

港 湾 技 研 資 料

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

No. 318 June, 1979

伊東海岸のレクリエーション海浜造成に関する模型実験

佐	藤	昭	二
加	藤		始
木	村	久	雄
池	田	高	則

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はしがき	3
2. 現地の自然条件	3
2.1 風	3
2.2 波	4
2.3 潮流	5
2.4 底質	7
3. 漂砂に関する実験	8
3.1 実験施設および測定方法	8
3.2 実験条件	8
3.3 予備実験	9
3.4 実験ケース	10
3.5 本実験	11
4. 潮流拡散に関する実験	20
4.1 実験施設および測定方法	20
4.2 実験条件	21
4.3 流況分布	21
4.4 拡散分布	23
5. 結 論	25
参考文献	27

Model Experiments Related to a Recreational Beach at Ito Coast

Shoji SATO*
Hajime KATO**
Hisao KIMURA***
Takenori IKEDA***

Synopsis

For the purpose of determining the suitable arrangement of coastal structures planned for an expected recreational beach at Ito Coast, model experiments were conducted both on the variations of sea-bed topography and on the exchange of sea water inside offshore breakwaters.

In the littoral drift experiments, a movable-bed model of 1/200 in horizontal scale and 1/100 vertical was formed with fine sand. An experimental wave which could reproduce long-term variations of the prototype sea-bed topography was initially determined through preliminary experiments. The variations of the bed topography caused by the waves were measured for the various arrangements of groins and offshore breakwaters placed on the nourished beach.

In the sea-water-exchange experiments a fixed-bed model was formed in the same scales and the structures with the most suitable arrangement obtained in the littoral drift experiments were placed on it. Relatively small swells corresponding to the summer condition were applied in addition to the varying tidal current to make experimental conditions similar to prototype phenomena, and the diffusion of dye injected at the foreshore was investigated photographically.

Finally a plan of the most suitable arrangement of the structures was proposed.

* Vice-director

** Chief of Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

*** Member of Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

伊東海岸のレクリエーション海浜造成に 関する模型実験

佐藤 昭 二*
加藤 始**
木村 久雄***
池田 高則***

要 旨

伊東海岸のレクリエーション海浜造成に伴う海岸構造物の適切な配置計画を決定する目的で、離岸堤内の海底地形変化および水質汚濁防止に関する実験を行った。

まず漂砂実験では、予備実験を通して現地の長期的な海底地形変化を再現できるような実験波の諸元を決定した。一方海水交換実験では、現地の現象に近づけるため潮せきの干満に伴う潮流変動に加え、夏期の条件に対応する比較的小さなうねりも取り入れた。

漂砂実験では移動砂として細砂を用い、水平 1/200、鉛直 1/100 の縮尺の移動床模型を作った。その上に突堤や離岸堤を種々に配置して養浜地形の波による変化を測定した。

海水交換実験では同様な縮尺でモルタル仕上げの固定床模型を作り、その上に漂砂実験で得られた最適な配置の構造物を設置した。そして前浜および河口に汚水の代りとしてウラニン染料を投入し、その拡散状況を写真撮影して調べた。最後に以上の実験結果に基づき最適な配置計画を提案した。

1. はしがき

伊東市は、富士火山帯に属する伊豆半島の相模湾より位置し、温泉地として古くから有名である。海岸はもとより山の手にいるまで大小のホテルや旅館が建ち並び、海と山に囲まれた市街地は風光明媚な環境に恵まれている。ここ数年は、伊豆急行の利用で京浜地方からの距離がさらに短くなり、観光客は増加の一途をたどっている。

そこで、伊東市では地元の人々や観光客のレクリエーション場の一つとして、海浜の環境整備事業を昭和49年より実施している。すなわち、人工的に砂を補給して浜幅を広げるとともにその背後に緑地を設け、夏期の海水浴のみならず一年を通じて海浜が健全なレジャー場として活用できるよう整備する。その手始めとして、昭和49年より着手された湯川側の離岸堤がほぼ完成に近づいている。しかし、まだ上述の海浜環境整備にあたって養浜砂の波による流失を防止するために建設される離岸堤や

突堤の有効な配置計画が決定していない。そこで、これら構造物の配置計画決定の資料とするために、下記に示す項目に重点をおいて移動床による漂砂および固定床による海水交換の模型実験を実施した。

- 1) 離岸堤や突堤の設置による養浜砂の流出防止効果
- 2) 離岸堤や突堤の配置による海水の循環や交換に対する影響
- 3) 松原側に設置する船だまり施設の港口付近の埋設に対する影響

また、実験の対象水域は湯川・松原の約 700 m の範囲とした。本報告は、これらの実験結果を述べたものである。

2. 現地の自然条件

2・1 風

風については、昭和43年から昭和52年にかけて伊東市役所気象室の自記風向風速計によって観測された資料による。10か年の平均風向図を図一 2・1 に示す。これに

* 次長

** 海洋水理部 水理研究室長

*** 海洋水理部 水理研究室

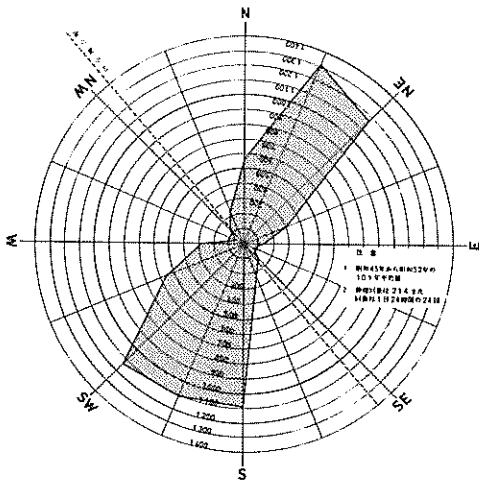


図-2.1 年間風向図

よると、S～SWおよびNE～NNEの風が圧倒的に支配的であり、その内S～SW方向がより多い。また、昭和50年から52年の3か年における年間10m/s以上の風向日数を表-2.1に示す。これによれば、強風の主な方向はNE～NNEおよびW～WSWである。

2.2 波

本海岸の西より前面水深18mの地点に気象庁が観測塔を設けて観測を行っているので、そこにおける昭和51年8月から昭和52年7月の1か年の波の記録から、毎月上位3位までの有義波高を示したものが表-2.2である。これによると、夏および秋には1～2mの有義波高があるが、春および冬はほとんど0.5m以下である。すなわち、通常時はきわめて静穏な海岸といえる。また、夏から秋にかけては、波高は数10cm程度で小さいが周期10s前後の弱いうねりが絶えず存在し、磯波が絶えない。

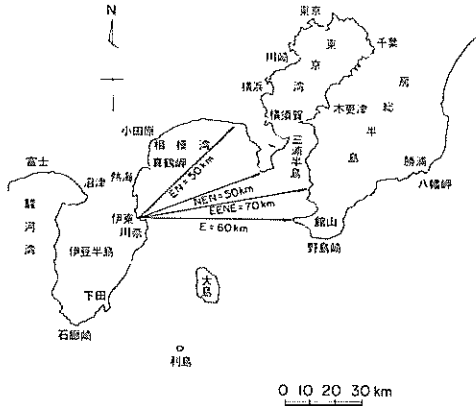
表-2.1 3か年の風向別日数(10m/s以上)

年	風向	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	回数
昭和50		11	0	0	0	2	23	35	10	0	0	0	0	3	4	9	16	113
51		42	0	0	0	0	5	33	7	0	0	0	0	0	1	2	20	110
52		7	0	0	0	1	15	10	1	0	0	0	0	2	0	9	25	70

表-2.2 伊東海岸における有義波高

発生年月日	時刻	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	発生年月日	時刻	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	
51.8.17	20:50 ^h _m	1.1 ^m	3.0 ^s	2.8	22:50 ^h _m	0.4 ^m	4.0 ^s	
	26	16:50	2.0	3.3	15	16:50	0.4	4.0
	30	16:50	1.3	3.5	28	4:50	0.3	4.0
9.4	20:50	1.0	3.8	3.17	14:50	0.4	3.5	
	17	20:50	1.2	2.5	21	6:50	0.3	4.0
	27	20:50	1.9	4.0	28	0:50	0.4	4.0
10.1	10:50	0.8	2.4	4.5	4:50	0.3	3.8	
	3	14:50	0.8	3.0	9	14:50	0.5	4.3
	8	8:50	0.8	3.3	29	20:50	0.4	4.3
11.6	2:50	2.0	3.0	5.4	6:50	0.3	3.8	
	7	12:50	1.9	3.3	21	20:50	0.2	4.0
	12	8:50	2.0	3.3	31	6:50	0.4	3.3
12.4	14:50	0.9	3.2	6.18	18:50	0.4	4.0	
	6	10:50	2.0	4.6	19	14:50	0.5	4.0
	14	14:50	1.1	3.5	21	4:50	0.3	3.2
52.1.21	22:50	0.4	3.2	7.3	22:50	0.2	3.2	
	26	22:50	0.5	4.6	4	0:50	0.2	3.3
	27	2:50	0.5	4.6	7	22:50	0.3	3.8

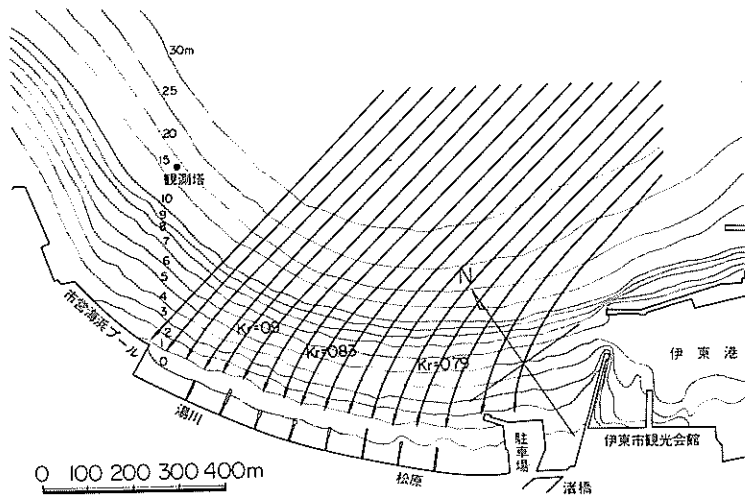
図一2.2には伊東海岸の吹送距離を示す。Eより南寄りの波は、川奈の突出部で遮蔽されるので、本海岸にはきわめて波高の小さいうねりとして到達するのみであることが推定される。EからNE方向については、限られた吹送距離である。その中の最大の吹送距離すなわちEENE方向70kmに風速20m/sの風が吹き続けた場合に予想される波をSMB法によって推算すると次のようになる。



図一2.2 伊東海岸の吹送距離

$F = 70 \text{ km}$ に対して、 $H_{1/3} = 3.3 \text{ m}$, $T = 6.4 \text{ s}$, $t = 55 \text{ h}$ となる。これは、 20 m/s の風が55時間以上吹き続けると、波高3.3m周期6.4sの波が生ずることを意味する。

図一2.3は、周期6.5sの波の屈折図を示す。伊東海岸の水深-4~5m付近においては、湯川側より駐車場



図一2.3 周期6.5秒、EENE波の屈折図

側の方が波高が小さいことがわかる。水深-4~5m付近における屈折係数 K_r は図示してある。また、周期10s、波向Eの屈折図を図一2.4に示す。この場合も同様に湯川側が波高が大きくなるがわかる。

2.3 潮流

図一2.5および図一2.6は、昭和49年9月および昭和52年8月に行ったフロートによる観測結果である。これは、本海岸周辺における上げ潮および下げ潮の大潮に相当する流況分布である。なお、図中に示す実線はこの海域の一般的な流況パターンに適合するものと思われるもの、点線はそうでないものである。この海域の潮流はきわめて小さいことから、吹送流や航跡波などの影響を受けやすいものと思われる。また、図示していないけれど海岸中央部で岸から沖に向かって測定した流速計の観測資料においても、流速は弱流れの主方向がはっきりと定まらなかった。すなわち、全般的に前浜で3~5cm/s、沖側で9~20cm/sの流れでかつ不明確な流れが現われる。しかし、全体としては次のように考えてよいであろう。

まず上げ潮の潮流(図一2.5)は、沖合で西~北西に向う順流で、岸寄りでは東向きの逆流となるが、湯川寄りには順流と同じく西向きの流れである。一方下げ潮の順流(図一2.6)は、西側の観測塔付近で東南方向を示し、海域中央の沖合では東南~東に向い、東側の外防波堤付近で北東方向の流れとなる。このことは、弓形の地形的影響が現われていることを意味する。逆流域については、上げ潮時にくらべその流線が明瞭となり、前浜はほぼ全域にわたって海岸線に平行な西~北西へ向う流

