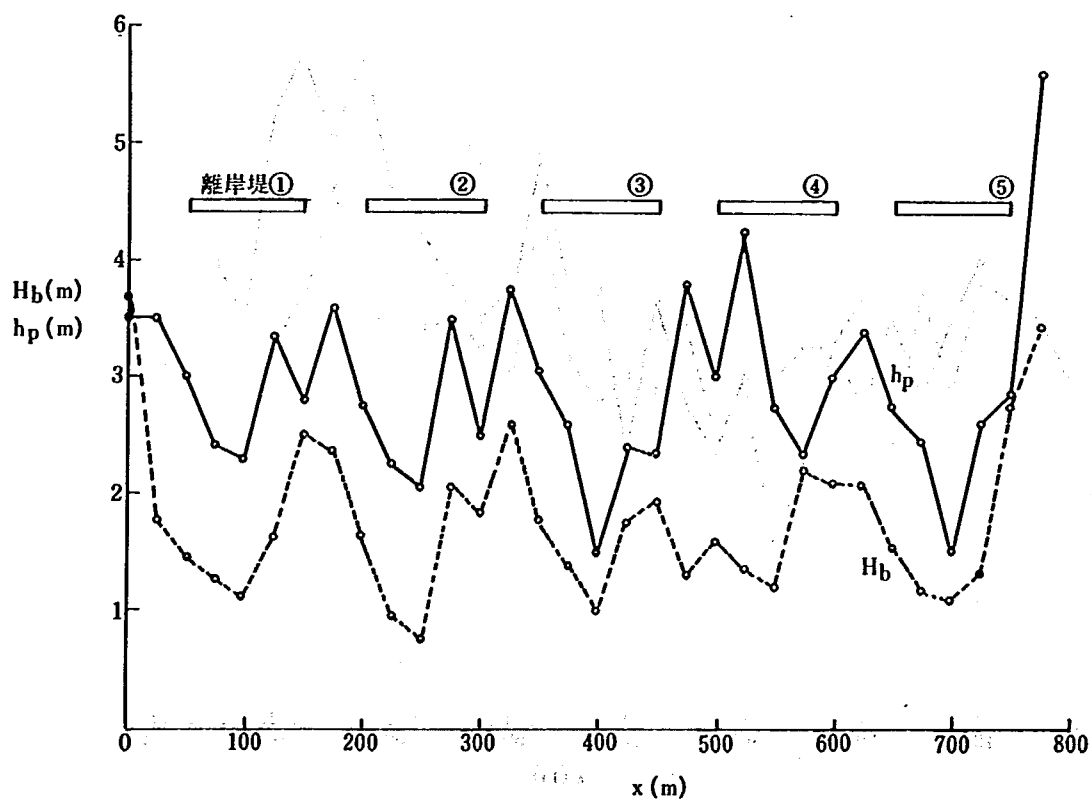


図- 7.33 砕波波高 (H_b) と地形変化の生ずる最高高さ (h_p) の沿岸方向分布 (ケース③)

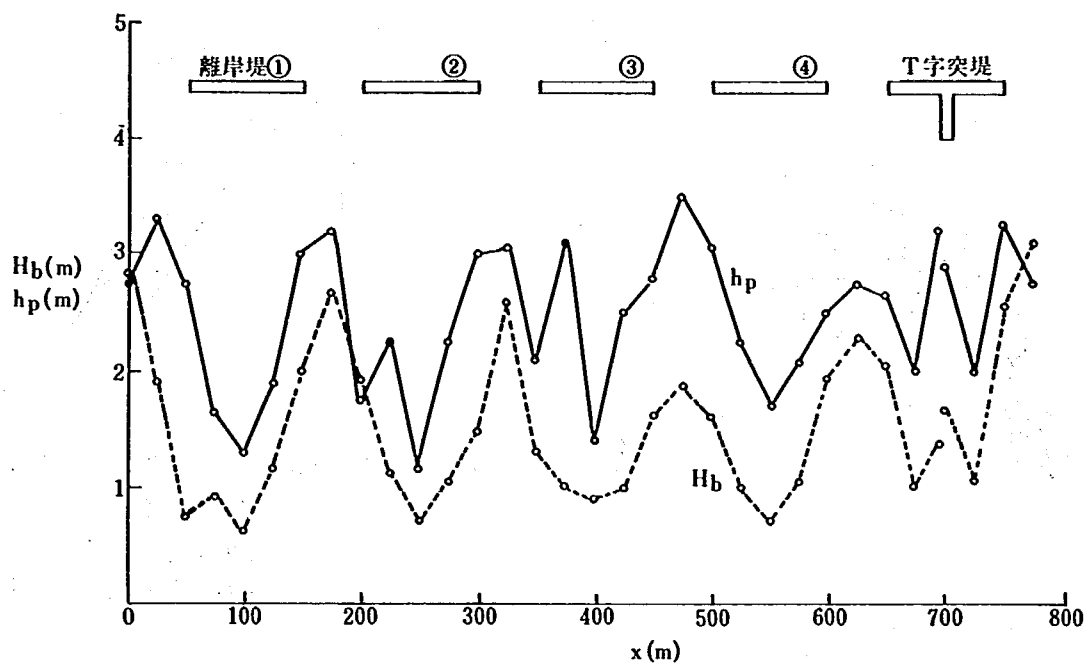


図-7.34 砕波波高 (H_b) と地形変化の生ずる最高高さ (h_p) の沿岸方向分布 (ケース④)

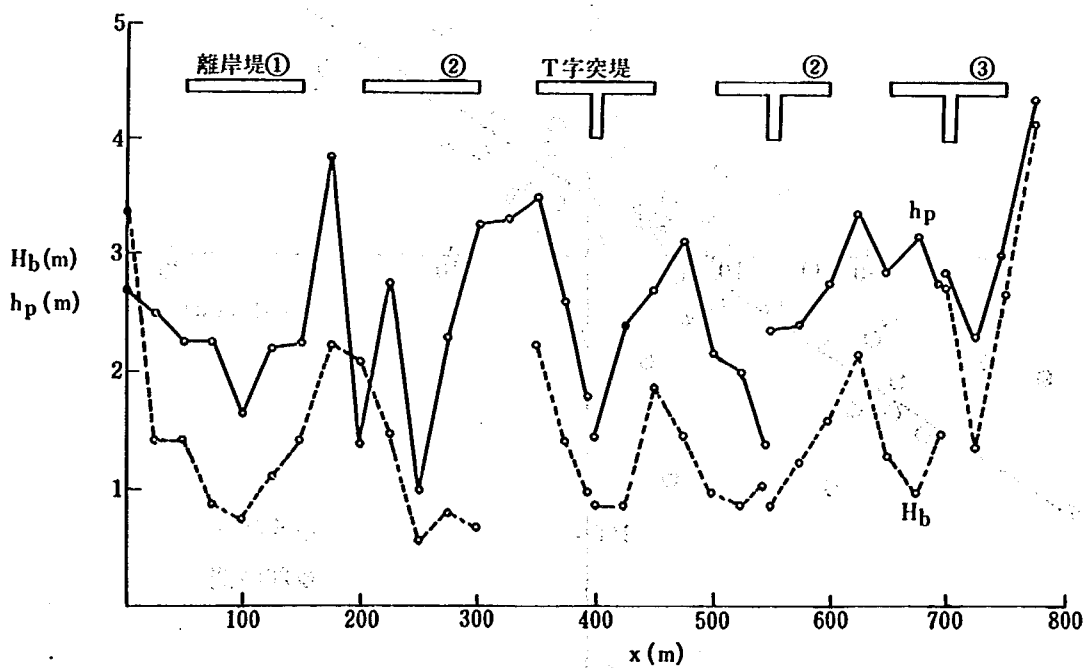


図-7.35 砕波波高 (H_b) と地形変化の生ずる最高高さ (h_p) の沿岸方向分布 (ケース⑤)

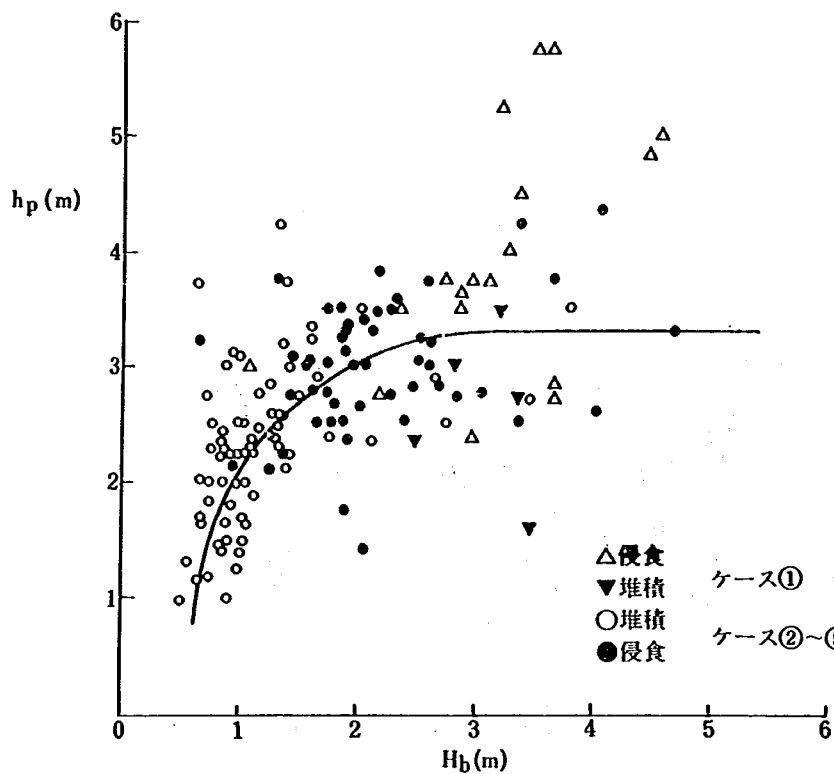


図-7.36 砕波波高 (H_b) と地形変化の生ずる最高高さ (h_p) の関係

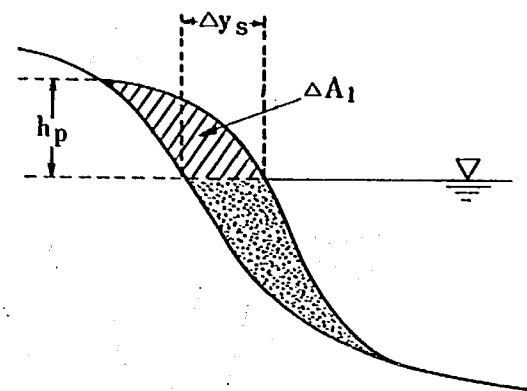


図-7.37 海浜地形変化の模式図
(h_p :地形変化の生ずる最高高さ,
 Δy_s :汀線変化量,
 ΔA_1 :静水面以上の断面積変化量)

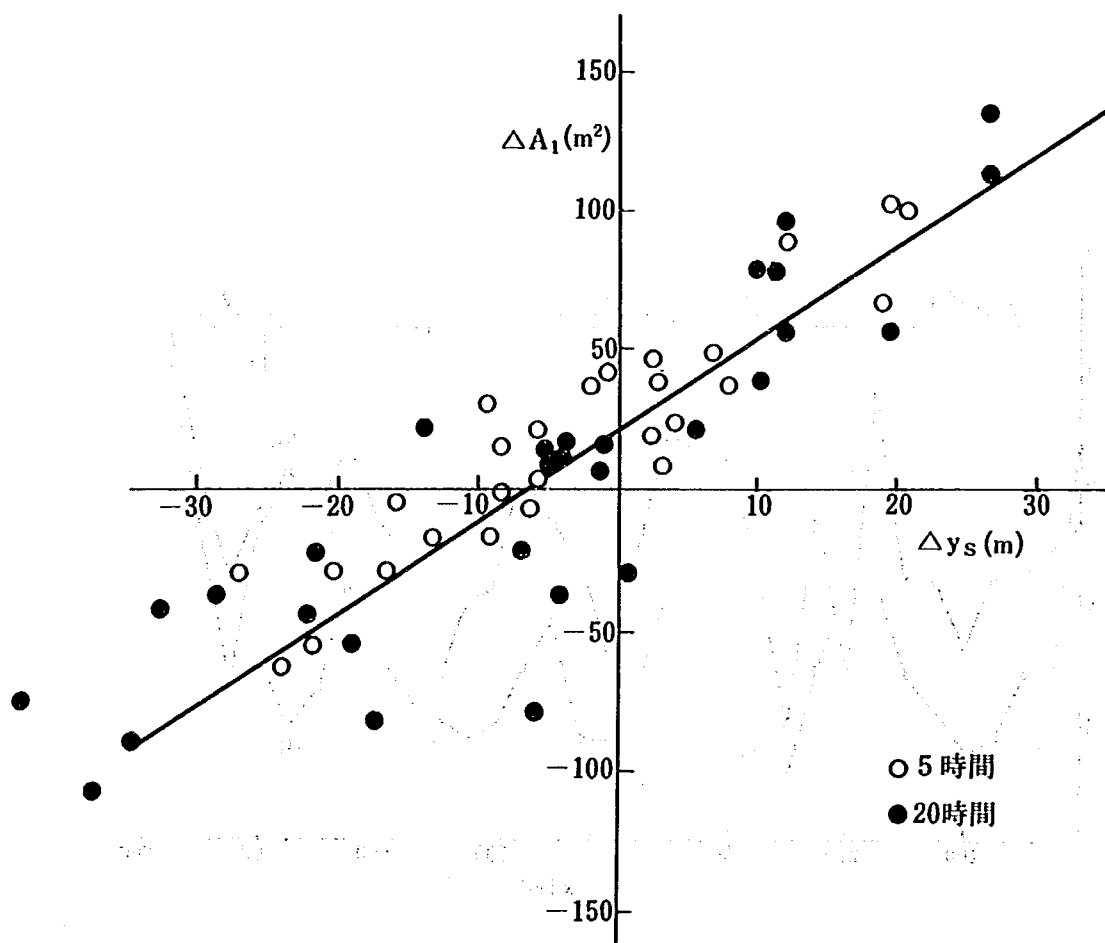


図-7.38 汀線変化量と陸上部の海浜断面変化量の関係 (ケース①)