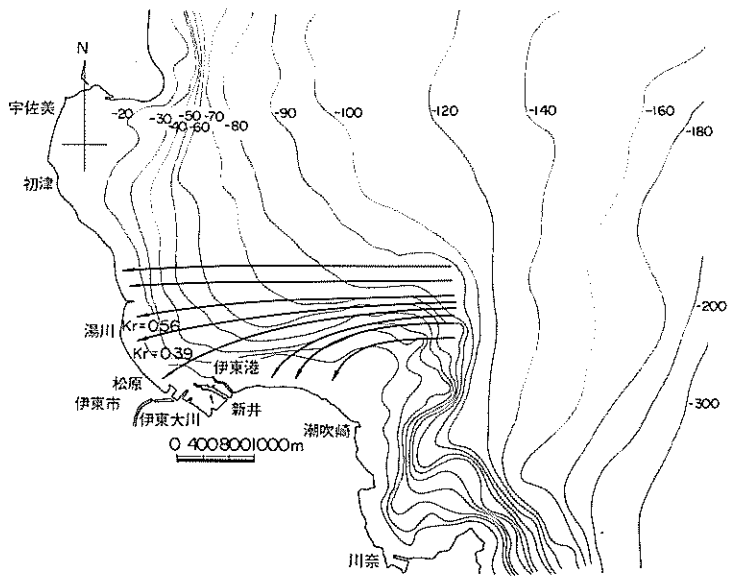


図-2-4 周期10秒, E波の屈折図

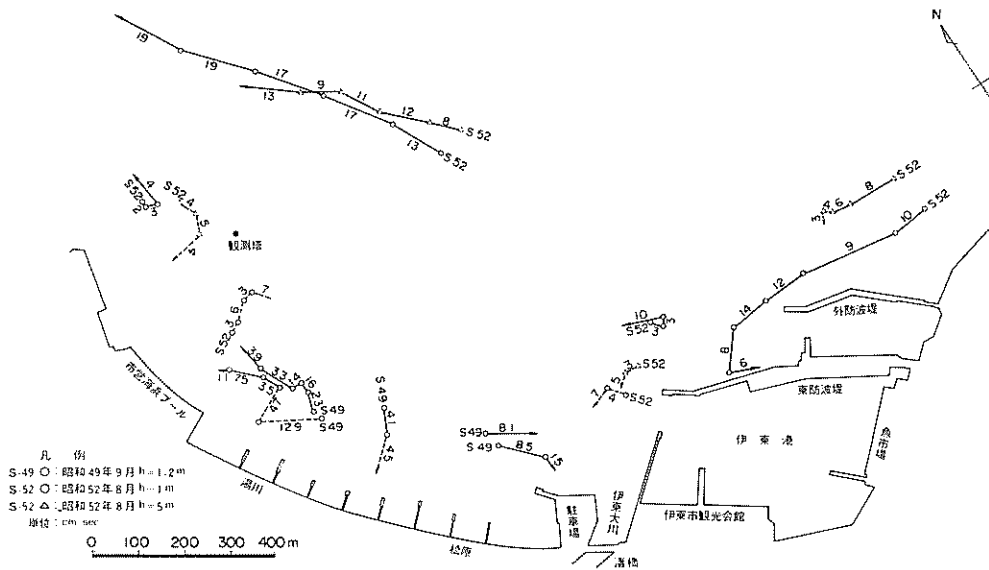


図-2-5 現地潮流観測(上げ潮)

れとなる。

以上のことから伊東海岸周辺の潮流特性について次のようなことがわかる。

この海域の潮流は全般的に弱いが弓形な海岸地形の影響を受け、上げ潮および下げ潮とも沖合の潮流に対して

岸寄りではその反対の流れが発生する。この反流域の流れが沖合の本流にくらべかなり弱く、このため風波による影響を受けやすく定常的な流線をとらえることは困難である。また、駐車場から伊東港にかけての水域は、流れの反転域にあたりその上大川から排水される河川流が

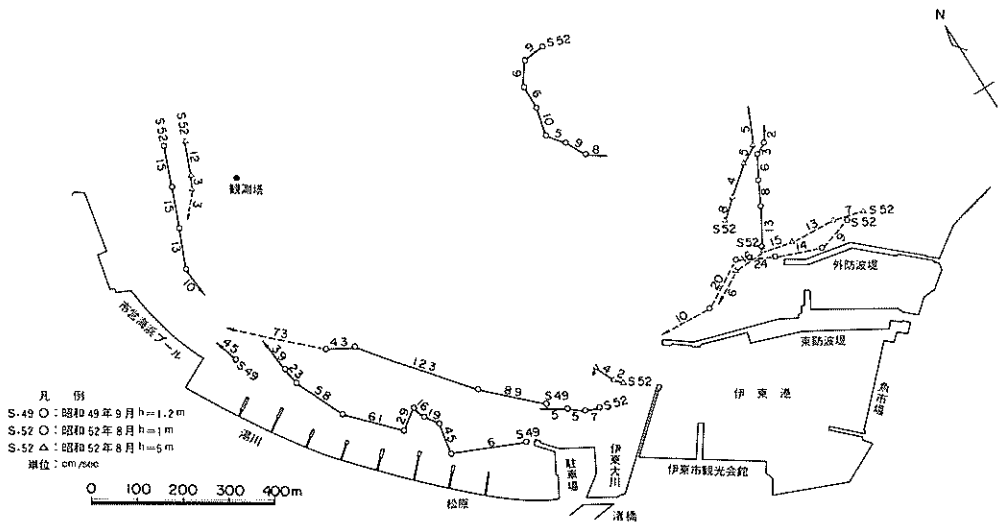


図-2.6 現地潮流観測(下げ潮)

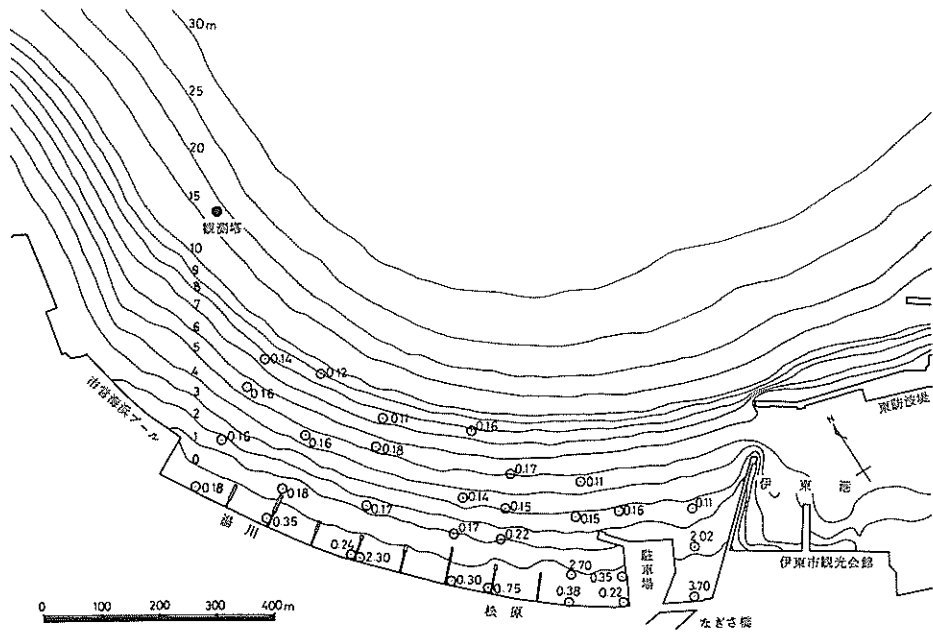


図-2.7 伊東海岸の粒径分布

加わるのでその流況パターンは不規則な流動を示す。

2.4 底質

図-2.7は、昭和49年9月に行われた伊東海岸の前浜から沖浜にかけての底質の中央粒径分布を示したものである。図からわかるように、てい線から100~150m付近の水深3m以浅の中央粒径は0.18~270nmと荒く底

質も中粒砂から砂混りのれきを示し、特に伊東大川の河口付近では $d_{50} = 3.70\text{mm}$ で底質はれきである。また、前浜の突堤付近では全般に突堤の東側が西側より粒度が荒い。一方、水深3m以深での中央粒径は0.11~0.15mm程度であり、底質は細粒砂またはどろ混り砂である。しかし、この調査範囲のほとんどが水深5m付近までのもの

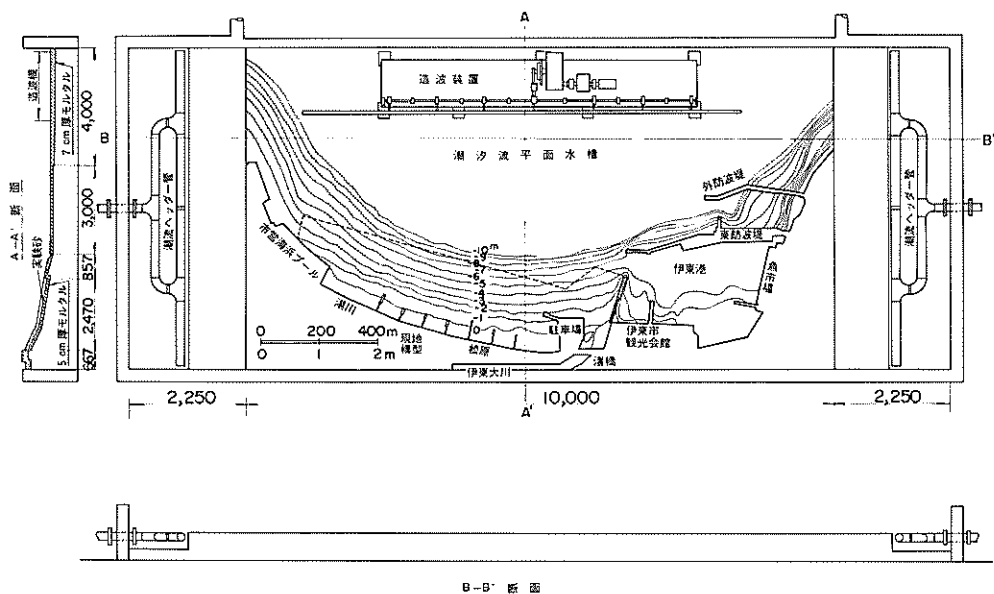


図-3.1 模型概略図

であり、一般的には波の影響を受けやすい水深であることから、季節によってその分布状況が多少異なることは言うまでもない。

3. 漂砂に関する実験

3.1 実験施設および測定方法

模型は、港湾技術研究所流理実験室内の潮せき流平面水槽（詳細については後述する潮流拡散を参照）内に、図-3.1に示すように湯川の市営海浜プールから伊東港の外防波堤までの2km区間を製作した。

模型の縮尺は水平1/200、鉛直1/100で水深D.L.-10m以浅の海底地形を再現し、-10m以深は一律な一定水深とした。そして図-3.1に示す点線内（海岸前面）は平均粒0.17mmの細砂による移動床とし、その他は防水モルタル仕上げの固定床とした。造波装置は、図示のように沖側の平坦部に設置した。実験に用いた移動床部分の砂は、0.5mmのフルイを通過し0.075mmのフルイに止ったものを用いたが、その粒径加積曲線を図-3.2に示す。造波機は延長8.5mのフラップ型で、その発生波の範囲は周期0.4~1.6sおよび最大波高40mmである。

移動床部分には、海岸線方向40cm（現地80m）、海岸線直角方向10cm（現地20m）の間隔にφ4mmの直鉛棒をさし、それに実験開始の海浜高をマークしておき、

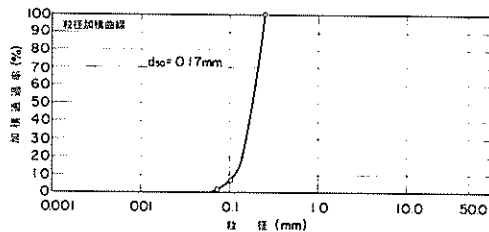


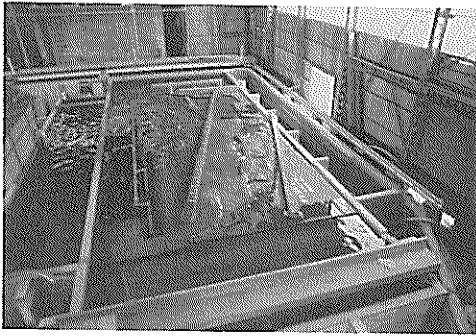
図-3.2 模型砂の粒径加積曲線

砂面調整に便なるようにした。また、この移動床部の地形変化をみるために、海岸線方向約13cm、沖方向10cm間隔ごとに水深をポイントゲージおよび物差を用いて測定した。

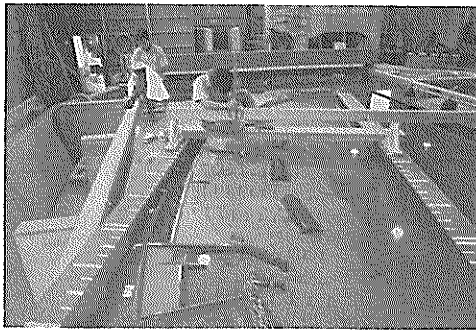
波高は、実験波の決定には容量式波高計によりペン書きオシロに記録した。しかし、実験中、前浜付近の水深が浅いところでの波高分布測定には物差を用いた。写真-3.1および写真-3.2には漂砂模型の状況が示してある。

3.2 実験条件

現状では、移動床の模型実験に対する的確な相似則が見出されていない。たとえば、砂の粒径を模型の縮尺に合わせると粘土質のようになり、粒子間の吸着力が砂とは異なった性質になってしまう。したがって、実験に砂を用いる場合には模型にひずみを与えざるを得ないことが



写真一三・1 漂砂実験模型



写真一三・2 地形測量作業

既往の研究で明らかにされている。そこで、先に述べたように模型縮尺を水平1/200、鉛直1/100すなわちひずみ率を2とした。そうして、現地での現象ができるだけ模型内に再現できるような諸条件を、後述する予備実験を通して次のように決定した。

1) 波高と周期については、通常現地では季節的に変化するが模型内では単一のものである。したがって、現地波をどの程度の波高および周期で代表させるかが問題である。このため、波高2~3m、周期8~10sの種々の組合せで予備実験を行い、現地における昭和49年から昭和52年の海浜変形を最もよく再現できるものとして波3cm(現地3m)、周期1s(現地10s)を選定した。この波高3cm、周期1s、模型底質0.17mmに対する完全移動限界水深を次式の佐藤、田中の式¹⁾により計算すると

$$\frac{H_0}{L_0} = 2.4 \left(\frac{d_0}{L_0} \right)^{1/3} \sinh \left(\frac{2\pi h}{L} \right) \frac{H_0}{H}$$

$h = 3.12\text{cm}$ となる。これは現地の水深に換算すると次のようになる。

$$3.12\text{cm} \times 100 = 312\text{m}$$

そこで水深312m、周期6s、現地底質0.15mmに対する完全移動限界の波高を上述の同じ式によって計算すると $(H_0)_{1/3} = 1.34\text{m}$ となる。これは表一三・2(波の観測)によると、この海岸の通常の時化時の波に相当する。すなわち、この実験波は沖浜の漂砂移動の観点からは時化時の波に相当することになる。

2) 波向きは、表一三・2で示したように海岸近くでは一般に波高が東側より西側が大きいことおよび前浜の漂砂移動の主方向が西から東に向っていることから、そのような漂砂移動が起るようにN 33.75° Eとした。

3) 潮位は伊東港のD. L.を基準にして次のようである。

大潮平均満潮面 + 1.534 m

大潮平均水位 + 0.979 m

大潮平均干潮面 + 0.424 m

実験水位は、平均水位をとりD. L. + 1 mの一定とした。

3.3 予備実験

昭和49年3月の海岸地形および海底地形を設置した後、昭和51年11月あるいは52年3月の海浜形状になるような波を捜し求めるため、表一三・1に示すような7ケースについて検証実験を行った。なお、実験波の波高・周期の換算にはフルード相似を用いた。

表一三・1 予備実験ケース

ケース	現地波高(模型)	現地周期(模型)
1	2.5 m (2.5 cm)	8 s (0.8 s)
2	3 " (3 ")	" (")
3	2.2 " (2.2 ")	10 s (1 s)
4	2.5 " (2.5 ")	" (")
5	3 " (3 ")	" (")
6	2 " (2 ")	12 s (1.2 s)
7	2.5 " (2.5 ")	" (")

実験では、図一三・3に示した第2次海岸整備5か年計画の対象範囲の部分および小型船係留施設付近の代表断面10測線について断面測定を行った。この2か所の断面を選んだのは、この2か年でこの部分の変化が比較的大きかったからである。波の作用時間は30分で、波が作用している間は模型浜の上手から侵食されないようにC断面付近から砂を補給した。その補給量は10分間に0.1 lの割合であった。その結果は、ケース5が比較的現地に近い地形変化を再現できた。図一三・4 ~ 図一三・

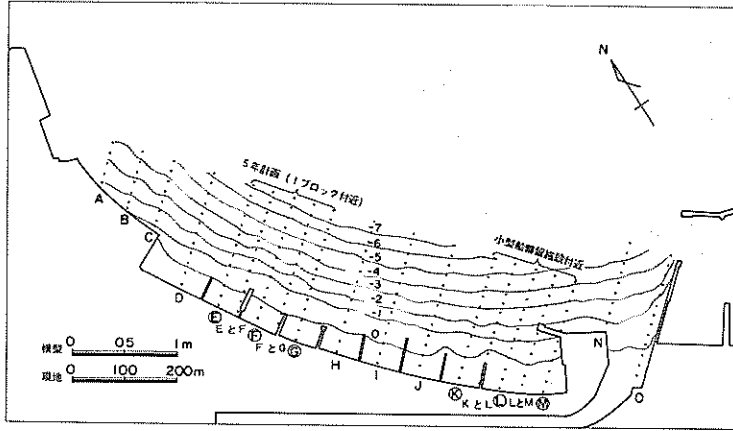


図-3.3 現況再現測定位置

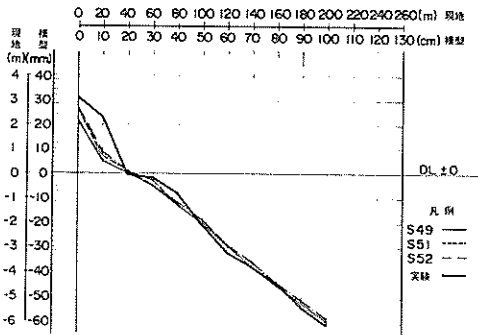


図-3.4 断面変化 (E, $t = 30$ 分)

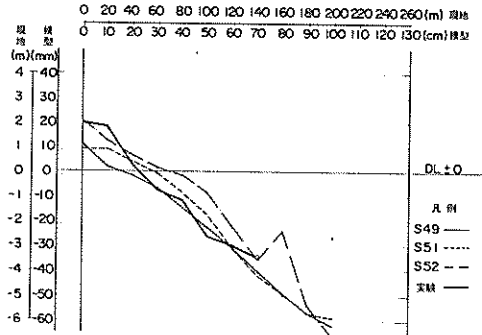


図-3.6 断面変化 (F, $t = 30$ 分)

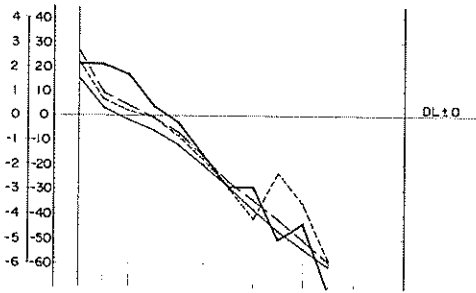


図-3.5 断面変化 (EとFの間, $t = 30$ 分)

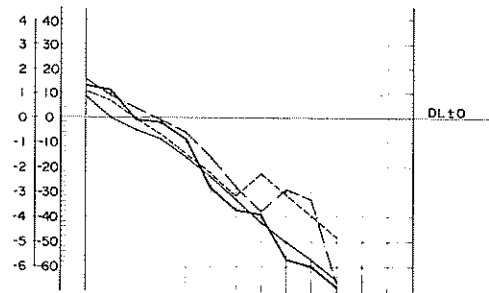
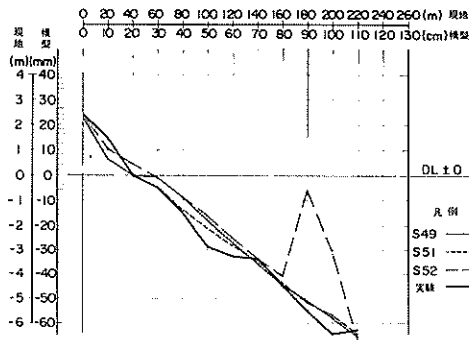


図-3.7 断面変化 (FとGの間, $t = 30$ 分)

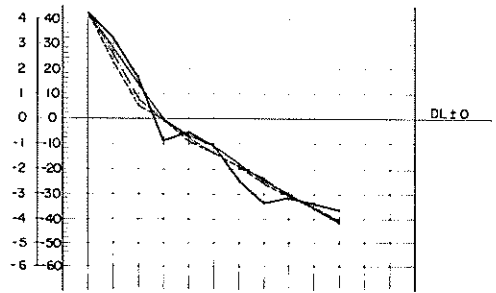
13はそのケース5の結果を示す。この図で示す昭和49年3月の断面、太線はそれに波を30分作用させた後の断面である。この太線を点線または破線で示す昭和51年と昭和52年断面と比較すると、完全ではないがほぼ一致しているのがわかる。なお、図-3.5～3.8において昭和51年および昭和52年の沖側にみられる山形の部分は離岸堤の工事に所に相当する。

3.4 実験ケース

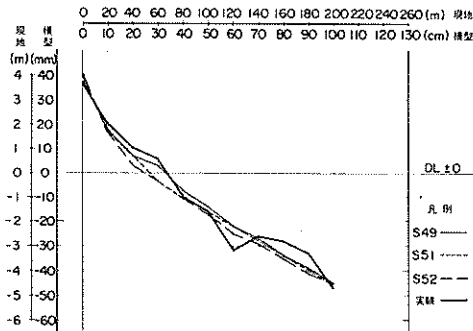
実験は図-3.14に示す7ケースについて行った。まず、ケース1は初期5か年計画における離岸堤と突堤および養浜工を施した場合である。このケース1での3案に基づいて漂砂あるいは海水交換に適切な構造物配置を検討した。それによると、両者を満足させるには後述するように、ケース1-(2)が有効であることを確認した。



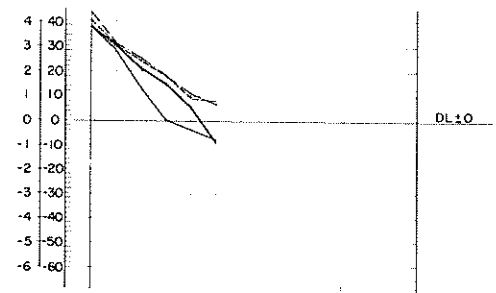
図一 3 . 8 断面変化 (G , t = 30 分)



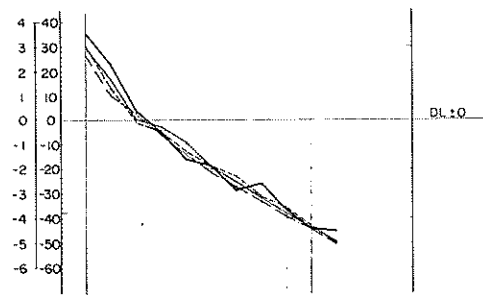
図一 3 . 11 断面変化 (L , t = 30 分)



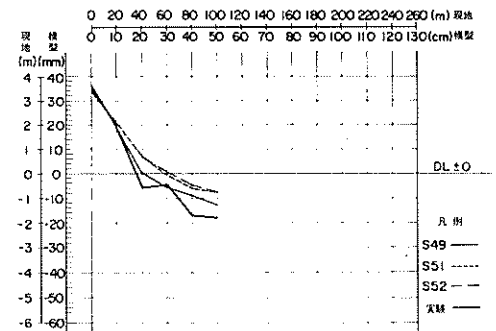
図一 3 . 10 断面変化 (K と L の中間 , t = 30 分)



図一 3 . 13 断面変化 (M , t = 30 分)



図一 3 . 9 断面変化 (K , t = 30 分)



図一 3 . 12 断面変化 (L と M の中間 , t = 30 分)

したがって、長期計画のケース 2～7 における 5 年計画部分の構造物配置にはケース 1-(2)を基準とした。

ケース 2 と 3 は、海浜幅を広げ砂浜と海岸護岸が接した場合であり、ケース 4, 5, 6, 7 は海浜幅は若干狭くなるが、砂浜と護岸の間に緑地を設けた場合である。なお、長期計画では小型船の係留施設(図示の右端)も設置する。

3・5 本実験

実験は、先に述べた各ケースについて波の作用時間を 30分、60分、120分とし、予備実験と同じく 10 分間に 0.1 l の割合で模型の西側端に砂を補給した。沿岸漂砂の防止効果の高い工法を見出すため、構造物の配置を変え実験を行った。以下各ケースについての結果を述べることにする。