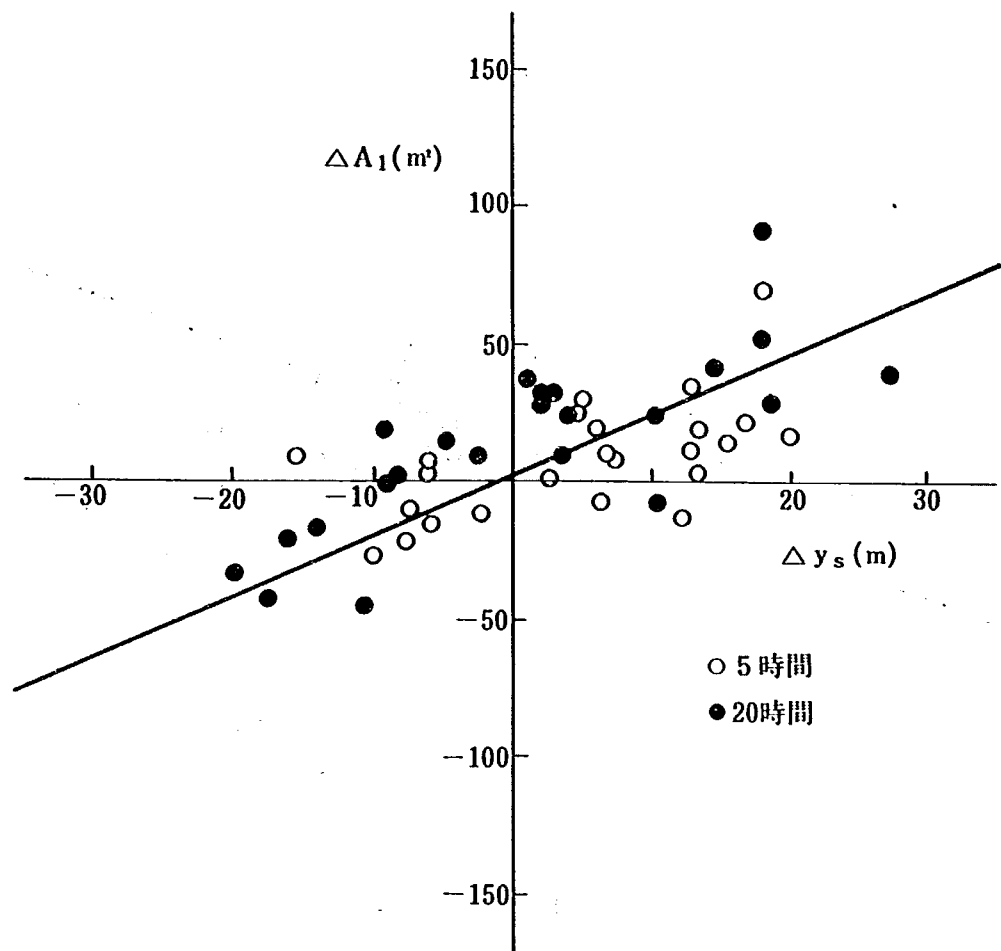


図-7.39 汀線変化量と陸上部の海浜断面変化量の関係 (ケース②)

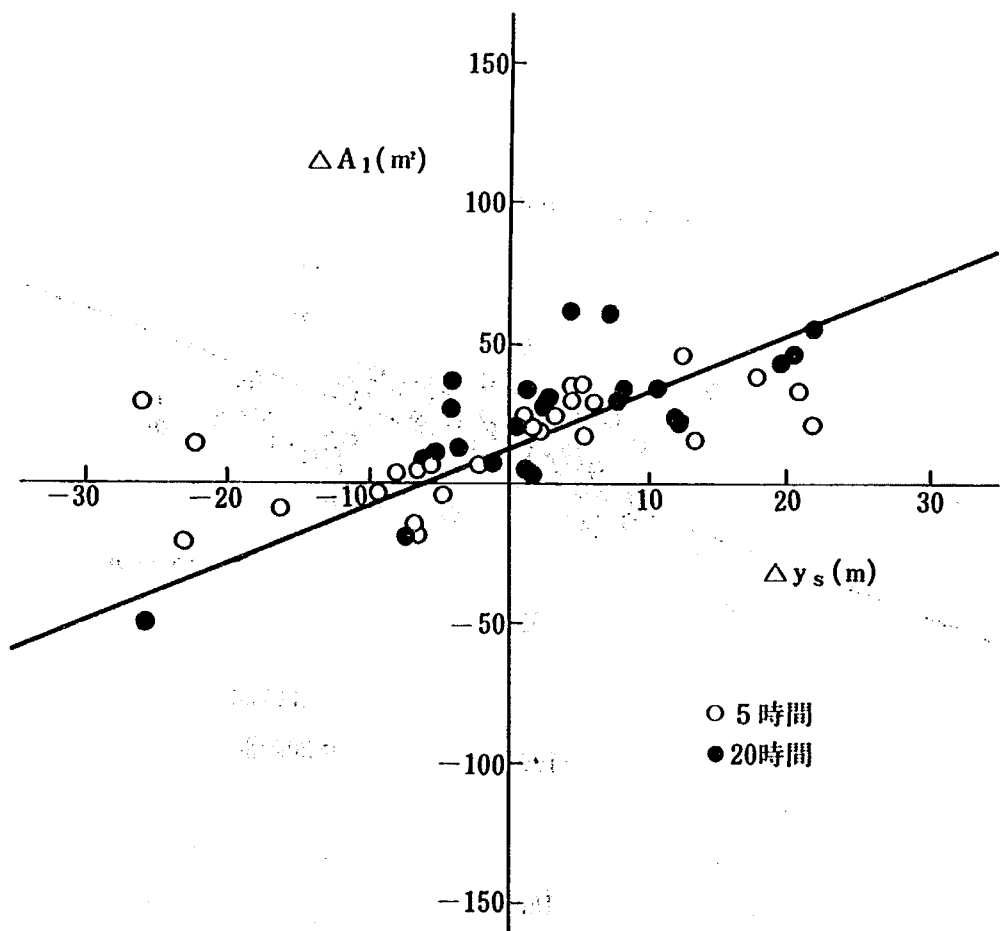


図-7.40 汀線変化量と陸上部の海浜断面変化量の関係 (ケース③)

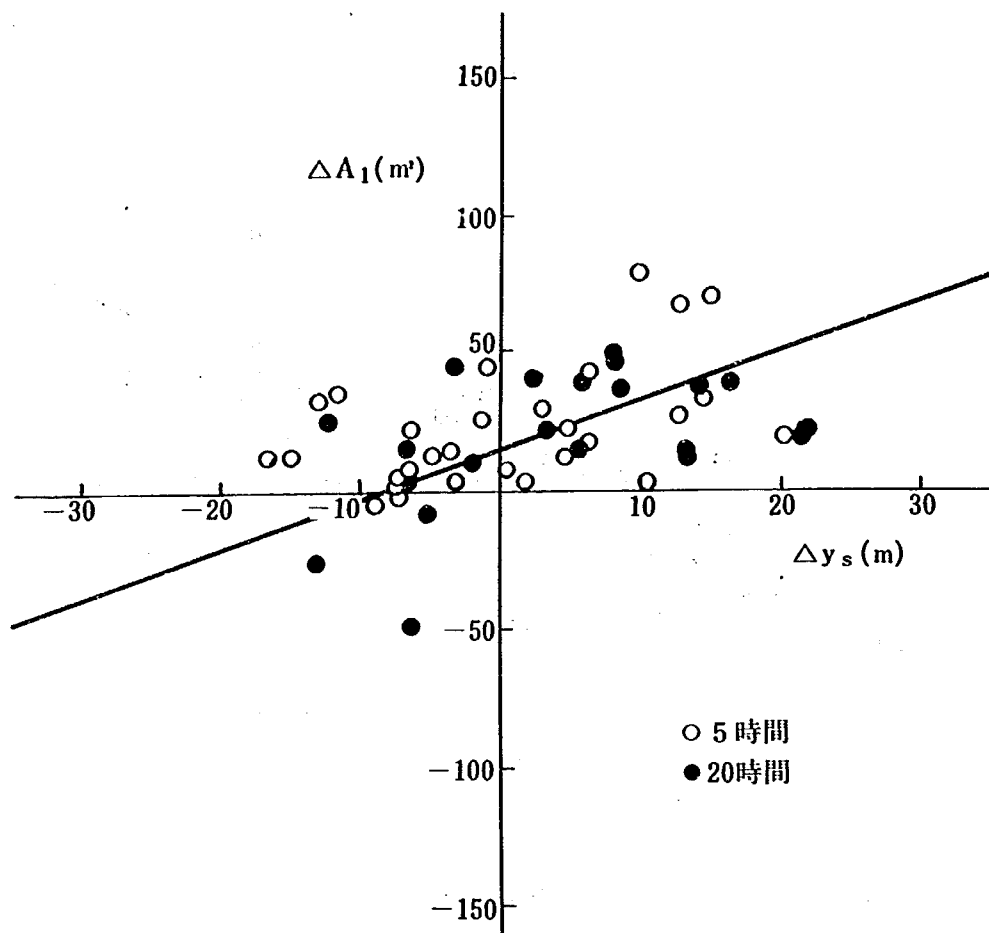


図-7.41 汀線変化量と陸上部の海浜断面変化量の関係 (ケース④)

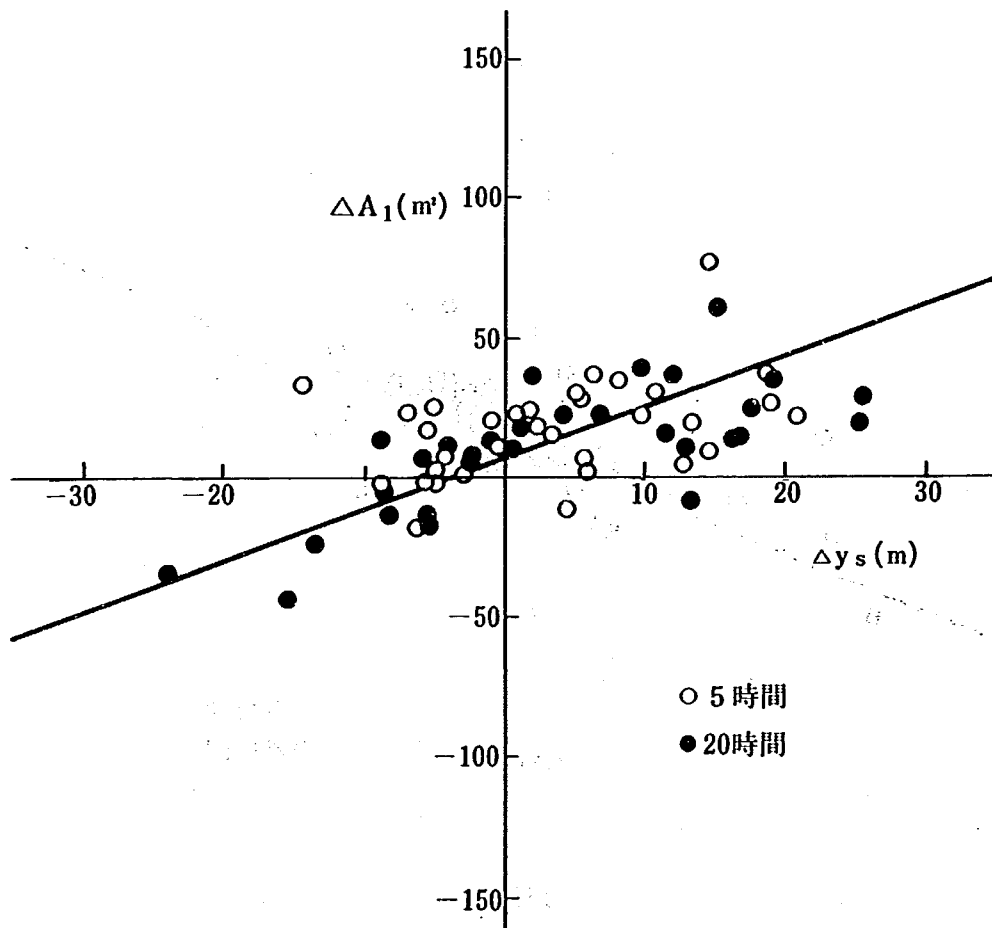


図-7.42 汀線変化量と陸上部の海浜断面変化量の関係 (ケース⑤)

8. 経験的海浜変形モデルの移動床模型実験への適用

8.1 ま え が き

海浜変形予測の問題は、海岸工学上最も重要な問題の一つであり、近年多数の研究者によって精力的に研究が進められ、いくつかの予測モデルが提案されるに至っている。モデルは種々あるが、汀線変化モデルが最も実用性を有している。しかし、この方法では汀線変化の予測が行えるのみであり、海浜断面形状の変化の予測は行うことができない。

このような断面形状の変化を予測するためのモデルとして、ここでは、Winantら³⁾が提案した経験的固有関数展開法を応用した、経験的海浜変形モデルを開発した。新たに開発したモデルは、第6章の突堤効果模型実験へ適用した。この結果、模型実験の範囲内では、当モデルによって構造物周辺の地形変化予測が可能になったことが明らかになった。

8.2 等深線距離の変化と海浜断面積変化の関係

代表的等深線の基準点からの距離を等深線距離と呼ぶとき、この等深線距離の変化を調べることで、沿岸漂砂や岸沖漂砂による地形変化の特性を調べることができる。ここでは、実験値をもとにしてこれらの検討を加えることとし、第6章で述べた4ケースの実験のうちケース①のデータを用いて、代表的に高さが±2.5 mの位置の等深線距離を選び、これと汀線位置の変化との関係を調べる。

図一8.1はケース①の代表的等深線距離 $L_{2.5}$ 、 $L_{-2.5}$ と汀線位置 Y_s の関係を示している。図中の縦軸が $L_{2.5}$ 、 $L_{-2.5}$ を示し、横軸が Y_s である。また図の白印は20時間の、黒印は10時間のデータより初期値を引いて求められた距離である。図一8.1によると、三角印で示された $L_{-2.5}$ は常に Y_s より小さく、逆に $L_{2.5}$ は常に Y_s より大きい値となっている。この原因を調べることは、地形変化のモデル化を考えて行く上で重要と考えられるので、次のようにモデル化して検討した。

まず、図一8.2に示されたように、海浜断面の変化が、単に海浜の平行移動によって生ずるとすれば、図一8.1のデータはすべて1対1の対応関係を有するはずである。ところが図一8.1では $L_{-2.5}$ は Y_s より小さく、 $L_{2.5}$ は Y_s より大きな値を有していたから、生じた地形変化は図一8.2のような変形ではあり得ない。