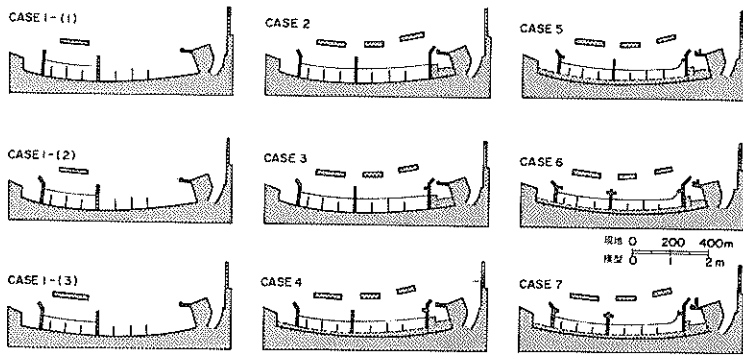


図-3.14 各ケースについての構造物の配置

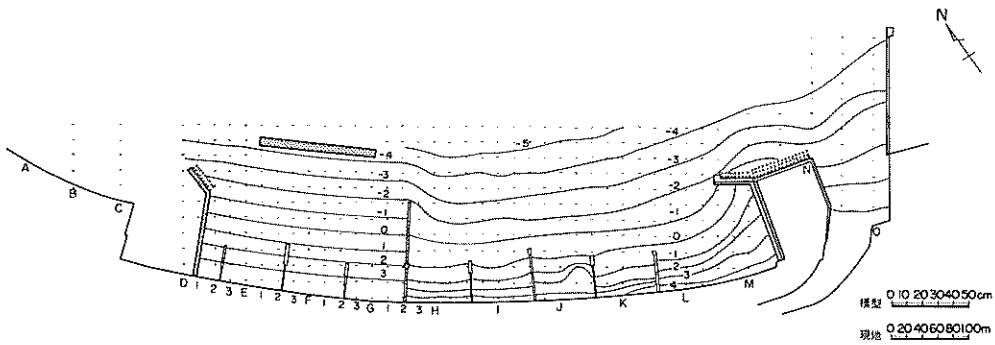


図-3.15 深浅図 ケース1~(2) $t = 0$ 分

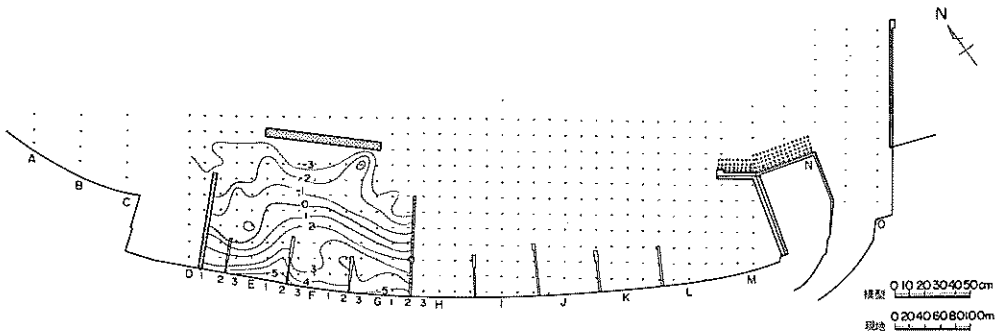


図-3.16 深浅図 ケース1~(1) $t = 120$ 分

1) ケース1

図-3.15は波作用前の模型浜を示す。図からわかるように、既設の突堤はそのまま活かし、新たに離岸堤1基および突堤2基を設けさらに養浜工を施すもので、これらを模型縮尺に合わせて設置した。この場合、計画以

外の等深線は昭和52年の深浅図を用いた。そこで養浜されたてい線を見ると、計画では現況にくらべ約40m沖方に前進する。

図-3.16, 3.17, 3.18は、前項の実験ケースで述べたように構造物の配置を若干変更したもので

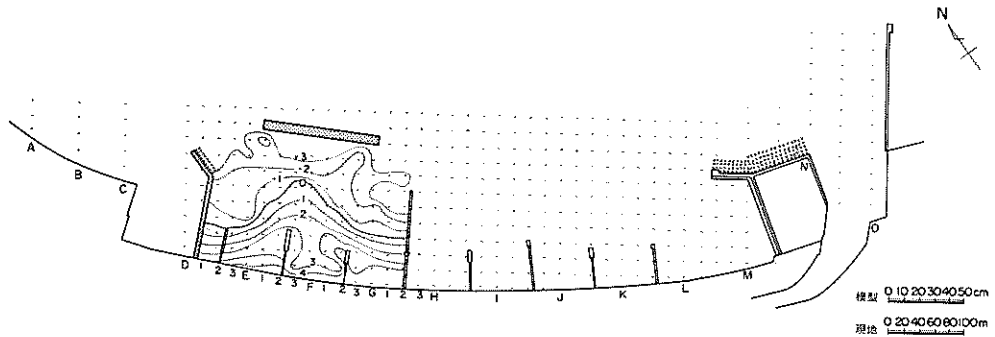


図-3.17 深浅図 ケース1~(2) $t=120$ 分

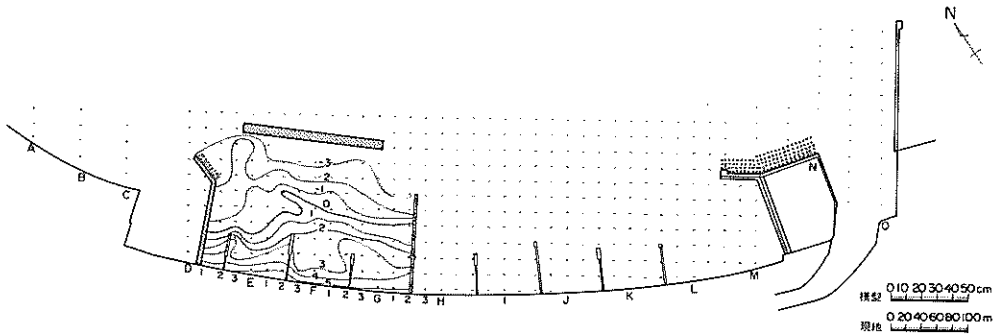


図-3.18 深浅図 ケース1~(3) $t=120$ 分

あり、その波作用前の海底地形は図-3.15に示したものですべて同じである。これらの図から養浜された前浜についての共通点は、次のとおりである。まず、離岸堤の背後が著しくたい積されたてい線も前進する。しかし、その両端すなわち突堤に沿っては、反対に侵食されてい線は後退する。また、海浜変形のはげしいところは測線D~Eの間に現われる。これは、波向が海岸線に直角でなく北よりから波が侵入するためである。なお、ケース1~(2)および(3)で西側の突堤の先端部を曲げてあるのは、この突堤の西側が船揚場としての斜路となっていることおよび潮流の出入りをよくするためである。以上の3ケースについての波による地形変化には、多少の差異はみられるが、海水交換の観点と眺望も考慮してケース1~(2)を以下の実験でも採用することとした。

2) ケース2とケース3

まず、ケース2とケース3の違いについて言えば、船だまり寄りの東離岸堤の長さが異なる。すなわち、ケース2では $L=120$ mとしたが、ケース3では20m短かく $L=100$ mとした。これは、堤内と堤外との海水交換を考慮

したためである。また、ケース3においては東突堤の曲部から陸側に20m寄ったところに平行堤30mを設け、さらに中突堤の先端に消波工($L=20$ m)を施工した。その他の構造物配置はケース2と同じである。波作用前と波作用後の結果を図-3.19および図-3.20、3.21に示す。

ケース2, 3で波を作用させる前の海浜地形と波を作用させた後の海浜地形を比較すると、特にてい線から水深-4mまでの間で離岸堤の影響が大きく現われる。すなわち、洗掘された箇所とたい積された箇所が交互にみられる。ここでケース2とケース3での相違点をあげると、上述した中突堤先端の消波工の効果が明確となる。たとえば、海底変化が著しいこの中央突堤の東側のてい線を見ると、ケース2では護岸より約40mに位置し、消波工を設けたケース3はケース2より20m前進して約60mに達している。また、ケース3における東突堤に設けた平行堤により、ケース2よりもてい線が前進し侵食防止効果は実に良好である。

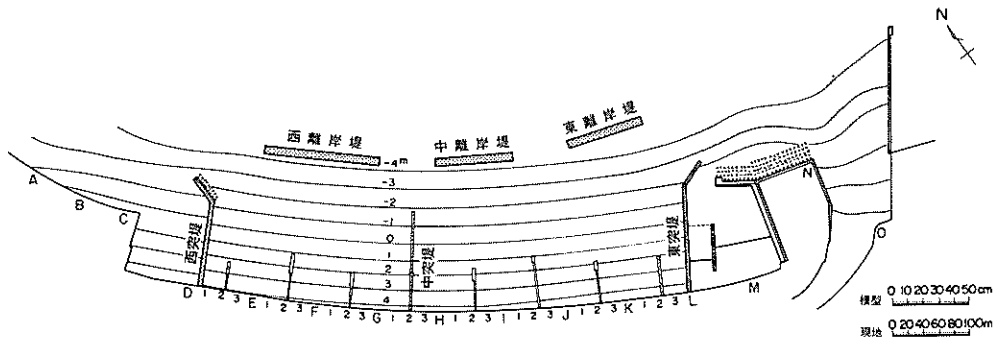


図-3.19 深浅図 ケース3 $t=0$ 分

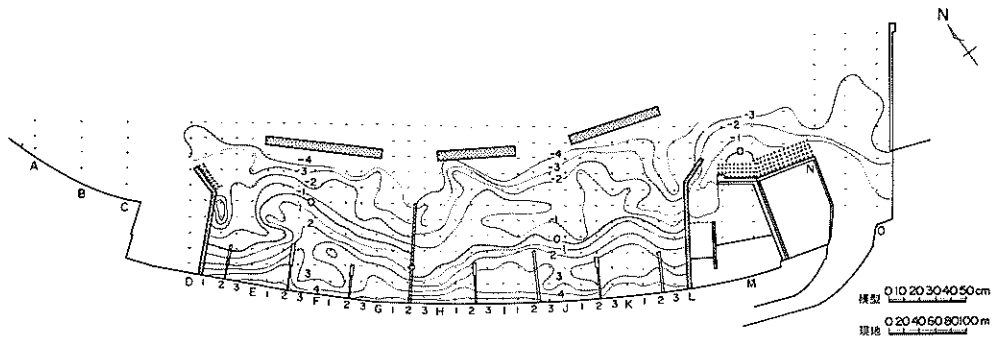


図-3.20 深浅図 ケース2 $t=120$ 分

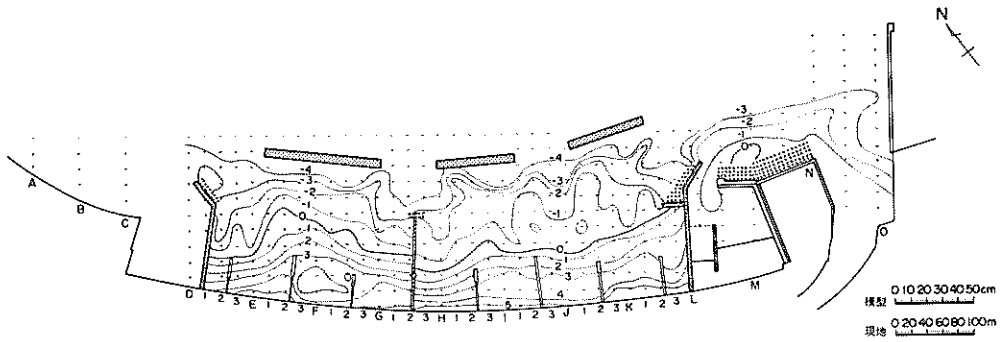


図-3.21 深浅図 ケース3 $t=120$ 分

3) ケース4

このケースは、ケース3に新たに緑地(幅125m)を設けた場合である。図-3.22, 3.23が波の作用前と作用後の深浅図であり、図-3.24が0~120分の深浅差分図を示したものである。

まず、波の作用前と作用後の深浅図からてい線変化を

みると、測線D-1~3にかけては著しく後退し、測線F-3からK-1にいたる区間では多少後退する。一方、測線E-1からF-2にかけては反対に著しく前進し、さらにK-2~3でも前進の傾向を示している。図-3.24の深浅差分図は以上のことに対応し、D-1~3およびGからHの前面の比較的浅いところにおいて欠損を