このような特徴を持った地形変化には2種類のタイプが考えられる。その第1は、図一8.3に示す特性を有し、初期海浜に図示されるような変動が重なったものであり、沿岸漂砂による地形変化に対応している。第2のタイプは、図一8.4に示されたタイプである。すなわち図一8.2に示された海浜の平行移動に岸沖方向の漂砂による地形変化が重なった場合である。これら二者のいずれの場合も図一8.1に示した特徴を有するが、図一8.3に示したタイプでは侵食断面と堆積断面が初期海浜形状を境いにして対称的な形状を持つのに対して、図一8.4のタイプⅢのときは海浜を岸沖方向に平行移動したとき、海浜形状が重なり合うような特徴を有することからそれらの区別が可能である。

図一8.5は、ケース①において、侵食・堆積の最も著しい変化の生ずる突堤の左右岸の海浜断面の

比較を行ったものである。この場合、変化形状としては図— 8.3 に近い特徴が表われている。このため図— 8.1 に示した特徴は、沿岸漂砂による地形変化が岸沖方向に分布形を有するために生じたものであることがわかる。

8.3 経験的海浜変形モデル

(1) 経験的固有関数展開

まず最初に、ケース①について経験的固有関数展開を行って、地形変化状況を調べる。初期形状を基準としたときの10, 20時間後の地形変化量は、離岸距離 y 、沿岸方向距離 x 、および時刻 t_0 の関数として $\Delta h(x, y, t_0)$ と与えられるが、これは、固有関数展開法によって次のように展開される。

$$\Delta h(x, y, t_0) = \sum_{k=1}^n e_k(y, t_0) \cdot C_k(x, t_0) \quad (8.1)$$

ここに t_0 はパラメーターであり、式 (8.1) の計算においては固定しておく。関数 $e_k(y, t_0)$ は直交性を有しており、相異なる関数の積は 0 となる。

$$\sum_y e_m(y, t_0) \cdot e_n(y, t_0) = \begin{cases} 0 & m \neq n \\ 1 & m = n \end{cases} \quad (8.2)$$

関数 e を求めるには時刻 t_0 を固定して測定値より対称マトリックスを作り、この行列 A の固有値を

$$a_{ij} = \frac{1}{n_x n_y} \sum_{x=1}^{n_x} \Delta h(x, i, t_0) \cdot \Delta h(x, j, t_0) \quad (8.3)$$

求めれば良い。ただし n_x, n_y は x, y 方向のデータ総数とする。すなわち、

$$A e_k = \lambda_k e_k \quad (8.4)$$

を解くことに帰着する。関数 C_k は関数 e_k の直交性を利用すれば、次式より求めることができる。

$$C_k(x, t_0) = \sum_y \Delta h(x, y, t_0) \cdot e_k(y, t_0) \quad (8.5)$$

実際の計算においては、各測線の初期汀線位置に原点を置き、沿岸方向に x 軸、岸沖方向に y 軸をとった。図— 8.6 は固有関数 e_1 の岸沖分布を示している。初期汀線は $y = 0$ m にある。固有関数の全変動量に占める割合は10, 20時間後のデータの平均で約71%であり、第2位以下のものより卓越していた。また図中の P 点は次式によって定めた20時間後の平均汀線位置 ($\bar{y}_s$) を示している。

$$|\bar{y}_s| \cdot \bar{y}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{s,i}| \cdot y_{s,i} \quad (8.6)$$

関数 e_1 は初期汀線付近で極大値を有し、これより岸側、沖側でほぼ単調に減少している。

一方、関数 $C_1(x, t_0)$ は、図— 8.7 に示したように、基準点より汀線までの距離 (汀線距離) と良い相関を有し、次の関係が成立する。

$$C_1 = 0.4 y_s \quad (8.7)$$

式 (8.7) の関係は、汀線距離 y_s が求められれば、係数 C_1 が求まることを示している。関数 e_1

は、図一8.6に示したように、10、20時間で分布形に大きな差は見られない。このことは、①地形変化が10時間ではほぼ平衡状態に達していたか。②関数 e_1 が時刻にそれほど依存しないものであったか、とのいずれかの可能性を示している。ここでは、関数 e_1 がほぼ時刻に独立と仮定する。この仮定のもとでは、式(8.7)によって汀線距離を求め、この値を関数 e_1 に乗ずれば地形変化量を求めることが可能になる。

一方、固有関数 e_1 の形状は、構造物の種類によってそれほど大きく変化しないために、ここではケース①のデータを用いてケース③、④の地形変化の予測を試みることにした。

(2) 汀線距離と海岸断面形状の予測

既に述べたように、係数 C_1 を求めるためには汀線距離が予測されなければならない。これには式(8.8)、(8.9)で与えられる汀線変化モデルを用いることにし、陽形式差分法で計算を行うことにした。

$$-\frac{\partial q}{\partial x} + h \frac{\partial y_s}{\partial t} = 0 \quad (8.8)$$

$$q = F \left(-\frac{\partial y_s}{\partial x} + \tan \theta \right) \quad (8.9)$$

ここに、 q ：沿岸漂砂量。 h ：地形変化の代表高さ。 θ ：入射角である。また F は式(8.10)で表わされる係数である。

$$F = \frac{1}{8} w_0 \alpha (H^2 C_g)_b \quad (8.10)$$

ただし w_0 ：海水の単位体積重量、 α ：サベージ係数、 H_b ：碎波波高、 C_{gb} ：碎波点における群速度である。

式(8.8)～式(8.10)で計算を行うには、係数 F 、波向 θ の場所的分布を定める必要がある。これには、屈折・回折計算を行う必要があるが、ここでは実験開始直後に測定された値をそのまま用いることにした。

このため、ケース①、③、④について碎波波高 H_b と碎波点における波高 θ の測定結果を明らかにしておく。ただしケース②の結果は、ケース①と良く似ているため省略する。図一8.8より図一8.10はケース①、③、④の測定値を示す。突堤が設けられたケース①については碎波波高はばらついており、また中央の突堤より右と左とで値が異なっている。突堤を設けた場合中央の突堤に沿って図の右側で沖向きの流れが生じたため碎波波高に変化が生じたと考えられる。左側では突堤の波の入射方向に対して陰になる場所では波高が小さくなっている。波向については突堤の陰では汀線に直角に入射し、他の場所では突堤の影響を受けていない。

離岸堤の設けられたケース③については、図一8.9に示すように開口部では大きく、離岸堤の背後では開口部での波高の約1/4に低下している。波向については離岸堤の背後に向かう回折波が生ずるために、波向の符号が変化している。T字突堤を設けた場合(ケース④)には横堤として離岸堤と同じ構造を用いているために、波高および波向の分布は図一8.10に示すように離岸堤のみの場合

とほぼ同様な傾向を示している。なお、これらの図の実線はばらついている測定値のほぼ平均値と考えられる値を示したもので、後に述べる海浜変形計算に使用した値である。

汀線変化の計算は、ケース③と④について行った。計算条件として碎波波高と波向については図—8.9, 8.10に示す実験値を用い、 α および h は実験値にもとずいて $\alpha = 0.217 \text{ ton/m}^2$, $h = 7.2 \text{ m}$ とした。また計算格子間隔は $\Delta x = 12.5 \text{ m}$, $\Delta t = 106 \text{ sec}$ とした。また碎波点の群速度は $H_b = 0.7 h_b$ から求まる碎波水深 h_b を用い、 $C_{gb} = \sqrt{gh_b}$ から求めた。

波を20時間作用した後の測定値と計算値の比較を図—8.11, 図—8.12に示す。太い実線で計算値を、丸印で測定値を示す。

ケース③では中央部はほぼ一致しているが、両端では差を生じている。また、ケース④では計算値と測定値は一致している。これまで汀線変化モデルでは離岸堤背後の汀線変化の予測は困難であったが、この結果によれば、波浪条件さえ的確に与えられれば汀線変化モデルでも予測が可能になるとがわかる。

海浜変形の予測に関しては、各時間ごとに関数 e_1 によって変形を求めるべきであるが、ここではこれを積分した形で考えた。すなわち20時間後の汀線形状をもとに断面変化量を計算した。この場合、岸、沖方向の原点をどこにとるかということが問題となる。式(8.6)で求められる重みつき汀線変化量を計算するとケース①では $\bar{y}_s = -6.25 \text{ m}$, ケース④の計算による値は $\bar{y}_s = 3.25 \text{ m}$ となるために関数 e_1 を約10m沖に移動した状態で断面形を求めた。ケース④について横堤の背後($x = 400 \text{ m}$)および開口部($x = 625 \text{ m}$)の位置における断面形状は、図—8.13のようになる。一方は堆積、他方は侵食断面を示すが、両断面とも計算値は測定値と良く一致している。また、断面積の変化についても計算値と実験値はほぼ対応している。

ここで提案した予測モデルは、海浜形状については実験等による資料を必要としているが、それだけにかなり実際に適合した予測が可能である。突堤の漂砂上手での堆積による海底勾配の増加や、下手側での減少は、このモデルによって再現することができる。

8.4 ま と め

第8章では経験的固有関数展開法を応用した、経験的海浜変形モデルを開発し、第6章で述べた実験結果を用いて三次元的な海浜地形変化の予測を行った。実験値を用いた計算では一応満足な予測値を得ることができたが、今後はモデルの現地海岸への適用性について検討の必要があると考えられる。

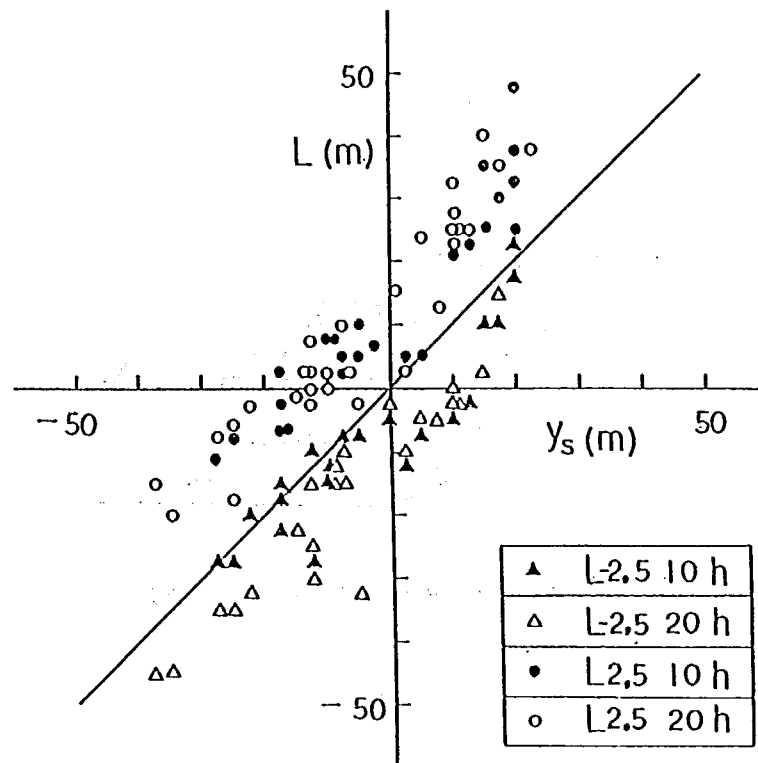


図-8.1 代表的等深線距離 $L_{=2.5}$ と汀線位置 y_s の関係

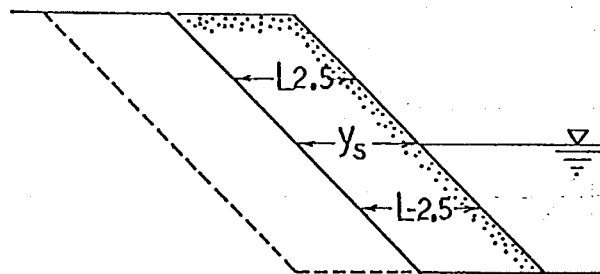


図-8.2 断面変化のモデル (I)

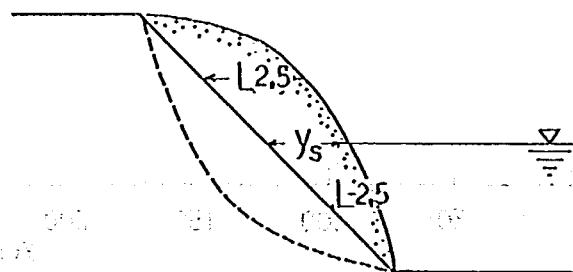


図-8.3 断面変化のモデル (II)

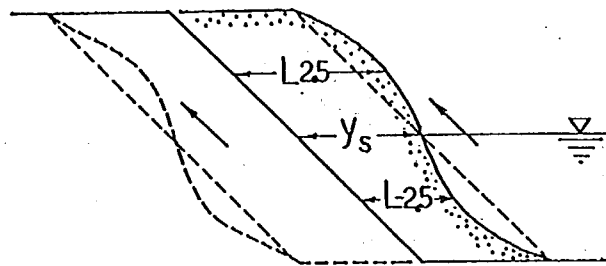


図-8.4 断面変化のモデル (Ⅲ)