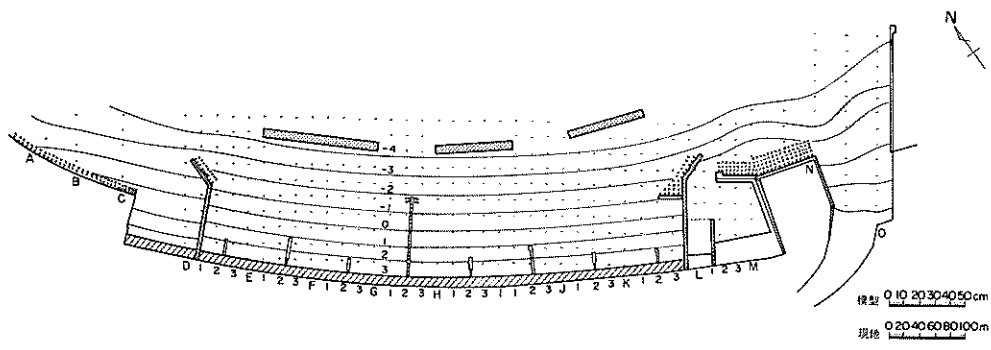


図-3.22 深浅図 ケース4 $t=0$ 分

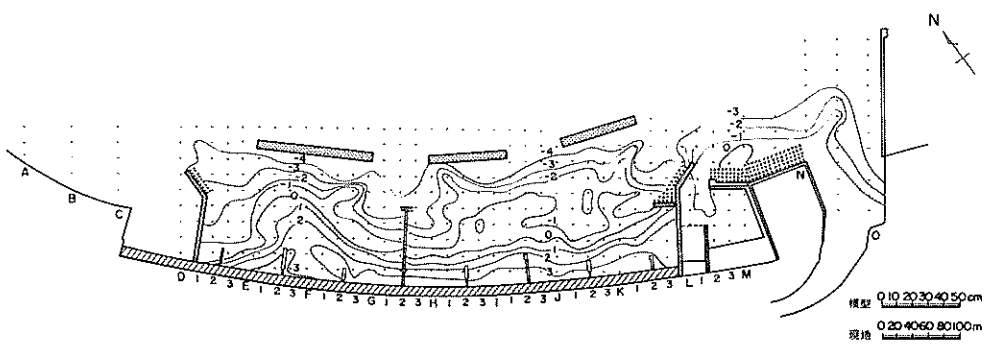


図-3.23 深浅図 ケース4 $t=120$ 分

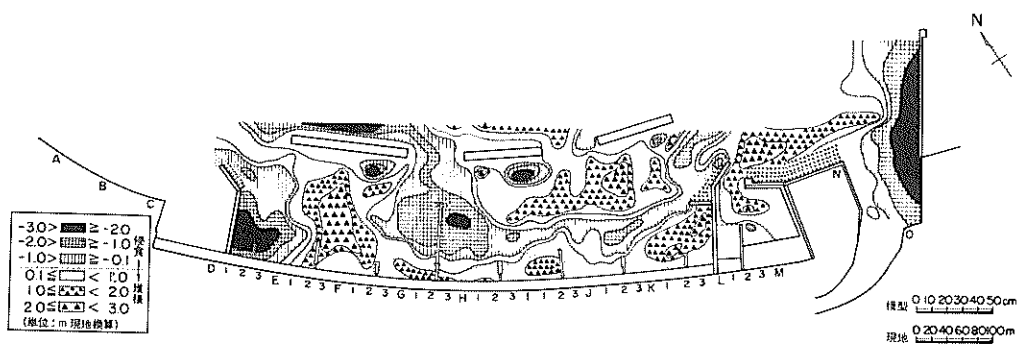


図-3.24 深浅差分図 ケース4 $t=0\sim 120$ 分

示している。前者の欠壊砂は、波によって攪乱浮遊され E-1 から F-2 の離岸堤背後における水深 ±2 m 周辺に運びたい積したものと考えられる。後者の欠壊砂の中で日付近のものは、波による沿岸流で中離岸堤から東離岸堤寄りの背後に大部分が移動し、その一部が岸よりに運ばれ I-1 ~ 2 にたい積したと思われる。さらに、

J-1 から J-3 のてい線付近の欠壊は、K-1 ~ 3 の平行堤の背後に移動たい積したものと考えられる。この結果、平行堤による砂のたい積を期待した効果が大きく現われた。また、それぞれの離岸堤の東端背後の洗掘は越波と、その東端からの波の巻き込みによるものと考えられる。

4) ケース5とケース6

ケース5, 6における波の作用前の海底地形は, 後述するスース7(図-3.28参照)と同じである。波の作用後の深浅図および差分図(ケース6のみ)は図-3.25, 3.26, 3.27に示す。

まず, ケース5の図-3.25を先に述べたケース4(図-3.23)と比較する。なぜならば, ケース4にみられた西突堤付近の欠壊を防ぐため, ケース5ではその折れ部に図示のような平行堤 $L=10m$ を設けたからである。その結果は図から明らかなように, 砂の保持能力

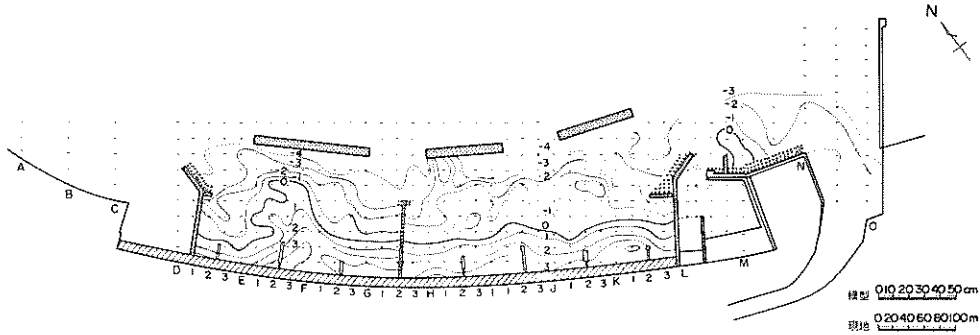


図-3.25 深浅図 ケース5 $t=120$ 分

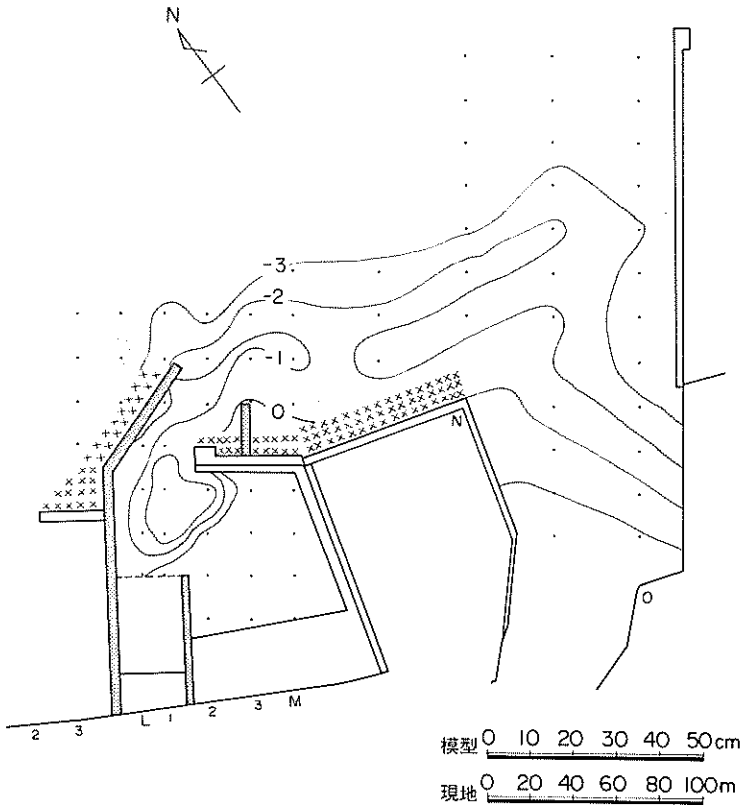


図-3.26 深浅図 ケース6 $t=120$ 分

はケース4の場合より優れ, てい線が約20m沖方に前進していて平行堤の効果が顕著である。また注目すべきことは, 東突堤付近の浜幅を広げる目的であらかじめい線を曲線で前進させた(図-3.22と図-3.28参照)。このため, 東突堤方向に中突堤方向から移動する砂が減少し, 中突堤に近い部分のい線がケース4より前進している。しかし, 図-3.25からわかるようにい線は東突堤の平行堤背後でケース4よりも後退している。この後退は平行堤の天端からの波の越波によるが, ケース4よりも後退している理由は不明である。その他の海浜は, 全般的にケース4と似た傾向を示すようである。

ここで船だまり施設を説明すると, 施設内の水深は-2.5m, 港口に直面する船揚げ場のこう配は $1/9$ とした。ケース2~5では触れなかったが, この船だまり港口付近には伊東大

川側から運ばれる砂によって埋没の傾向が現われる。そこで、ケース6ではこの港口の埋没を防止するため、ケース5より東突堤（船だまりの防波堤も兼ねる）をさらに延長した。しかし、この程度の延長では図-3.26, 3.27に示すように、120分後にはD.L. ±0m近くまですなわち、25mたい積されることになる。したがって、港口の埋没防止効果の高い工法を見出すためさらに以下の実験を行った。

5) ケース7

波の作用前0分と作用後120分の深浅図および0~30分, 0~60分, 0~120分の深浅差分図を図-3.28から図-3.32に示す。このケースは、これまで行った各ケースを参考としてさらに侵食防止対策工を改良した場合である。まず、ケース5において西突堤に設けた平行堤

L = 10mをさらに10m延長して全長20mとした。その結果は、ケース4~5でみられた測線E-1からF-2にかけての著しいい瀬前進が、それほど著しくないことに現われている。また、中突堤をT字形堤で平行部を40mに変更した効果は、その近くのてい線の侵食をさらに減

少させ海岸線がほぼ一緒になったことに現われている。船だまり港口部に注目すると、このケースでは駐車場よりの突堤を延長し、先に述べたケース6の東突堤と先端をほぼ同じ水深とした。その結果は、図-3.27と図-3.32の差分図を比較すると明確である。すなわ

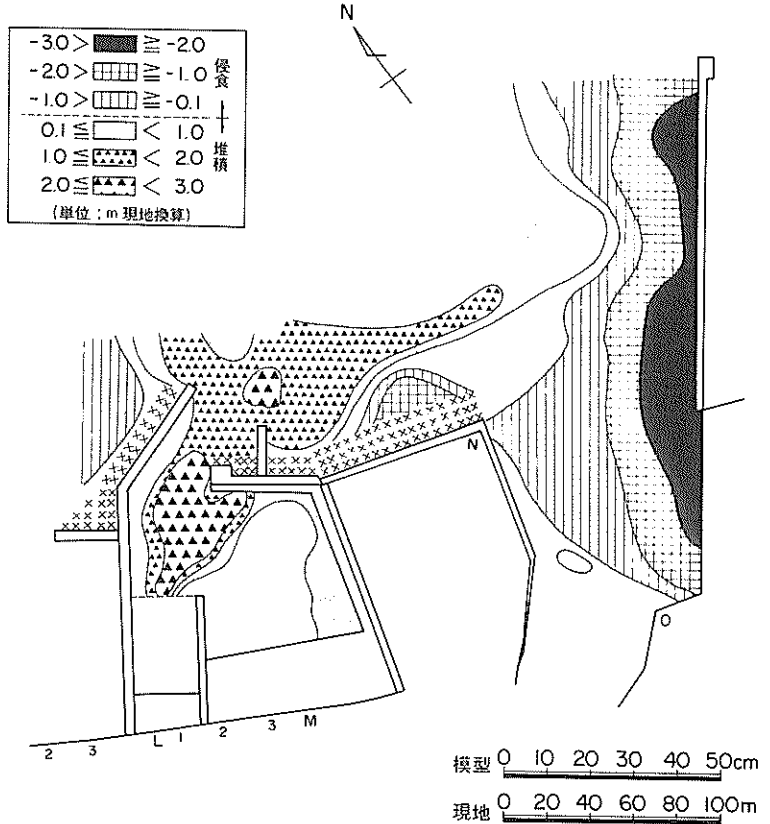


図-3.27 深浅差分図 ケース6 t=0~120分

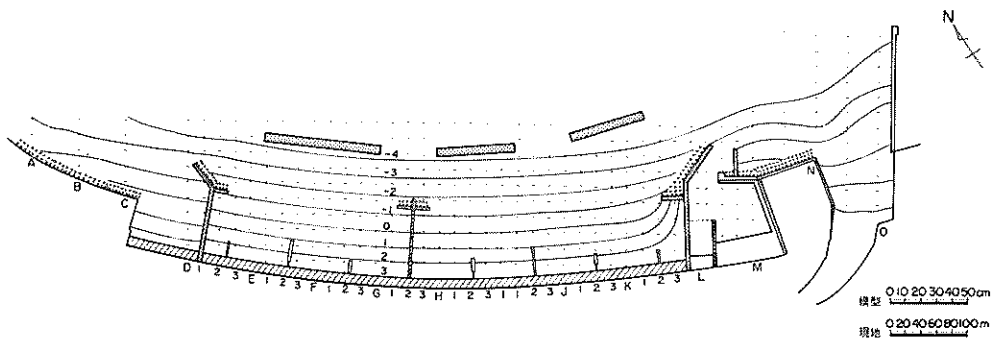


図-3.28 深浅図 ケース7 t=0分

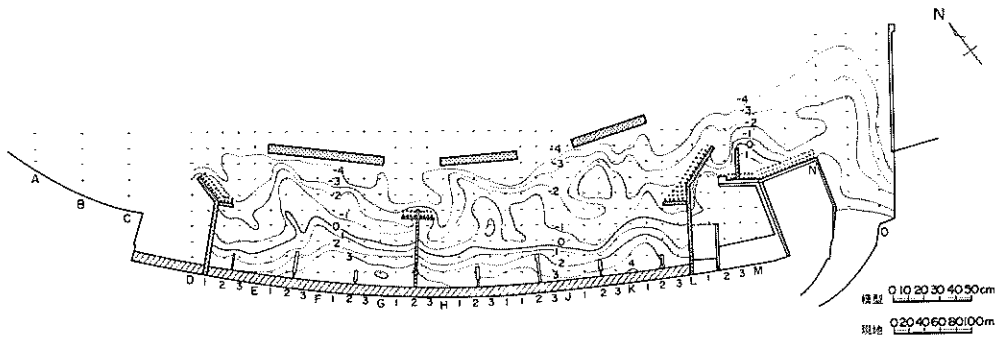


図-3.29 深浅図 ケース7 $t=120$ 分

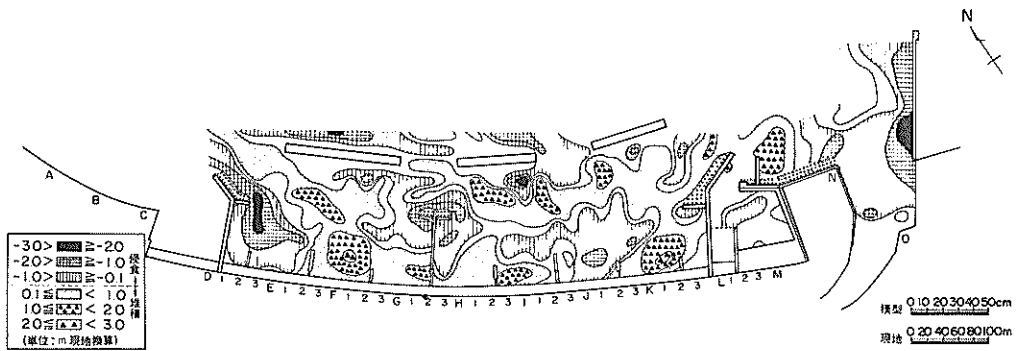


図-3.30 深浅差分図 ケース7 $t=0\sim30$ 分

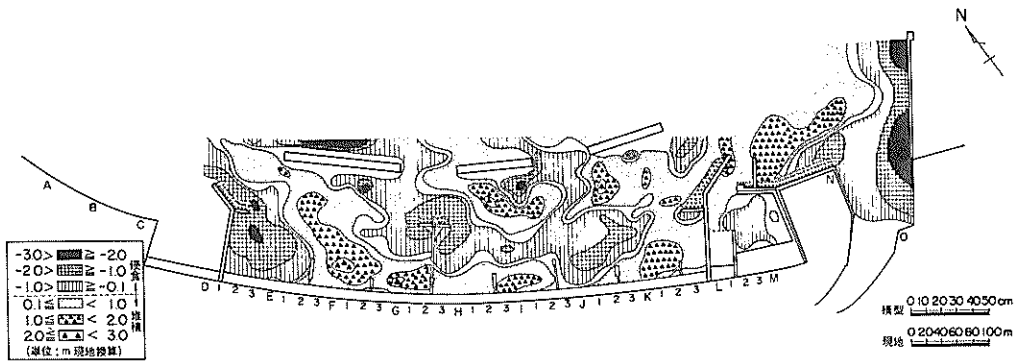


図-3.31 深浅差分図 ケース7 $t=0\sim60$ 分

ち、突堤延長の効果は著しく、ケース6で港口から港内に舌状に伸び砂のたい積を港口付近の小区域に止めることができた。

図-3.30~3.32の差分図からは、海底地形の時間変化が一目瞭然である。たとえば、測線D-1~3付近の侵食区域が波作用時間の増加とともに漸次拡大さ

れ、この部分の砂が測線E-1からF-2にかけ移動たい積する様子が各図から明瞭である。さらに、他の箇所にも生じる侵食やたい積も類似した時間的傾向を示している。

図-3.33は、波作用中の70~80分における堤内の流れ分布を示す。この場合、すでに海底地形変化が起

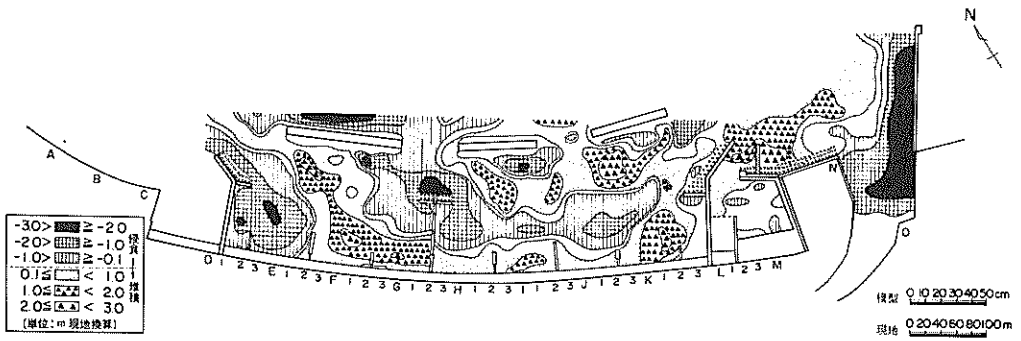


図-3.32 深浅差分図 ケース7 $t=0\sim 120$ 分

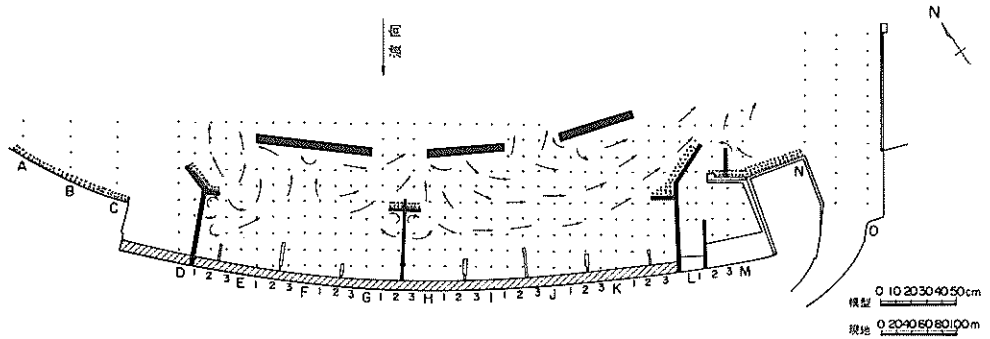


図-3.33 堤内流れ分布 ケース7 $t=70\sim 80$ 分

っており、流れのパターンもそれに伴って変化している。図から明らかなように、前述した侵食区域には砕波による不規則な流れが生じ、特に西突堤の基部が顕著であり、この付近の流れは西離岸堤の背後に向う傾向が強い。このことが一連の実験結果で述べているように、この流れに乗って砂移動が発生し、離岸堤背後のたい積す

なわちてい線の前進につながるようである。堤内全域については、ほとんどが離岸堤の開口部や東西の開口部から堤外に流出する傾向を示す。このことは、堤内の汚染物質の堤外への拡散に効果があるであろう。しかし、これは台風時の大きい波による海浜流であるため、いつもこのような流れが生ずるのではないが、流れのパターンと

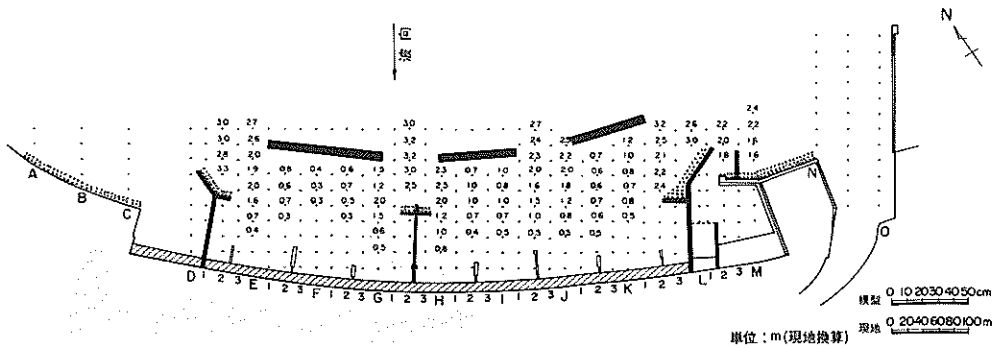


図-3.34 堤内波高分布 ケース7 $t=80\sim 120$ 分

しては、このようなものが卓越すると考えてよい。

図-3.34は、波作用中の80~120分における堤内の波高分布を示す。この図は上述した流れの分布に対応し、全体としてそれぞれの開口部の波高が大きく、離岸堤の背後は逆に波高が小さくなる。また、特に西離岸堤の背後が他の離岸堤の背後より小さく、西離岸堤の背後のトンボロの発達が他より大きいことに対応している。すなわち、流れと波の分布がともに、先に述べた海底地形変化とよく対応していることがわかる。

4. 潮流拡散に関する実験

4.1 実験施設および測定方法

先に述べた漂砂実験と同じく流理実験室内の潮せき流平面水槽内に、図-4.1に示すように湯川の市営海浜プールから伊東港の外防波堤までの2000 m区間の模型を水平1/200、鉛直1/100の縮尺で製作した。模型面は等深線D.L. -30mまでの海底を防水モルタル仕上げで

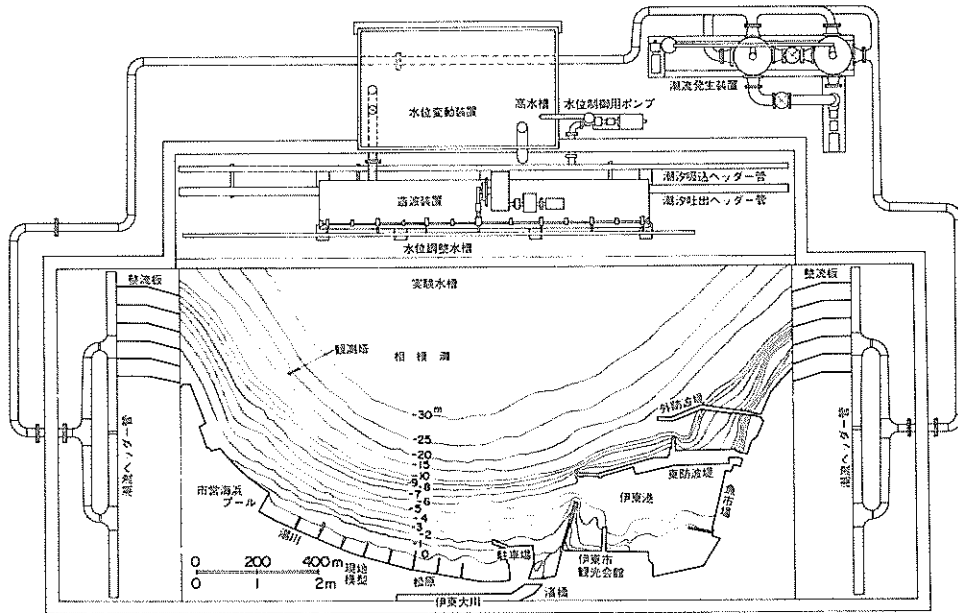


図-4.1 実験施設の一般図

作り、それ以深はD.L. -30mの一定水深のモルタル仕上げとした。造波機は潮せき流を阻害しないように水位調整水槽内に移設した。潮流発生装置は、その主要部が図の右上にあり、往復流を一台のポンプにより機械的に発生させるもので、実験水槽内の両端の吸込吐出し兼用のヘッダー管とともに構成されている。その潮流範囲は流量1~60 l/s 、周期9~120min、波形は近似正弦波形および定常流である。水位変動装置は、高水槽からその前面の水位調整水槽に水頭差を利用して定量水を流入させながら、一方高水槽へポンプアップする水量を変化させることにより、実験域の水位を制御するものである。水位調整水槽と実験水槽の境界には格子があり、水は自由に入出力できるようになっている。その潮位範囲は、最大潮位差4cm、周期9~120minである。制御方法は、マイクロ・コンピューターを用い、潮流周期に対する潮