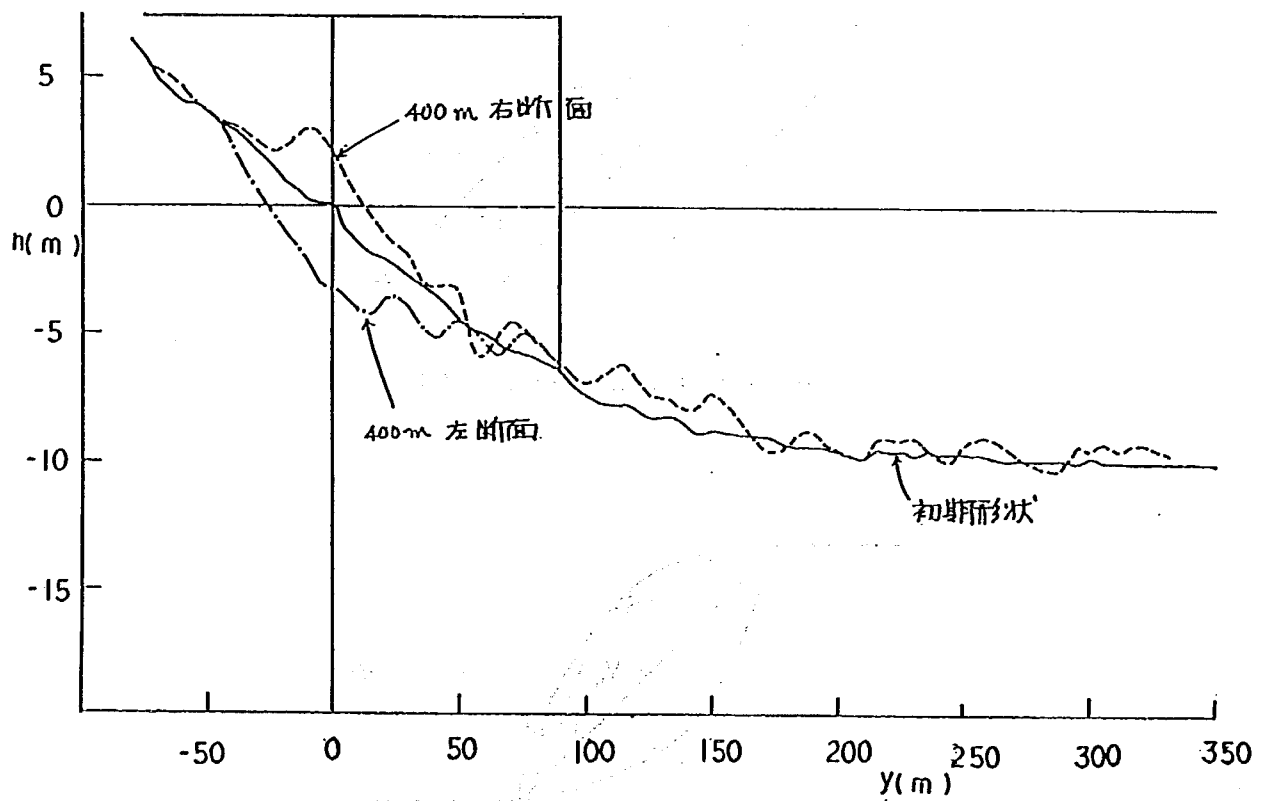


図-8.5 代表的断面形状

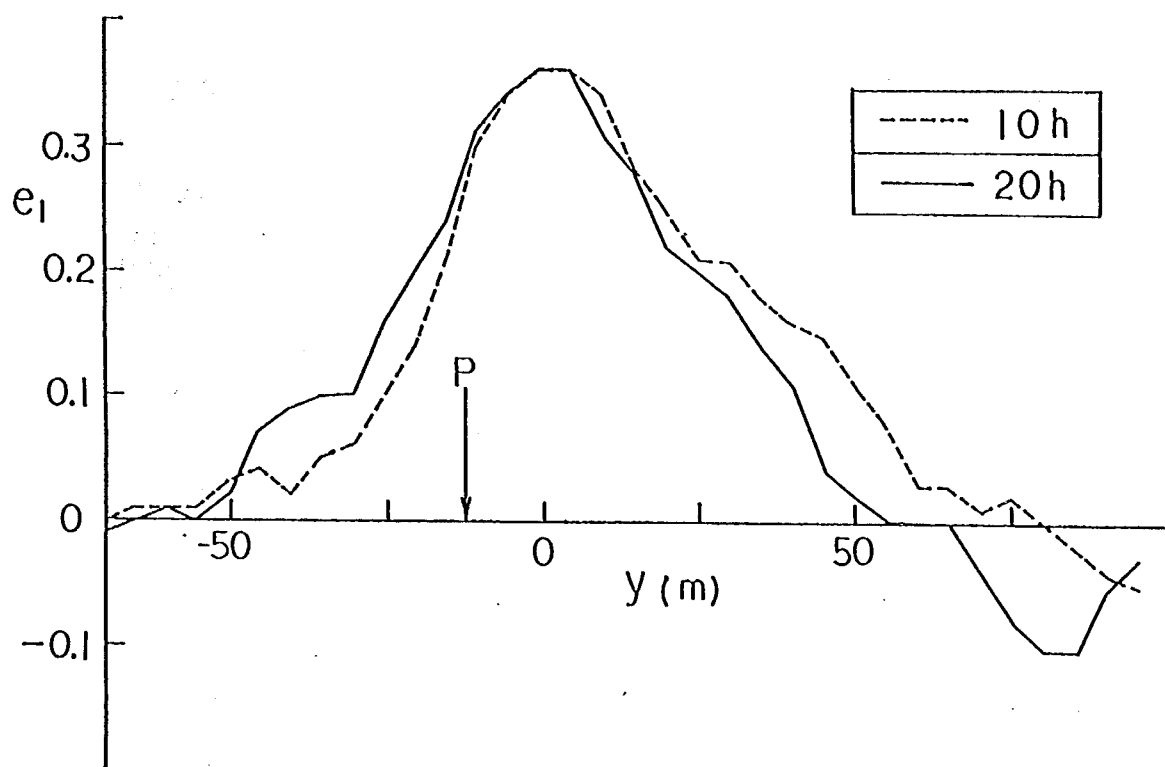


図-8.6 固有関数 e_1 の岸沖方向分布

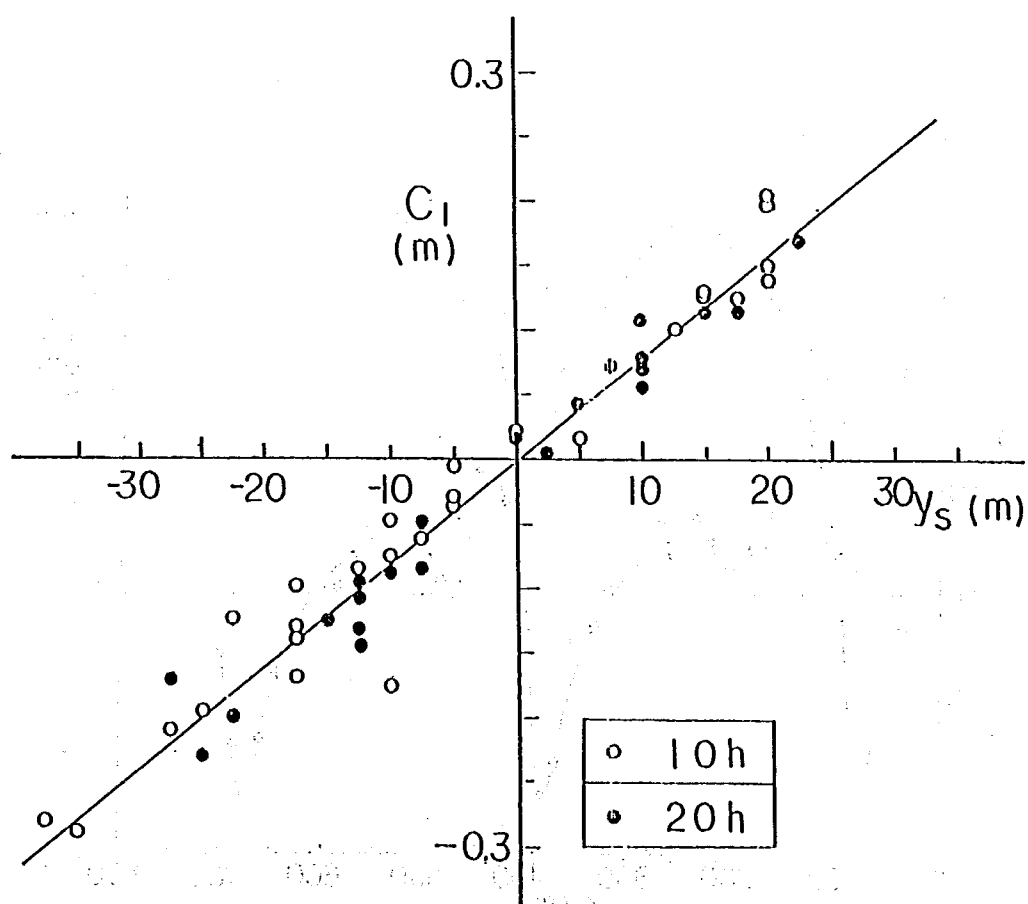


図-8.7 関数 C_1 と汀線長 y_s の相関 (ケース①)

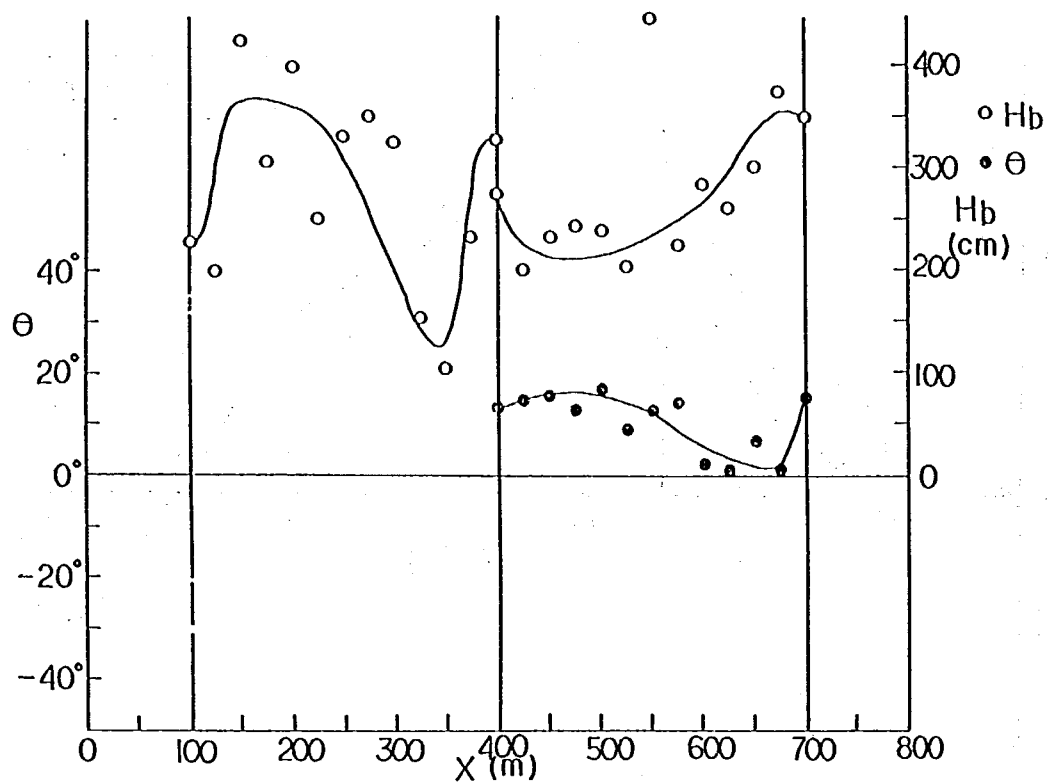


図- 8. 8 砕波波高 (H_b) と砕波点における入射角 (θ) の沿岸方向 (ケース①)

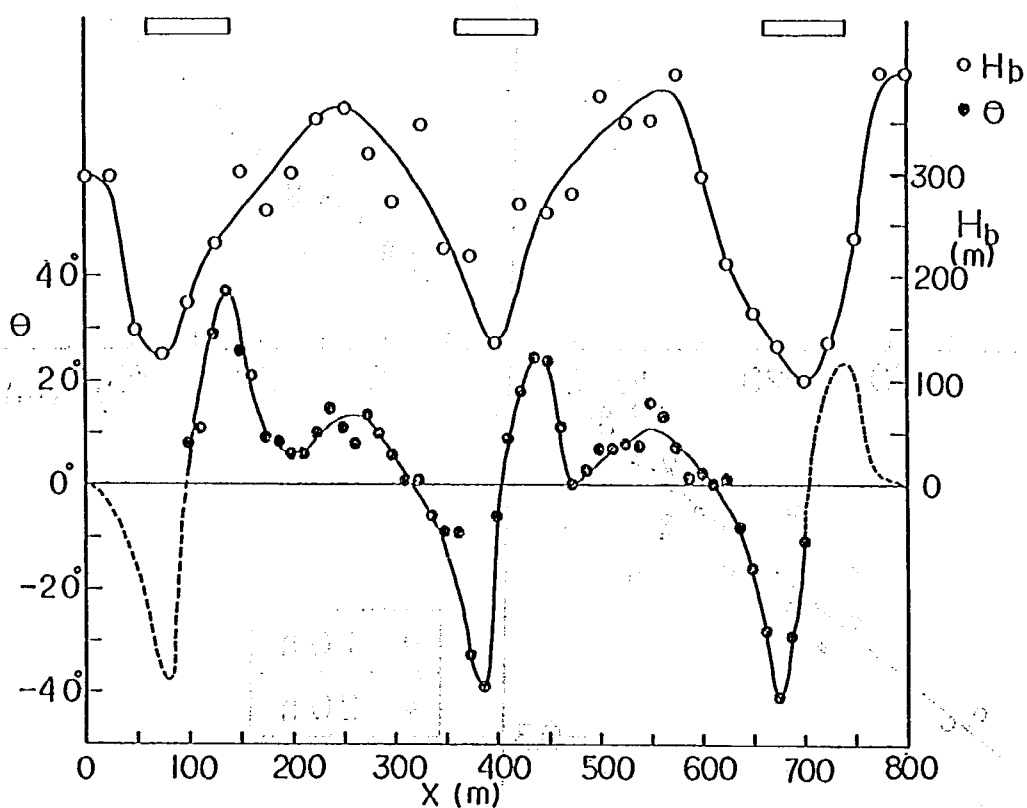


図- 8. 9 砕波波高 (H_b) と砕波点における入射角 (θ) の沿岸方向 (ケース③)

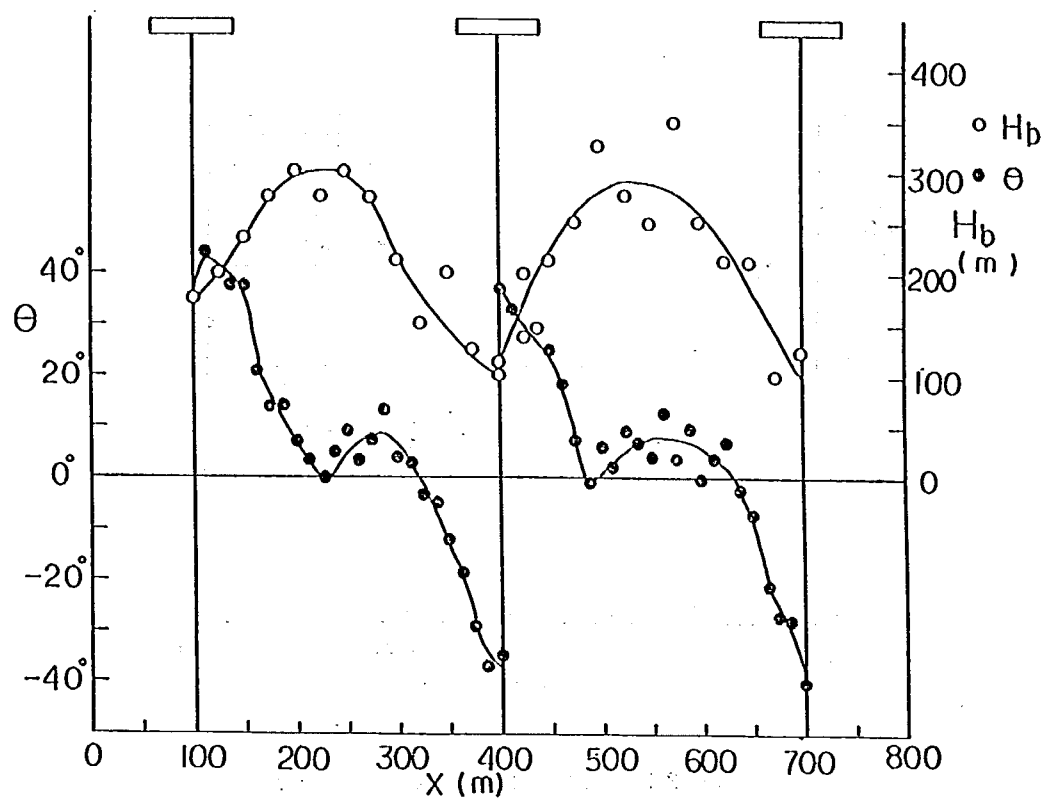


図-8.10 砕波波高 (H_b) と砕波点における入射角 (θ) の沿岸方向 (ケース④)

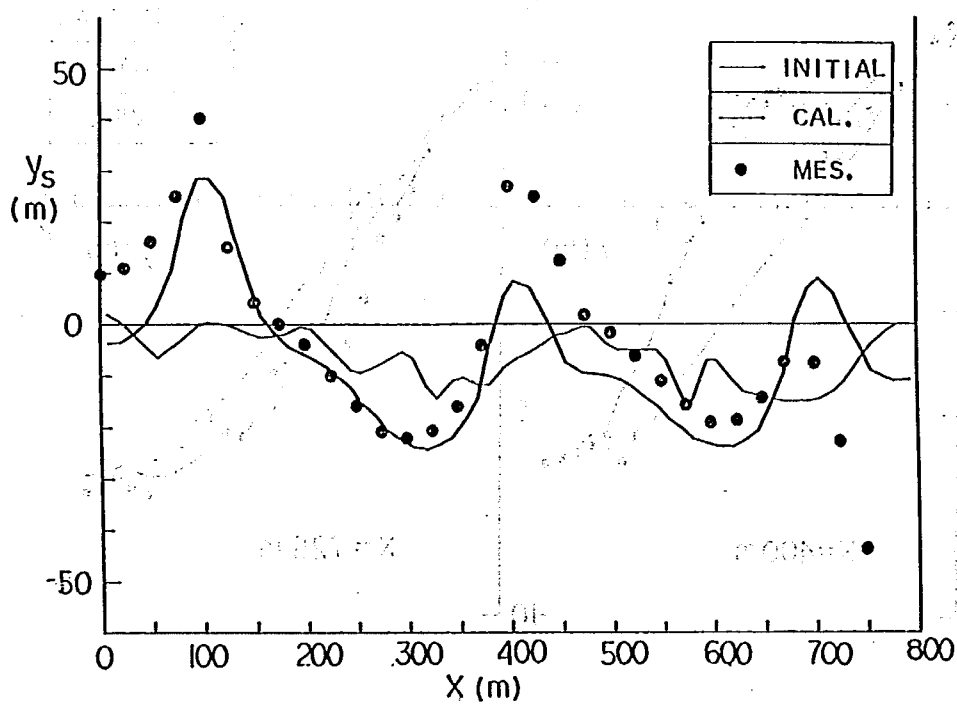


図-8.11 汀線変化の比較 (ケース③)

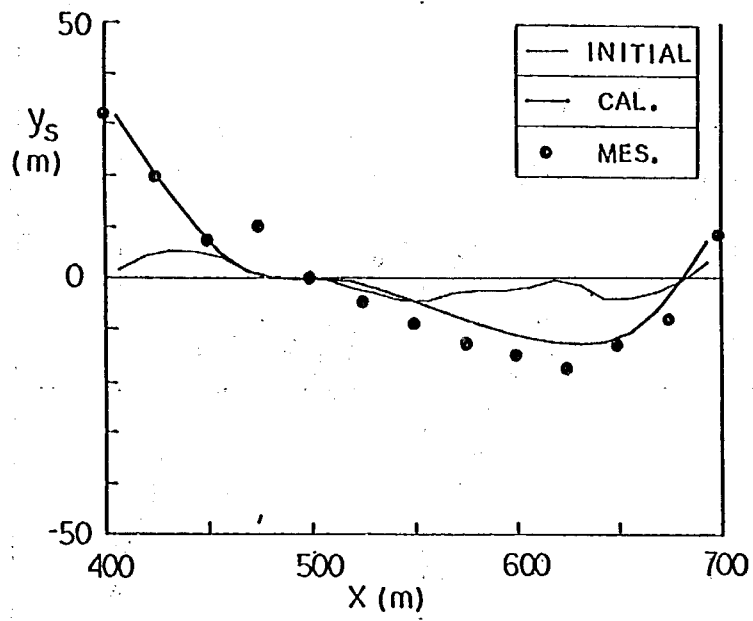


図-8.12 汀線変化の比較 (ケース④)

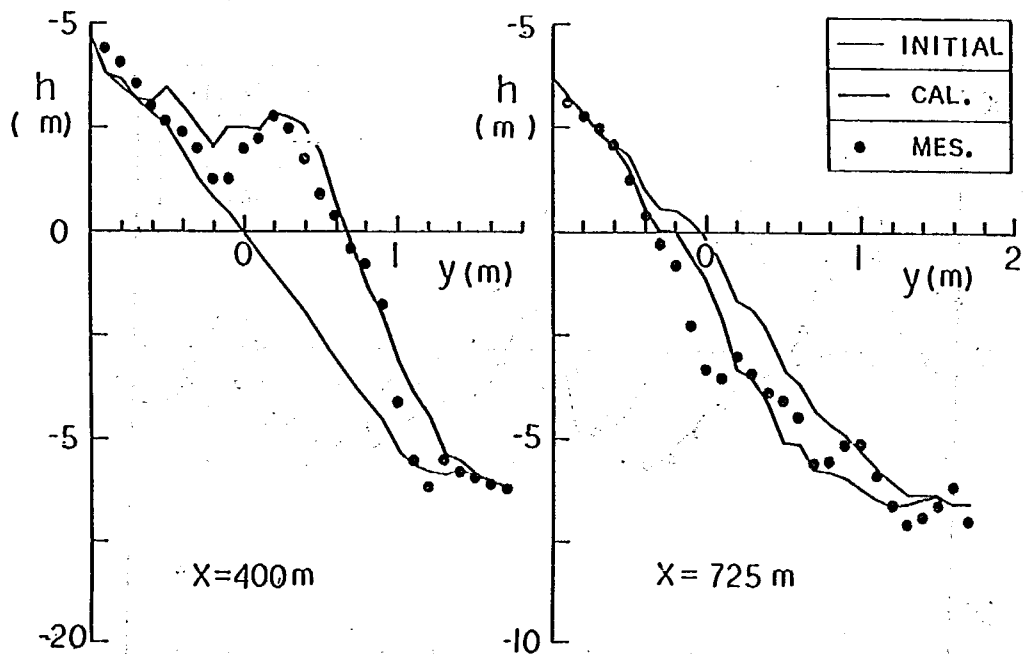


図-8.13 断面形状の比較

9. 深浅測量データの解析

9.1 解析方法

第8章では、経験的固有関数展開を用いた海浜変形モデルについて述べた。第9章ではこのような海浜変形モデルの現地海岸への適合性について考察するため、経験的固有関数展開を用いて現地データを解析し、実験値との比較を行うことにする。解析法は次のとおりである。

まず、沿岸方向に x 軸、岸沖方向に y 軸をとり、時刻を t_0 とする。固有関数展開法によると、 x 、 y および t_0 の関数である水深 h は次式のように展開することができる。

$$h(x, y, t_0) = \sum_{k=1}^n C_k(x, t_0) \cdot e_k(y, t_0) \quad (9.1)$$

ただし、式(9.1)の計算においては、時刻 t_0 を固定しておく。式(9.1)は式(8.1)と同じ形式であり、展開法は式(8.2)～(8.5)にしたがう。式(9.1)の e_k は時刻 t_0 に依存しているが、 e_k は多くの場合それほど時刻に依存しない関数となることが示されている。また式(9.1)の展開を行うには関数は n 組必要であるが、実際には $n=3$ または2程度で良く地形を表現できることが多い。すなわち $n=3$ のとき、

$$h(x, y, t_0) \sim C_1(x, t_0) \cdot e_1(y) + C_2(x, t_0) \cdot e_2(y) + C_3(x, t_0) \cdot e_3(y) \quad (9.2)$$

と近似される。あるいは $n=2$ のとき、

$$h(x, y, t_0) \sim C_1(x, t_0) \cdot e_1(y) + C_2(x, t_0) \cdot e_2(y) \quad (9.3)$$

となる。さらに、関数 $C_k(x, t_0)$ に関しては、基準点から汀線までの距離など、海浜の代表長さと相関を有することが経験的に示される。このため、もし関数 e_k の普遍的な形状が見出され、かつ汀線位置の変化などから関数 C_k が予測することができれば、地形の変化の予測も可能となるであろう。ここでは、このような推論が正しいかどうか調べることにした。

表-9.1 深浅測量データ

回数	測量年月日	備 考
1	昭和41年8月	南国工区
2	43 2	Na 28-0
3	43 12	1
4	45 2	Na 28-43
5	46 2	(200mピッチ)
6	47 1	(44測線)
7	48 1	
8	48 10	高知港区
9	49 12	K-1~K-6
10	50 12	(400mピッチ)
11	52 1	(6測線)
12	52 12	
13	54 2	
14	55 3	

解析に用いた深浅データは表-9.1にまとめられているように、昭和41年8月から55年3月まで延べ14回の深浅測量データである。測量は南国工区でNa 28-0よりNa 28-43まで200mピッチで44測線行われており、また高知港区ではK-1~K-6まで400mピッチで6測線測量された。計算に用いたデータは、上記測線に沿って、海岸堤防より300mまでのデータである。測量データは計算機に入力するためには数値化しなければならない。このため海岸堤防より90mまでは5m間隔で、また90m~300mの範囲では10m間隔で深浅図より水深を読み取った。また、計算の原点はNa 28-0に置き、西向きにx軸を取った。

9.2 解析結果

式(9.1)を用いて展開した場合、変動の大きさを表わす固有値の大きさは表-9.2のようになる。表-9.2では全固有値の和に対する割合を示した。第1位の固有関数で全固有値の和に対して95%の割合を占める。第2位の固有関数は4.1%を占め、第1,2位で全体の99.1%となる。また第3位の固有関数の割合は第2位のものと比較すると1ケタ小さい。

固有関数の岸沖方向の分布を示すのが図-9.1である。上から順に関数 e_1, e_2, e_3 を示す。また関数 C_k の沿岸方向分布を示すのが図-9.2である。関数 e_1 は平均的な海浜形状に対応している。関数 C_1 は高知港近傍を除けば、平均的に37m程度の値を有する。ただし C_1 は沿岸方向に周期的に変化しているが、これは海底勾配が沿岸方向に一様ではなく、周期的に変化することに対応していると考えられる。

表-9.2 固有地の全変動に占める割合($y \leq 300$ m)

実施年月	λ_1 (%)	λ_2 (%)	λ_3 (%)
昭和41年8月	95.4	3.7	0.5
43 2	96.3	3.1	0.3
43 12	95.6	3.9	0.3
45 2	95.4	3.8	0.4
46 2	95.0	4.3	0.3
47 1	94.3	4.8	0.4
48 1	94.5	4.6	0.5
48 10	94.8	4.4	0.4
49 12	94.8	4.3	0.5
50 12	94.5	4.5	0.4
52 1	94.5	4.3	0.5
52 12	94.6	4.3	0.4
54 2	95.4	3.6	0.4
55 3	94.2	4.2	0.8
平均	95.0	4.1	0.4

表-9.3 固有値の全変動に占める割合($y \leq 200$ m)

実施年月	λ_1 (%)	λ_2 (%)	λ_3 (%)
昭和43年2月	93.0	6.3	0.4
43 12	91.5	7.7	0.3
45 2	91.8	7.3	0.5
46 2	90.9	8.3	0.4
47 1	89.4	9.5	0.6
48 1	90.5	8.5	0.4
48 10	91.4	7.8	0.4
49 12	91.1	8.0	0.4
50 12	90.7	8.1	0.5
52 1	90.9	7.7	0.6
52 12	91.2	7.4	0.7
54 2	92.2	6.5	0.6
55 3	90.2	8.1	0.9
平均	91.1	7.8	0.5

関数 e_2 は汀線付近で最大となり、海浜のほぼ全域で正の値を有するという特徴を有している。また図—9.2によると、固有関数 e_3 に対応する関数 C_3 はほぼ0となっている。

固有関数 e_2 の特徴は、固有関数 e_2 が、沿岸漂砂による地形変化に対応するものである可能性を示唆しているが、図—9.1の e_2 の分布形によると、 e_2 は $y > 200\text{m}$ の範囲で再び変動が大きくなる傾向を示している。もし e_2 が沿岸漂砂による地形変化を表わすとなると、 $y > 200\text{m}$ の範囲の変動は有意なものでない可能性が高い。このため展開範囲を $0\text{m} \leq y \leq 200\text{m}$ として再度計算を行い、その結果を用いて汀線距離などの海浜の特性長との相関を調べることにした。

表—9.3は固有値の総和に対する固有値の割合を年度毎にとりまとめたものである。第1位の固有値の割合は全体に対して平均で91.1%と表—9.2のものより約3.9%低下した。逆に第2位のものは3.7%上昇して7.8%となった。さらに第3位のものはほとんど変化がないことがわかる。

固有関数 e_k の岸沖分布は図—9.3に示されている。関数 e_1, e_2 は図—9.1において $y \geq 200\text{m}$ の範囲のデータを取り除いたものとほとんど等しい。対応する関数 C_1, C_2 の沿岸方向の分布は、図—9.4より図—9.7に示される。 C_1, C_2 ともにデータ数が多いので2枚ずつにまとめてある。 $x \geq 9000\text{m}$ の範囲のデータは高知港区のデータであるが、この部分を除くと関数 C_1 の経年的変動はそれほど大きくない。ただし、関数 C_1 は沿岸方向に変化がみられる。これは主として海底勾配が沿岸方向に変化していることに対応していると考えられる。