位周期の位相をずらして同期させ、自然海域で現われる潮せき往復流を再現することが可能である。写真-4.1

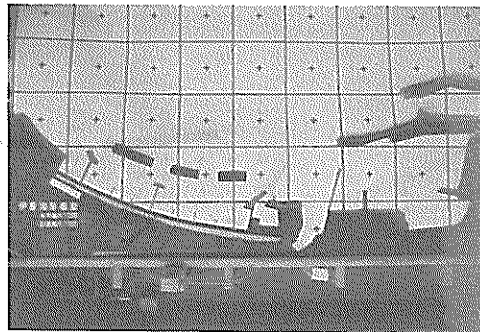


写真-4.1 海水交換実験模型

は上から見た模型で中央下にあるのが染料投入器である。

流れの測定には、プラスチック製の球形φ8mmのフロートを電磁式投入器により、模型底面に印した各測点の水面上に投入し、一定区間を数回繰り返しそのフロートが移動するに要する時間をストップウォッチにより測定した。また、拡散実験すなわち海水浴客や都市汚水によって海浜に発生する汚濁の状況調査には、取り扱いが便利な染料ウラン溶液をトレーサーとして用いた。染料の投入位置は、構造物を設けた場合の海水交換に対する影響をみることを目的として、現況および計画のいずれも前浜汀線付近7か所および伊東大川の河口からそれぞれ投入した。この場合、現地における汚濁指標が明確でないことから、濃度500ppm、総投入量700ccの染料を満潮位付近9分間のみ連続投入して、そのトレーサーの拡りについて現況と計画の相対的比較を行った。そして拡散状況は、模型上5mの高さに設置した広角レンズ付カメラを用い、2潮せき半(模型90分間)内を一定の時間間隔でカラー撮影して調べた。この時模型面に濃度の異なる4種類の染料サンプルを置き、これを基準として濃度分布を作成した。

4.2 実験条件

今回の実験では、潮せきによる流れや波を作用させた時の染料の拡散を取り扱うため、模型内の流れを次のように定めた。

1) 潮流速の換算にあたっては、現地と模型とで鉛直断面平均流速についての運動方程式から成立つフルードの相似則を用いた。海浜流の再現実験では、平均水位すなわちD.L. + 1mの一定水位にある定常流を流し、さ

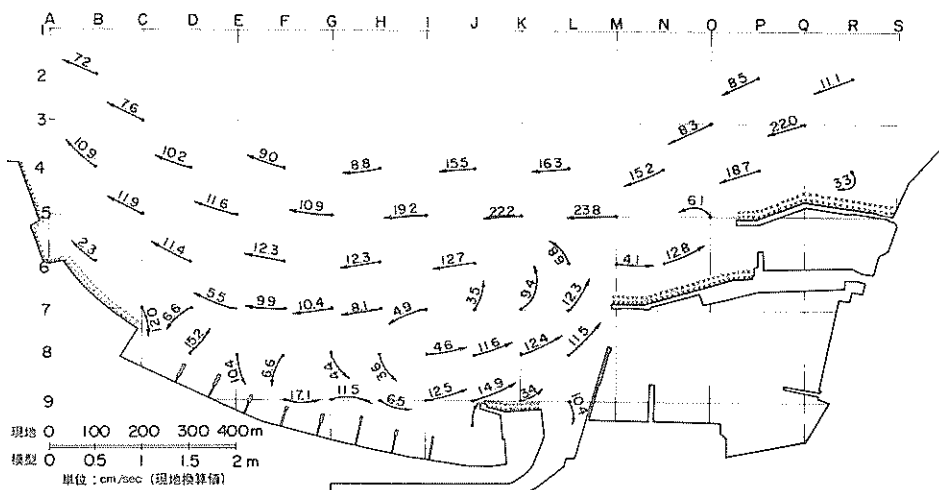
らにその流れに加えて波高30cm(模型3mm)、周期10s(模型1s)の波を漂砂実験と同じ波向で加えた。このような波を用いた理由としては、本海岸では夏期低いうねりがたえずあるためである。流速については、2.3の潮流の項について述べた現地観測値から前浜付近で平均流速4cm/s(模型4mm/s)、沖側で平均流速20cm/s(模型2cm/s)を実験潮流(最強時の上げ潮と下げ潮)の目安とした。すなわち、正弦的に変化する潮流の最強流速付近の流れのパターンを現地と相似になるように模型内の流れを決めた。

2) 拡散については、上述した潮流を変化させさらに潮位変動を加えて行った。すなわち、現地に現われる潮せき流を再現するため、潮流および水位変動装置(図4.1参照)を用い、両者とも正弦波で位相をずらして行った。潮位周期は1周期(模型36分)、潮位差はL.W.L.からH.W.L.の1.10m(模型1.1cm)とし、潮流速の振幅は1)の再現実験で得られた定常流の流速とした。

4.3 流況分布

本実験に先立って、模型上の流速、流向などを検証する実験を行った。すなわち、現況模型で定常流に波を加え上げ潮および下げ潮時を対象として任意の流量を流した。そして、対象水域の流速分布パターンが現地観測結果と合致するように、流量や整流板を種々試行的に調整した。その結果、最終的に $Q = 7 \text{ L/s}$ を流した時に2.3の潮流の項で述べた現地観測の結果とほぼ一致したので、この流量をもって実験を進めることにした。

現況地形および計画地形における上げ潮と下げ潮の定常流の流況分布を図4.2~4.5に示す。図中の矢



図一4.2 流況分布(現況, 上げ潮最強流)

印は流れの方向を表わし、数字は現地換算した流速 cm/s の値である。なお、計画実験では前述した漂砂実験結果に基づいてケース 7 のみとした。

現況時における上げ潮分布は図-4.2 に示すように、対象水域の潮流は海岸線から約 400 m 沖合では東から西に向うが、それより岸側では西から東に向う反流が生じる。また、駐車場から伊東大川の沖合 200 m 付近では反時計方向の環流が現われている。流速は順流域で 8.8 ~ 23.8 cm/s、反流域で 3.4 ~ 12.5 cm/s 程度である。特に、前浜に現われる大きな流れは砕波の影響を受ける。たとえば、測点 F-9 の 17.1 cm/s はこの付近が砕波帯内で

流れが増大される。したがって、上述の反流域における流速には砕波の影響を受けた流れは含まれていない。

計画時における上げ潮分布は図-4.3 に示すように、現況にくらべ離岸堤や突堤の設置によって流況パターンが大きく変化する。たとえば、図示の横軸 7 line の流向が現況と計画で正反対となる。この要因については、現況時の流況を観察するとわかるように、測点 I-7 ではすでに反転の傾向が現われ始め、これは順流と反流の境界域に接しているものと思われる。一方、計画では離岸堤とそれによる反射波の影響が作用したため反流になったと考えられる。堤内の流れをみると、西側の離岸堤と

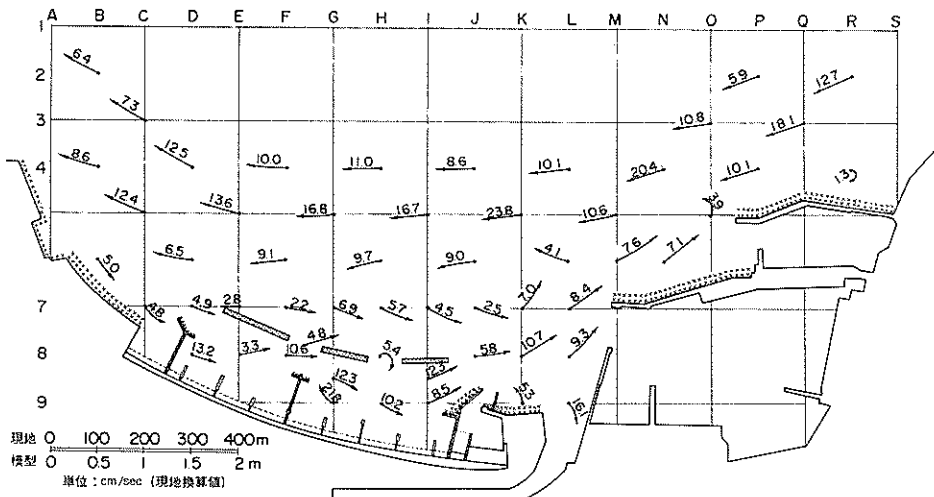


図-4.3 流況分布(計画, 上げ潮最強流)

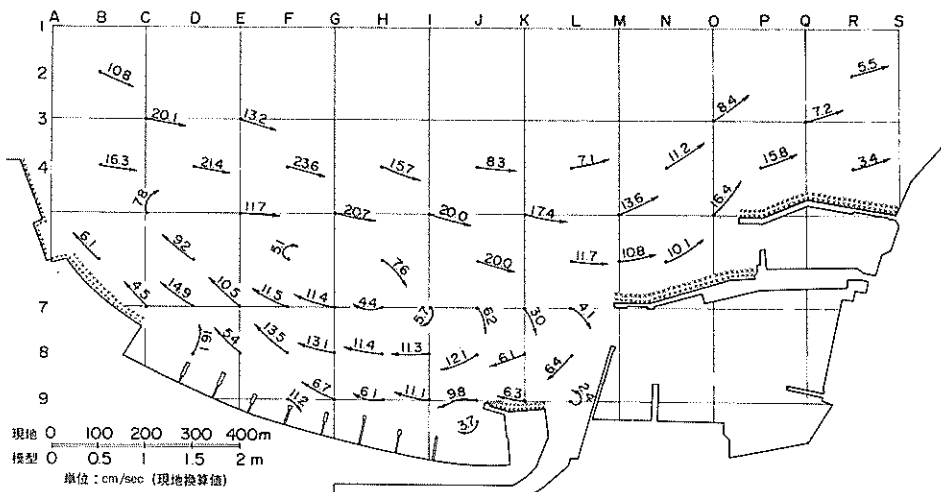


図-4.4 流況分布(現況, 下げ潮最強流)

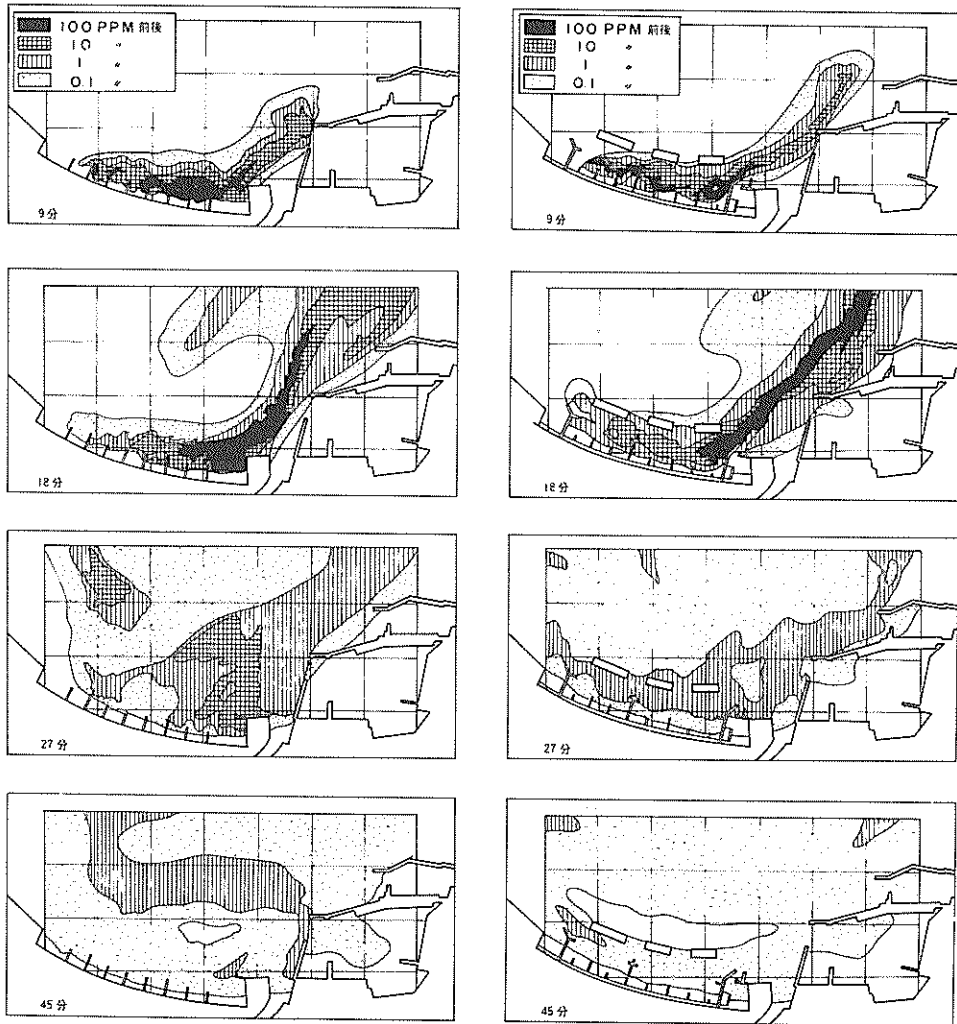


図-4.7 現況および計画における濃度分布の時間変化

の拡散パターンが流況分布と密接な関係をもっていることから予想される。したがって、図示のように1潮せき（45分）後においても伊東港内に濃度10ppmの染料が停滞する。しかしながら、図示していないけれども染料投入後ほぼ2潮せき半経過すると、伊東港内におけるこの