関数 C_2 は図—9.6, 9.7に示されているが、これらによると昭和48年10月以前と以後とを比較した場合、昭和48年10月以前の方が関数 C_2 の変化が少ないことがわかる。例えば $x = 3000\text{m}$ 付近で比較すると、昭和49年12月以後のデータでは経年的に変化が生じている。これは、離岸堤の建設によって生じた地形変化によるものであろう。

関数 C_2 の変化は、汀線位置の変化との関連が考えられるために、基準点より汀線までの距離（汀線距離： Y_s ）と関数 C_2 との関係を調べた。この結果は図—9.8, 9.9に示されている。関数 C_2 と汀線距離 Y_s の間には非常に良い相関関係が成立している。相関図としては、離岸堤の無いときと有るときとを区別してまとめたが、各々の場合の相関関係として次式が成立する。

$$\text{離岸堤無し} \quad C_2 = 0.42 Y_s - 24.78 \quad (9.1)$$

$$\text{離岸堤有り} \quad C_2 = 0.28 Y_s - 15.94 \quad (9.2)$$

ここに、 C_2, Y_s の単位は m である。離岸堤有りの場合のデータはデータ数が少ないが、一応他との区別を行った。式 (9.1) と式 (9.2) では勾配が異なるが、図—9.9を図—9.8に重ねるとほぼ両者は重なること、また離岸堤無しの場合の方がデータ数が多いことから判断すると、式 (9.1) の方が信頼性が高いと考えられる。

関数 e_2 の分布形は図—9.3に示したように、測量年次によらずほぼ一定値をとる。そしてその分布形は全体に正值をとり、また汀線よりわずかに沖合で極大値をとり、それより海側では0に単調に漸近する。また陸上部では海岸堤防が境界となっているため0には漸近しないが、滑らかに減少する。一方、関数 C_2 は式 (9.1) で表わされるように汀線距離 Y_s と良い相関関係を有する。関数 C_2 は沿

岸方向の座標 x と時刻 t_0 の関数である汀線距離の変化によって表わされることになる。

9.3 現地海岸と模型実験データの解析結果の比較

前節では現地データを用いて固有関数展開を行った。一方、第8章では模型実験データを用いて同様な解析を行った。ここでは両者の比較を行うことにする。ただし模型実験データの解析では、初期形状からの変動量を用いて展開を行い、一方現地海岸の場合は生データをそのまま用いたため、固有関数の順序は異なる。すなわち現地海岸の第2位の固有関数が模型実験における第1位の固有関数に対応する。

模型実験の第1位の関数 e_1 は図—8.6に示された。また現地海岸の第2位の関数 e_2 は図—9.3のとおりである。両者を比較すると、関数の分布形はかなり良く対応を示す。関数の大きさは0.3程度であり、また岸沖方向のスケールは約120mとなっている。一方、関数 C_1 (実験値) と関数 C_2 (現地) はともに汀線距離と良い相関を有している。

しかしながら、現地データの解析では、展開を行うときの原点が海岸堤防位置としてあり、模型実験の初期汀線上での展開と異なる。よって現地データの解析における第2位の固有関数には、基準点の相違するための効果も含まれている可能性がある。このため現地の第2位の関数が、実験における第1位の関数のように沿岸漂砂による地形変化を表わすと言い切ることとはできない。この点については、今後汀線上に原点を設けて計算を再度行って調べる必要がある。

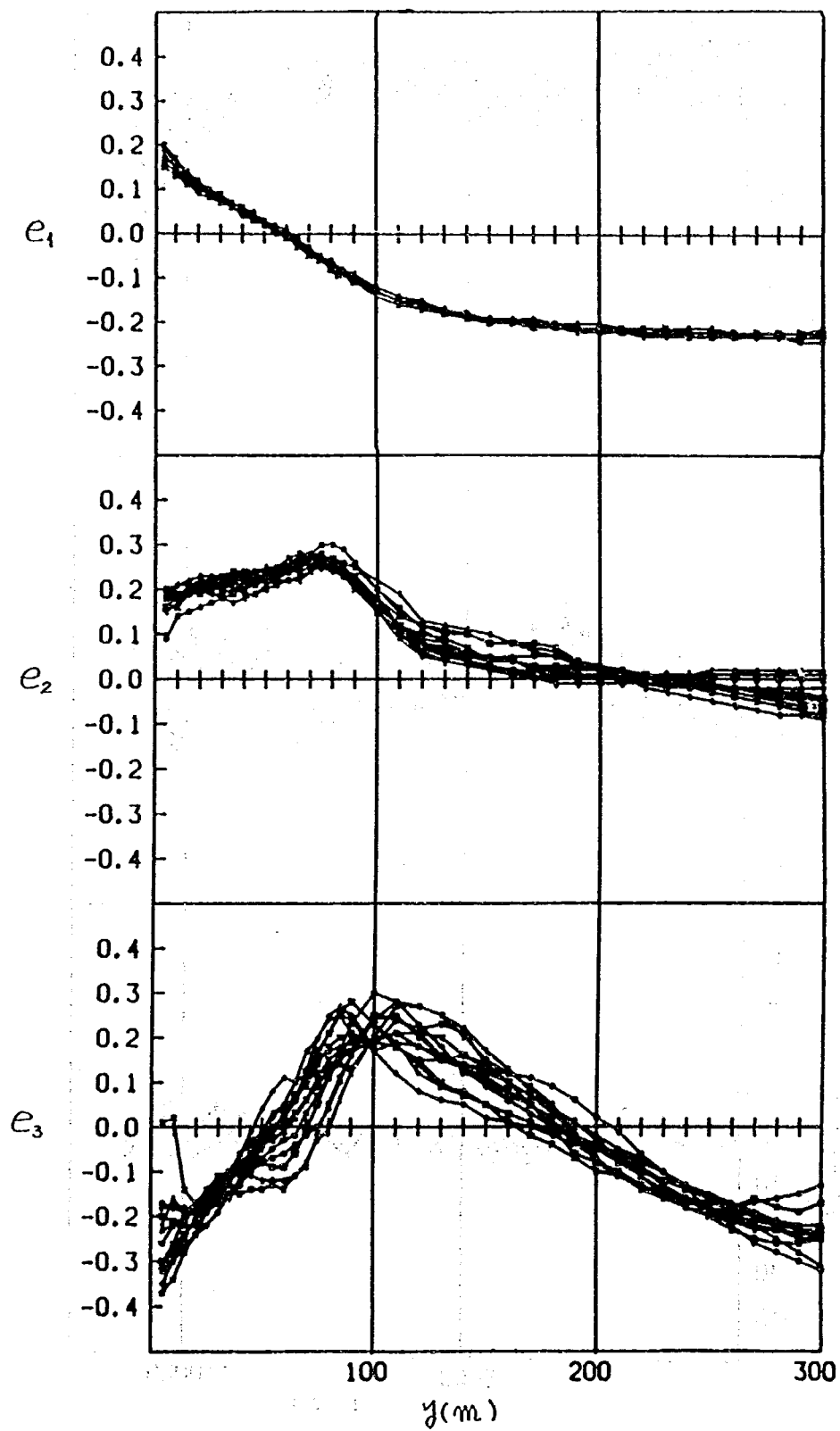


図-9.1 固有関数 e_k の岸沖分布

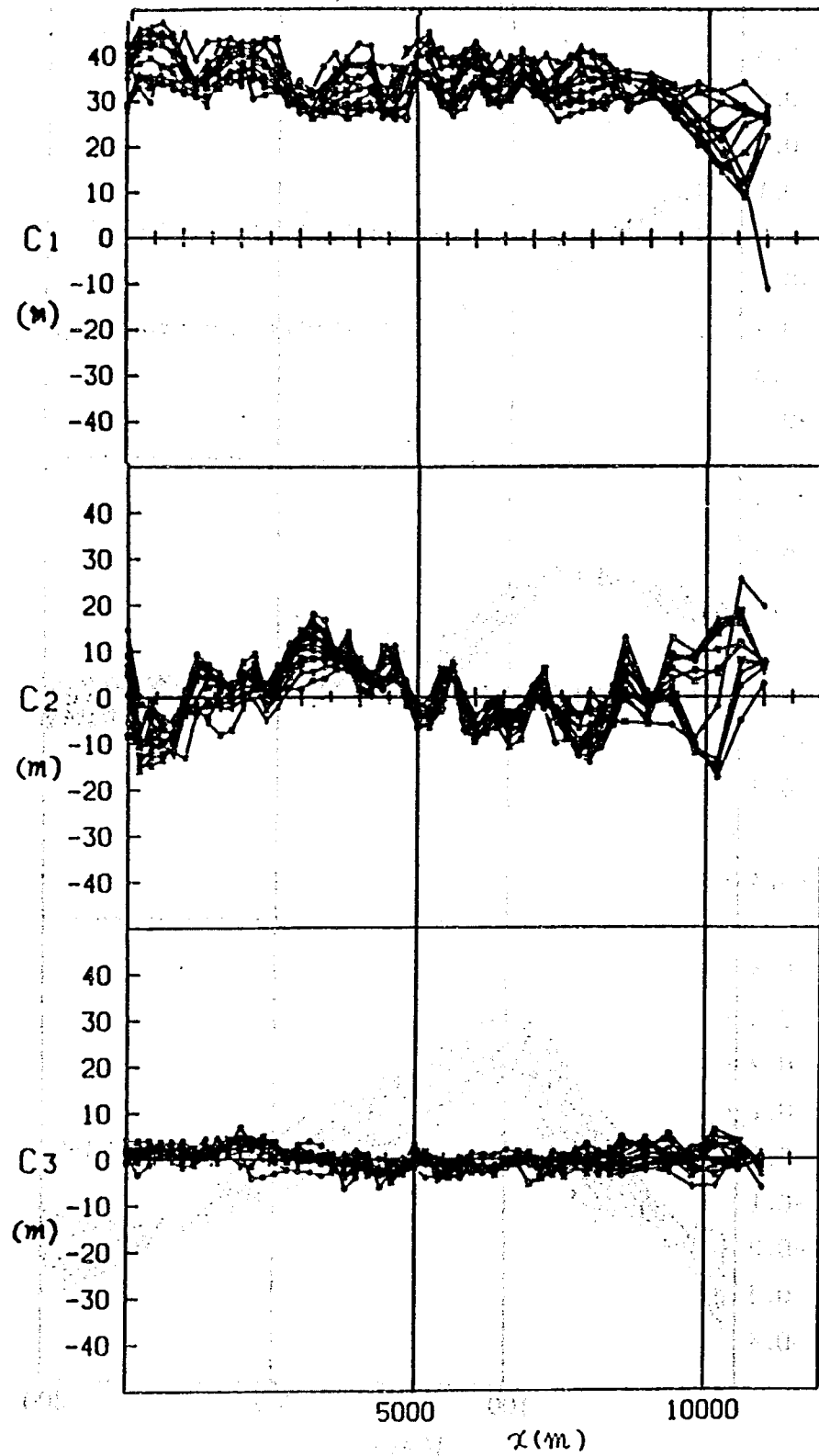


図-9.2 関数 C_k の沿岸方向分布

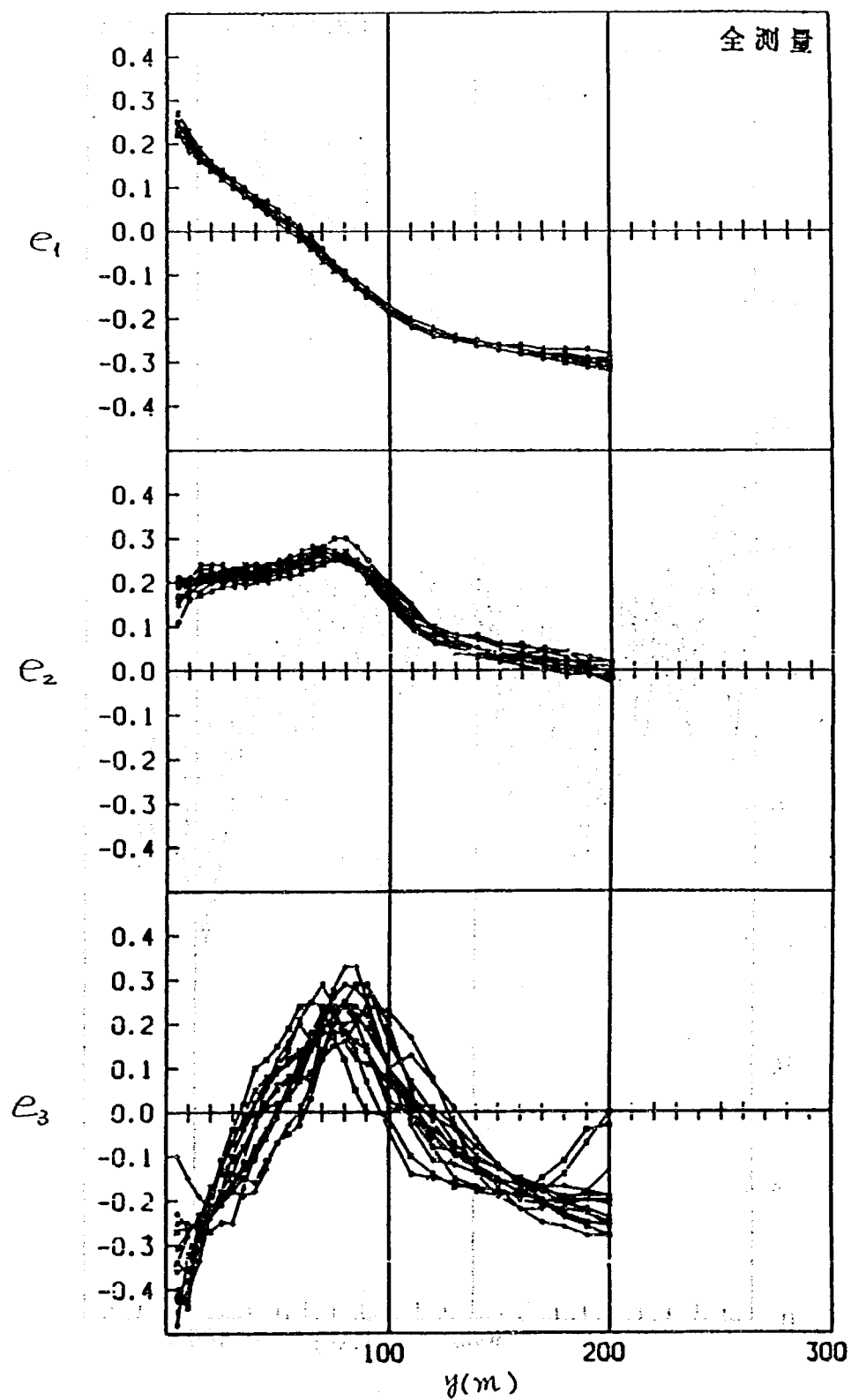


図-9.3 固有関数 e_k の岸沖分布

(No 28 - 0 ~ K-6)

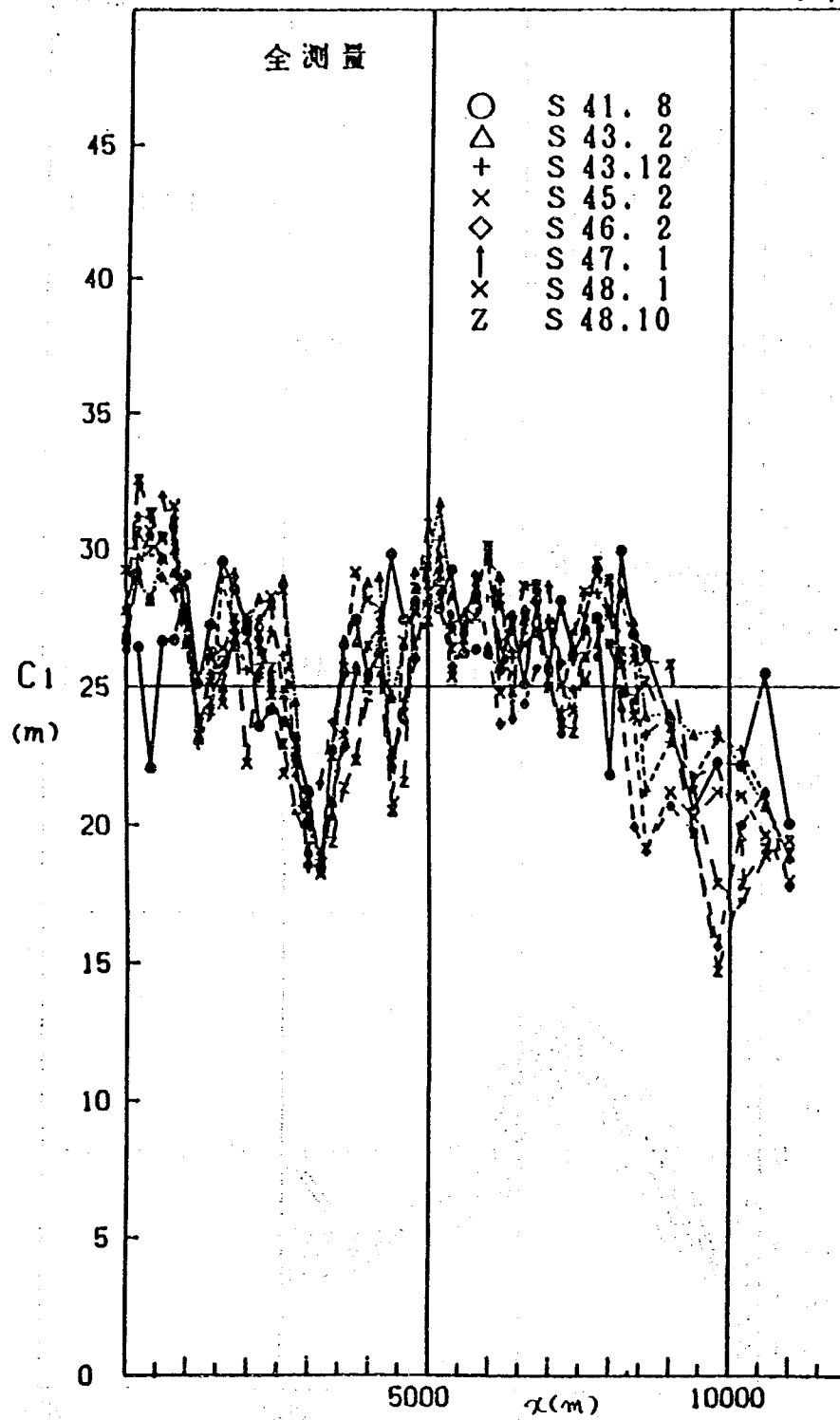


図- 9.4 関数 C_1 の沿岸方向分布 (その1)

(No. 28 - 0 ~ K-6)

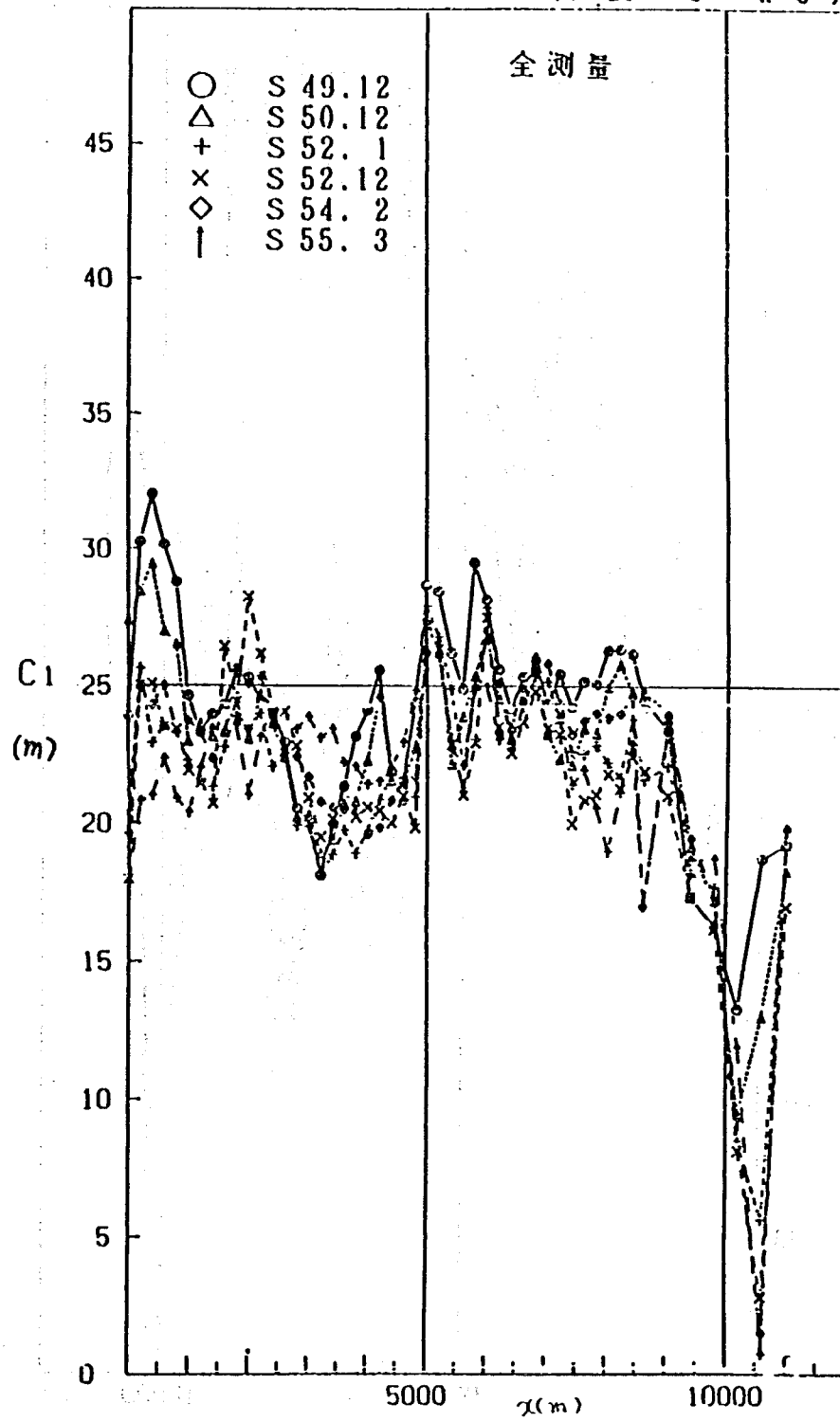


図-9.5 関数 C_1 の沿岸方向分布 (その2)

(No 28 - 0 ~ K-6)

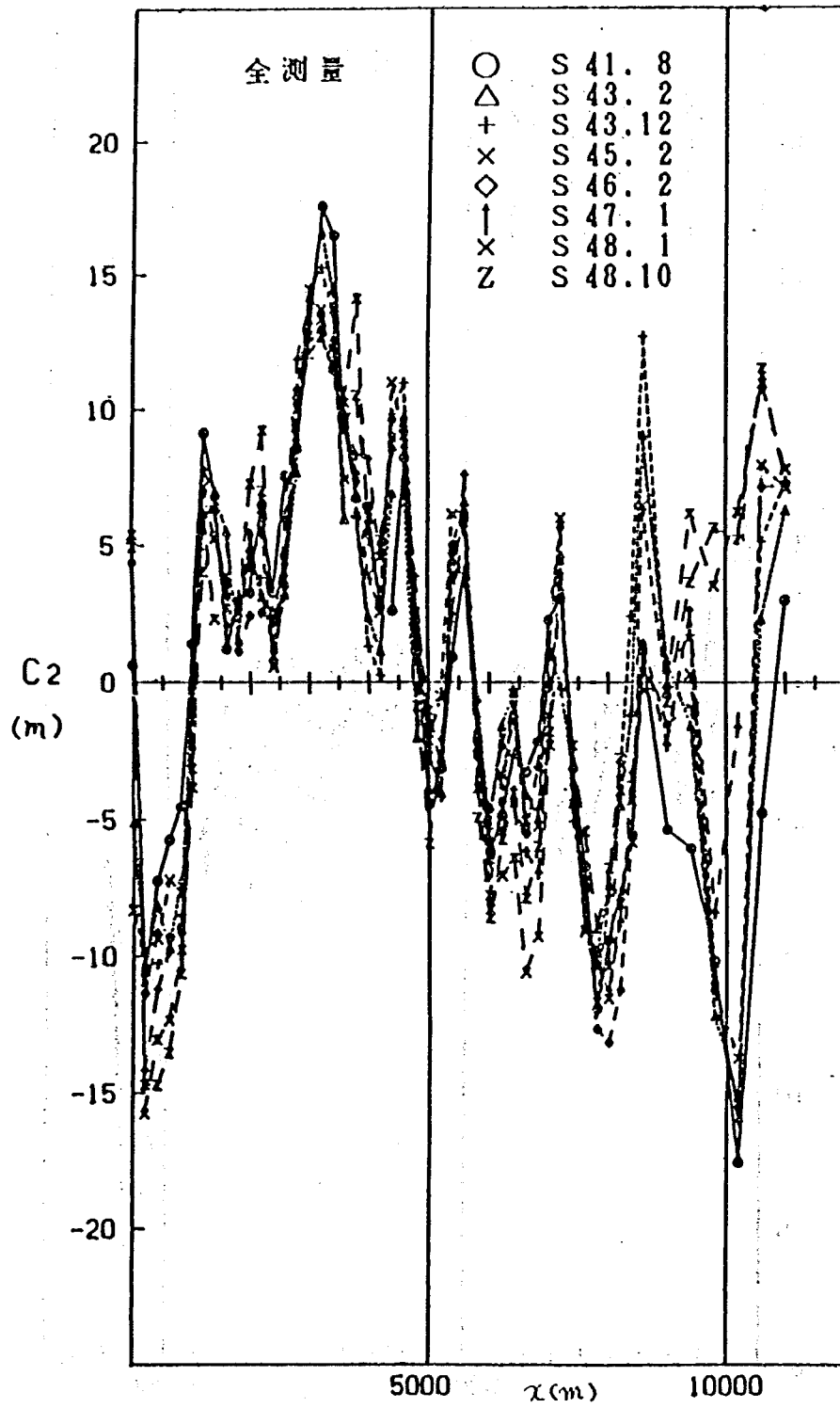


図- 9. 6 関数 C_2 の沿岸方向分布 (その 1)

(No 28 - 0 ~ K-6)

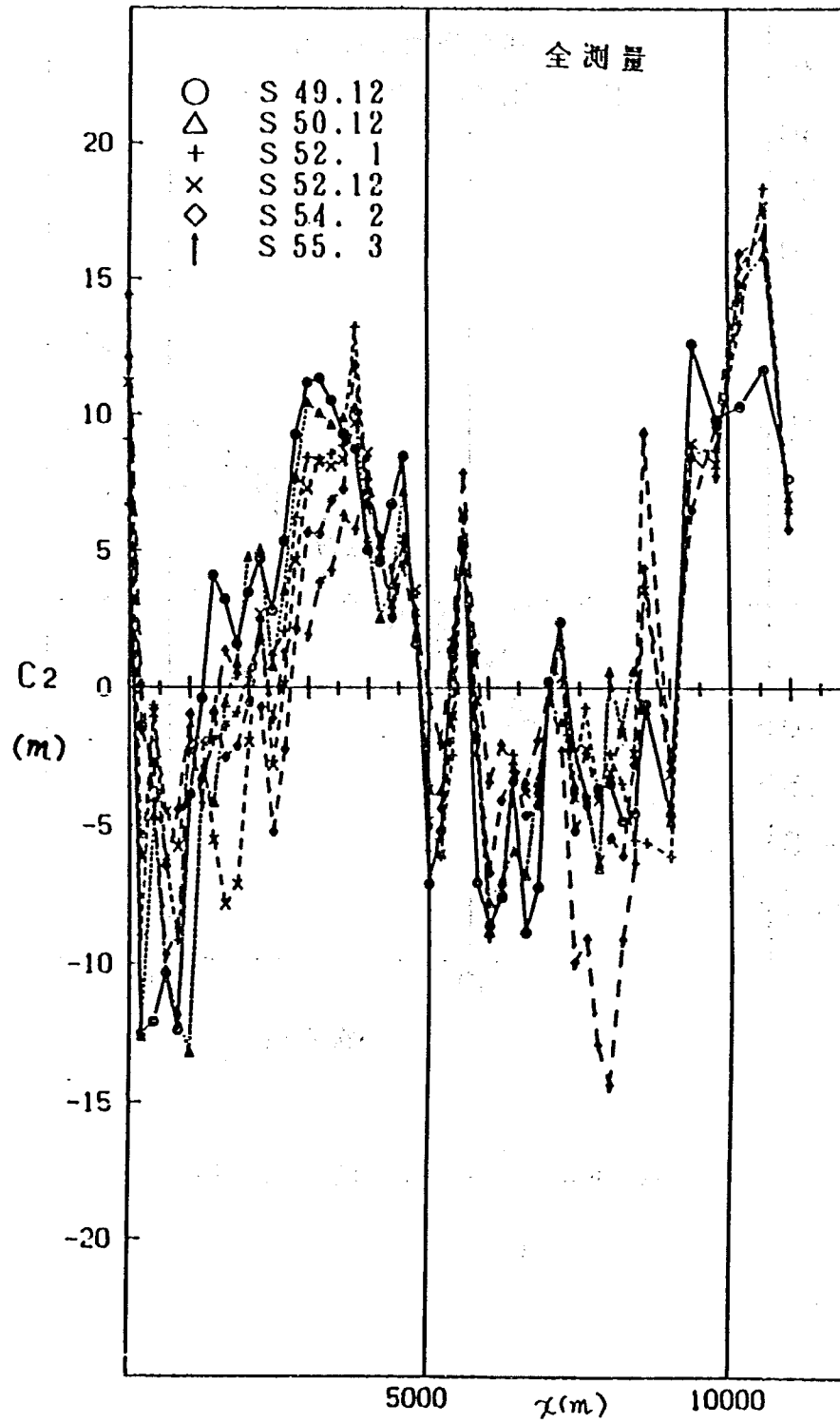


図- 9.7 関数 C_2 の沿岸方向分布 (その2)

(No 28 - 12 ~ K-6) (離岸堤無し)

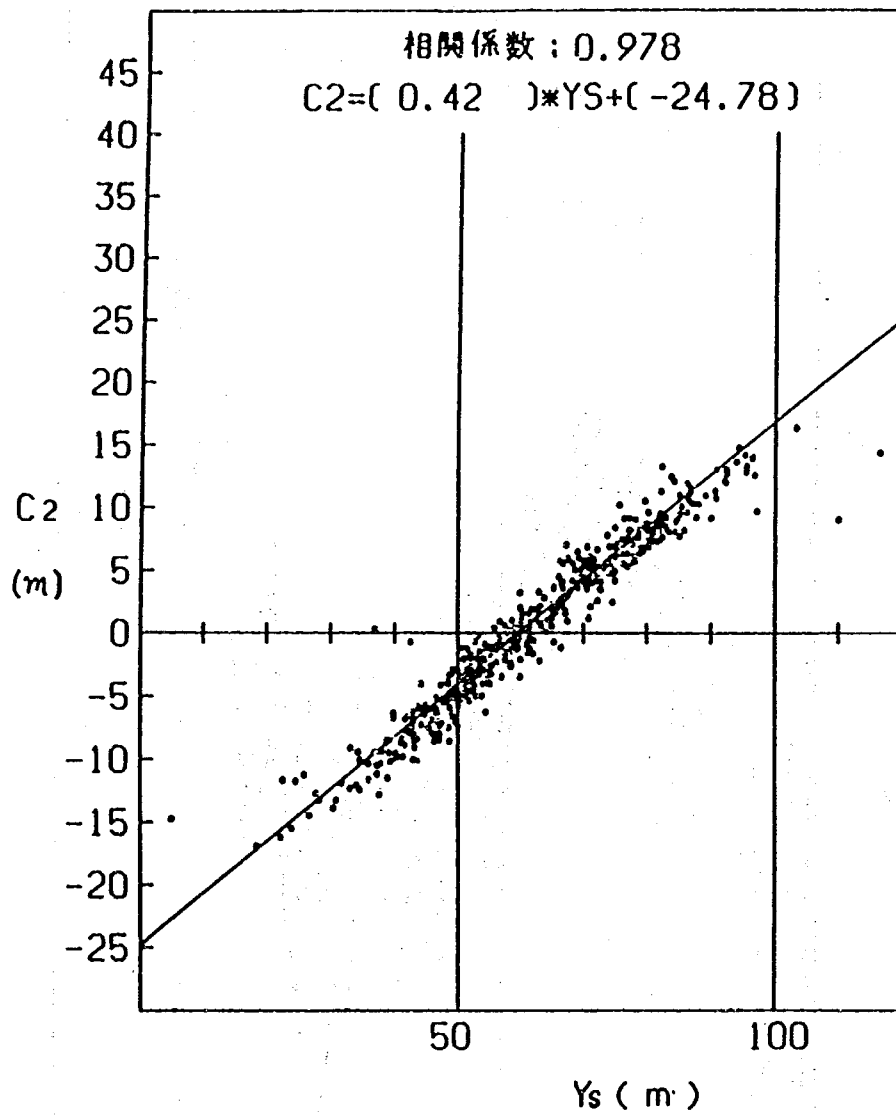


図-9.8 関数 C_2 と汀線距離 Y_s の相関

(No 28 - 0 ~ 11) (離岸堤有り)

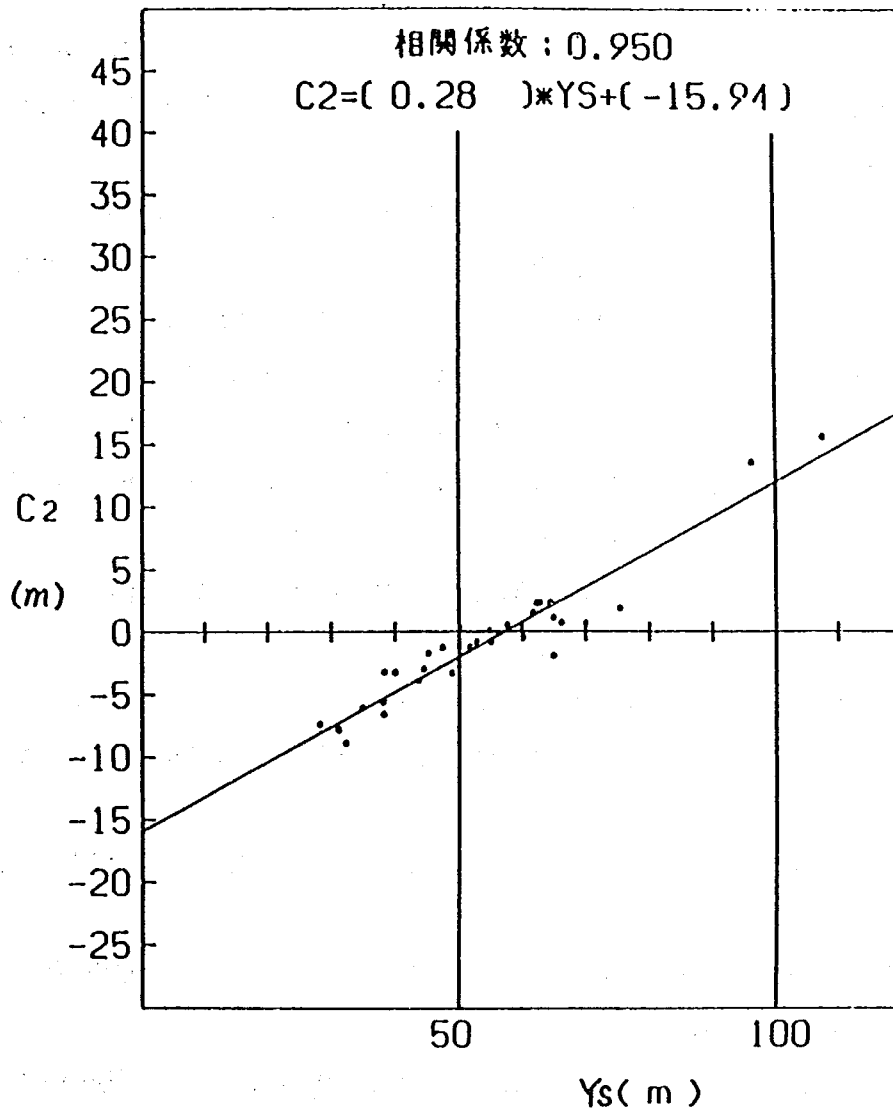


図-9.9 関数 C_2 と汀線距離 Y_s の相関

10. 結論と今後の問題点

本研究では移動床模型実験を行い、離岸堤を設置した場合の海浜地形や、打ち上げ高、波高分布などを調べた。また新たに海浜変形モデルの提案を行った。最後に得られた主要な結論をとりまとめるとともに、今後の問題点を明らかにしておく。

- (1) 離岸堤背後を物揚げ場として利用する案に関して実験的に検討した。これにより離岸距離が50 m 以下の場合、背後にトンボロが出来たとき、小型船の入る余地がなくなるので適当ではないという結果が得られた。離岸距離100 m、堤長100 mの離岸堤と、離岸距離120 m、堤長120 mの離岸堤では後者の方が汀線近傍の静穏域が広く、荷揚げし易いという結果となった。
- (2) 離岸堤周辺の打ち上げ高の測定値は、サビールの仮想勾配法による計算値より大きな値となった。この原因は、離岸堤背後の碎波波高が非常に大きいことに起因すると考えられたが、波高が何故高かったのかという点については明確な解答を得ることはできなかった。
- (3) 離岸距離が100 mと大きくても、トンボロは非常に大きくなるわけではない。離岸距離を大きくするとトンボロは小さくなる。
- (4) 直角入射の条件で、離岸堤の施工順序について検討したが、結果は単に個々の離岸堤による海浜変形の重ね合わせであった。施工順序については、斜め入射の条件でさらに検討することが必要である。
- (5) 実験結果によると、離岸堤の沖合の地形には有意な変形は少なく、沖合の土砂が堤内へ運ばれたという形跡はほとんどない。
- (6) 突堤長が初期汀線より90 m、突堤間隔が300 mの場合、突堤間の土砂は隣りの区間へ移動せず、各区間の安定な汀線形状が得られる。
- (7) 離岸堤もT字突堤も背後にはトンボロが形成されるが、T字突堤の場合汀線は不連続となる。これは突堤部分によって土砂移動が完全に止められるためである。
- (8) 突堤のみを配置し、波を斜め入射すると地形変化の生じたあとの等高線、等深線の形状は逆Z形となる。ただしこれは波が時計回りの方向より入射する場合である。
- (9) 汀線付近まで出した小突堤では、沿岸漂砂の阻止機能はほとんどない。
- (10) 高知海岸の海浜形状、および波浪条件のもとでは、離岸距離40 mの離岸堤より沖合では有意な地形変化は生じなかった。
- (11) 波を斜め入射させたときのトンボロの形態は左右対称ではなく、上手側の方が下手側よりも α 軸（沿岸方向座標）とのなす角が急になる。この原因は、離岸堤の開口部より波が斜め入射したとき、回折係数の分布、および回折波の進行方向が左右対称とならないためである。
- (12) 離岸距離を40 mより60 mに変えたとき、生ずるトンボロは大きくなる。離岸距離を40 mより60 mに変えたとき、生ずるトンボロは大きくなる。
- (13) 離岸距離が90 mという大きなT字突堤の背後に生じたトンボロは、離岸距離40 mの離岸堤のそれよりも小さかった。

- (14) 突堤と離岸堤の機能の相違は次のようである。突堤を用いたとき、上手側、侵食領域の土砂は汀線が波向と平行となるまですべて移動する。離岸堤では、各離岸堤ごとにトンボロが形成され、各場所ごとに漂砂量がほぼ0となるように変形して行く。このため海浜の変形は突堤の場合よりもなだらかである。
- (15) 突堤のみを配置したとき、初期状態においては沿岸流は汀線と平行に流れるが、さらに波を作用させて地形変化が生ずると、沿岸流は蛇行して流れる。
- (16) その先端が汀線付近に位置する突堤であっても、流れにはかなり大きな影響を及ぼす。
- (17) 離岸堤を配置したとき、トンボロが発達する以前の段階では離岸堤背後には下手方向への沿岸流が生ずる。これはトンボロが形成される以前には下手方向への沿岸漂砂が生じていることを意味する。
- (18) 離岸堤の開口部では離岸流が生ずるが、斜め入斜の場合、離岸流の向きは下手方向へ傾く。この傾き角は入射角の約2倍の大きさであった。
- (19) 離岸堤を設置して波を作用させると、次第にトンボロが発達するが、これに伴って汀線と離岸堤間の沿岸流は弱まり、逆に離岸堤開口部における離岸流が強くなる。
- (20) 離岸堤の離岸距離が大きくなると、開口部の離岸流は弱くなる。ただし離岸距離が40m以下の場合には明らかではない。
- (21) T字突堤を配置すると、汀線付近の沿岸流はしゃ断される。このことは、T字突堤が沿岸漂砂をも阻止することを意味する。
- (22) 離岸堤の背後では、砕波波高が低くなるが、それに伴って地形変化の生ずる最高高さも減少する。
- (23) 汀線位置の変化量と静水面以上の断面積の変化量との間には線形な関係が成立する。
- (24) 固有関数展開と汀線変化モデルとを合体させた、経験的海浜変形モデルによれば、海浜の3次元的地形変化の予測を行うことができる。
- (25) 高知海岸の深浅測量データを用いて固有関数展開を行い、模型実験の解析結果と比較を行った。両者には対応関係が見られたものの、現地データの解析法に問題が残されていることが見出された。
- 以上が主要な結論であるが、今後においては、開発されたモデルを用い、高知海岸の諸計画を考慮して将来予測を行うことが必要であろう。その場合、波浪観測データを集積しておかなければならない。とくに、漂砂の方向を左右する波向の特性を明らかにすることが望まれる。終りに本模型実験を行うに際して協力いただいた四国地方建設局河川計画課、高知工事事務所の方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 堀川清司・砂村継夫・鬼頭平三：波による海浜変形に関する一考察，第20回海岸工学講演会論文集 pp. 357 ~ 363, 1973.
- 2) 橋本 宏・宇多高明・竹淵 勉：経験的海浜変形モデルによる構造物周辺の海浜地形変化予測，第28回海岸工学講演会論文集，pp. 300 ~ 304, 1981.
- 3) Winant, C. D., D. L. Inman, and C. E. Nordstrom : Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunctions, J. G. R., Vol. 80, No 15, pp. 1979 ~ 1986, 1975.
- 4) 橋本 宏・宇多高明・竹淵 勉：等深線長の変化と海浜断面形状の変化の関係について，第37回年次学術講演会講演概要集，pp. 739 ~ 740, 1982.
- 5) 橋本 宏・宇多高明：経験的海浜変形モデルの移動床実験への適用，第27回海岸工学講演会論文集，pp. 250 ~ 254, 1980.

高知海岸離岸堤模型実験報告書

土研資料第1931号

昭和58年3月(1983)

橋本 宏・宇多高明・竹淵 勉

キーワード：離岸堤，漂砂，模型実験

要旨

高知海岸の離岸堤の高波や海岸侵食に対する効果について，移動床模型実験によって検討した結果をとりまとめたものである。また，海浜変形モデルが提案され，実験データを用いた海浜変形的具体例が示される。



郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

305-□□

茨城県筑波郡

豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

海岸研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1931号 部

高知海岸離岸堤
模型実験報告書

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印