ような高濃度の染料はみられない。大川から出た染料は、計画地形の場合離岸堤内に流入する傾向が強く、現況地形と比較して多少海水浴水面内に停滞し勝ちであるが、大勢としては両者間にあまり差はない。

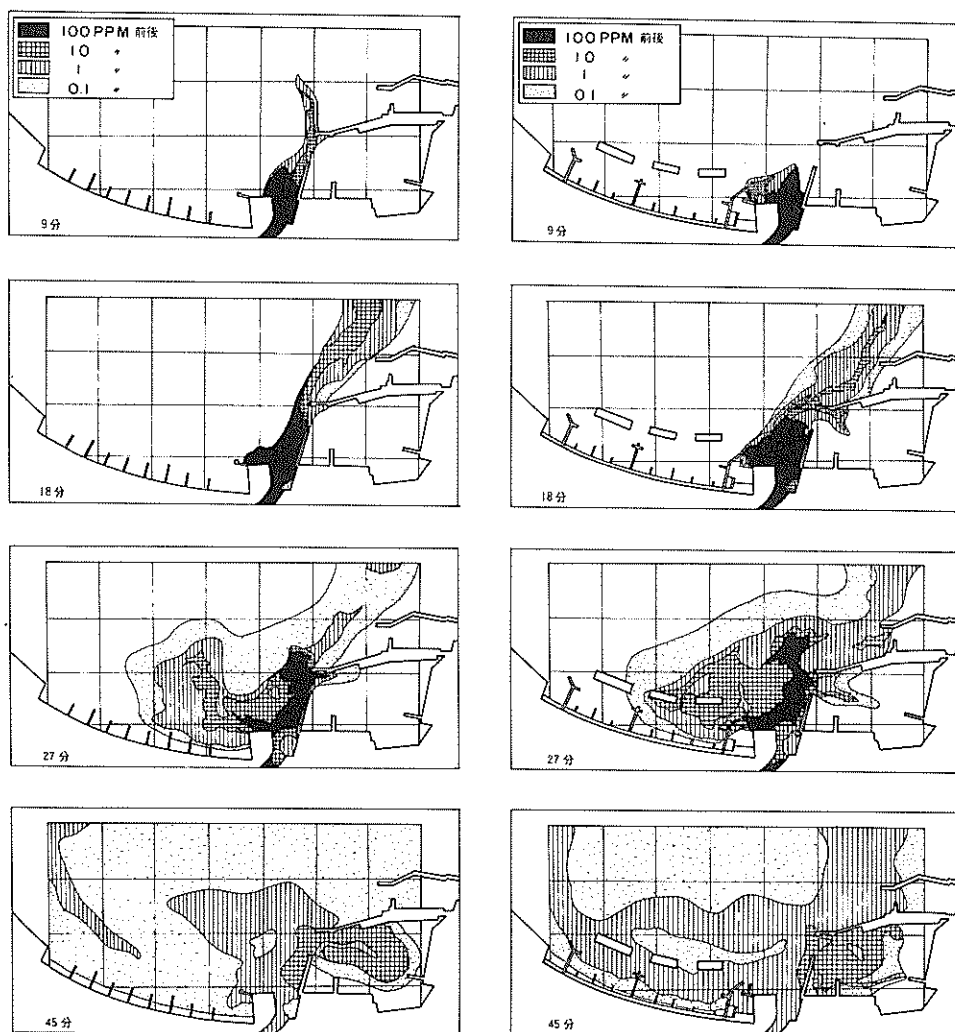


図-4.8 現況および計画における濃度分布の時間変化

5. 結 論

この実験は、伊東海岸におけるレクリエーション海浜造成に伴う海岸構造物の適切な配置計画を決定する目的で、離岸堤内の海底地形変化および水質汚濁防止に主眼をおいた。したがって、実験に使用した模型も漂砂実験では離岸堤設置付近から前浜を主体に製作し、潮流拡散では沖側の流況も再現できるような範囲を取り入れた。まず、漂砂実験では現地の長期的な海底地形変化をできるだけ模型上に再現するため、予備実験を通してその変化が再現できるような波浪を捜し求めた。その結果は、

波高3 cm, 周期1 sの実験波を30分間作用させることにより、現地のはほぼ2～3年の地形変化を再現することができた。一方、海水交換実験では現地の現象に近づけるため、潮汐の干満に伴なう潮流変動に加えて夏期の条件に対応するように比較的小さなうねりも取り入れた。

漂砂の実験では、各構造物の配置に対して120分間波を作用させたので得られた地形は単純な計算では8～12年後の地形を示すことになる。しかし、模型実験などにおいては一般に波の作用始めには、海底地形は急速に変化し、時間の経過とともにその変化がゆるやかになる。したがって、120分後に得られた海底地形変化は、8～12年より短い時間後の変化に相当するであろう。また、

現状においては本実験のように、一時に構造物を建設することも、一時に養浜を行うこともない。したがって、模型実験で波作用120分後に得られた海底地形は、養浜完成後数年のほぼ安定した海底地形に相当する程度に考えてよいであろう。また、実験では荒天時に相当する一定の波を長時間作用させているので、海底地形変化のコントラストすなわち、侵食とかたい積の程度が現地よりも強調して再現されたものと思われる。

海水交換実験においては、現地の流れが弱く、完全に現地流況を再現したとは言いがたいが、ほぼその特徴は捉えたと思われる。その上、この実験では汚濁濃度の値そのものを求めることを目的としたのではなく、現況と計画地形の比較を目的としたので、その意味で両者の相対比較の結果は現地に適用できると考えてよいであろう。

ともかく、上述した実験結果から推奨すべき構造物の配置を図-5・1に示す。この配置は実験ケース7とはほとんど同じである。

以下、各部についてその機能および構造形式などについて述べると次のようである。

1) 離岸堤 離岸堤3基中、西側の長さ150mのものは現在建設中である。この構造物は異型ブロックで法面被覆された捨石堤で、波や流れに対してほとんど不透過に近い構造となっている。その天端高はD.L.+3.0mである。現在すでに、この離岸堤によってトンボロ効果が現われ、背後のてい線が前進している。他の離岸堤2基は、それぞれ長さ100mで開口幅は70mとする。海水浴場としての利用上の観点から言えば、天端高は海水浴客が砂浜に腰を下したときに、離岸堤を越して海がみえる程度すなわち、D.L.+3.0mより幾分低い方が望ましい。

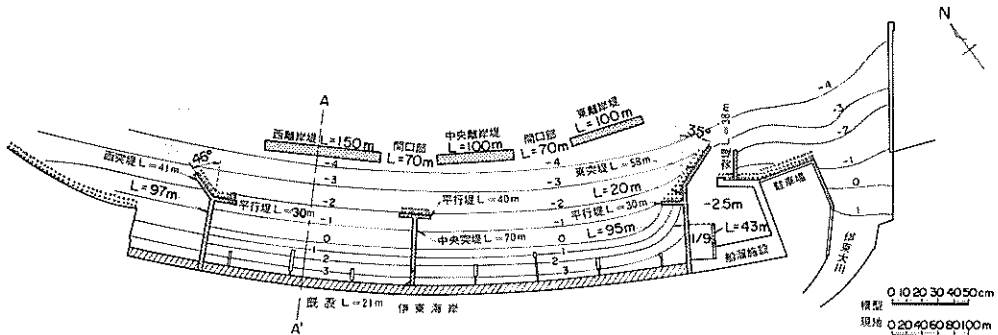


図-5・1 伊東海岸における構造物配置(案)

その方が、海水浴客に対して圧迫感を与えない。また、構造としては現在建設中の西離岸堤より、幾分透過性をもたせた方法が良い。それは、堤内の海水交換をよくするためと、背後に発生するトンボロ現象をやわらげるためである。しかし、これら離岸堤構造については単に、上述の海水浴場としての観点のみならず、来襲する波浪に対する背後海浜の防護という観点からも検討されねばならない。

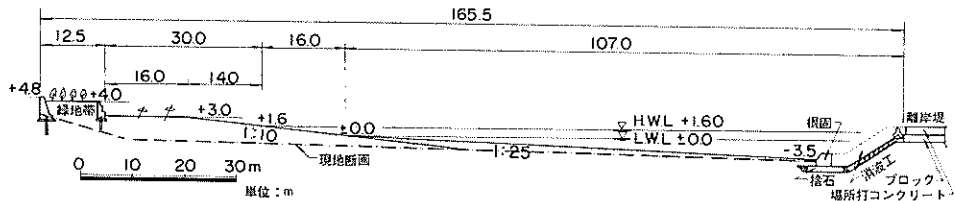
2) 西突堤 西突堤はその西側に船揚げ用斜路が現存していることと、海浜に潮流が十分流れ込むように先端を西側に曲げてある。また平行堤は、この突堤基部付近の海浜の侵食を防止するためである。その長さは、図-3・29などからみて少し長く30mぐらいとする。さらに、その先端部の消波工は、その部分の基礎洗掘を防止するとともに、これに沿って侵入する波を減殺するためである。天端高は±0mの等深線以高は+4.0~+3.0mとし、それ以下は次第に下げ先端部は+2.5mとする。

構造は完全不透過とする。

3) 中突堤 これは、海浜の砂がてい線に沿って一方に片寄ることを防ぐために設けてある。先端の平行堤部分はこの突堤基部の前浜の侵食を防止するためであり、その前面の消波工はこの平行堤の基礎洗掘を防止するためである。天端は基部から20mまでは+3.5~+3.0mとし、それから次第に低くし、先端部分は+2.0mとする。構造は完全不透過とする。

4) 東突堤 これは、その東側の船だまりの防波堤も兼ねるので、平行堤部分近くまで+4.0m~+3.5m先端部は+2.5mとする。平行堤部は、てい線をこの部分まで弯曲させるためと、その波による前浜部の侵食を防ぐためである。先端部消波堤もその部分の基礎洗掘防止と、反射波の発生を防ぐためである。この構造も勿論完全不透過である。

5) 養浜断面 代表養浜断面として西離岸堤背後の断面を図-5・2に示す。緑地帯部の高さ+4.0mから階



図一5・2 伊東海岸における海浜断面(案)(図一5・1のA-A'断面)

段護岸によって+3.0mの浜に下りる。この部分の長さを約160mとり、それから±0mまで1/10のこう配とした。そうして1/25のこう配が離岸堤まで続く。この海底こう配は、海水浴場としては少し急であるがほぼ現況と同じである。しかしながら、実験からも知れるように、波が作用するとこのように海底形状は変化する。そのとき、てい線や-1m線が異常に前進して海水浴水面が減少すると重大である。本海岸は前面が急であり、また伊東大川の排出土砂も少ない。したがって、離岸堤建設によって堤外からの漂砂の持ち込みはほとんどないであろう。そのため、堤内に養浜する砂の量が過多にならないように注意すればてい線の異状な前進は防ぐことができる。このため図一5・2において、まず±0mより沖側も1/10のこう配でそのまま延長した形で養浜を行い、2年位経過後に補足養浜を行うようにすべきである。

本実験においては、離岸堤内全域にわたって±3~4mまで1/20~1/25のこう配で養浜してしまったので養浜砂量が過多であったと思われる。特に、離岸堤の開口部付近の砂が洗掘され、それが離岸堤の背後にたい積している。したがって、この開口部近くは養浜砂量を少なくする必要があるように思われる。いづれにしても、一気に計画のすべてを養浜せず、まずその一部を養浜した後、養浜形状の変化をみながら補足して行くことが大切である。また、模型実験は一定の波で行っているので、海底地形変化は、実際より強調されて現われたことも確かである。

6) 船だまり内の埋設 船だまり港口の埋没を完全に防止することは困難であり、何年かに一度は港口しゅんせつを必要とするであろう。海水浴場部分の海水交換の観点上図示以上には、港口を沖側に延長することは困難であるので、この程度の維持しゅんせつは止むを得ない。港口の突堤、は言うまでもなく完全不透過堤であり、天端高は+2.5mとする。

最後に、本実験を行うにあたっては、静岡県熱海土木事務所および伊東市役所土木部から現地観測資料をいただくとともに種々の御協力をいただいた。また、静岡県港湾課および第五港湾建設局の御協力も得た。ここに関係各位に対して厚く御礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 佐藤昭二・合田良実：海岸・港湾(わかりやすい土木講座17), 彰国社, 1976年, pp. 156~160
- 2) 佐藤昭二・加藤 始・木村久雄・高松恭文：須磨レクリエーション海浜における突堤・離岸堤の海水交換に与える影響, 港湾技術研究所資料, No. 243, 1976年9月
- 3) 佐藤昭二・木村久雄・高松恭文：合浦レクリエーション海浜の海水循環促進による汚濁対策について, 港湾技術研究所資料, No. 244, 1976年9月
- 4) 佐藤昭二・木村久雄・高松恭文：レクリエーション海浜における突堤・離岸堤の汚濁拡散に対する影響, 港湾技術研究所報告, 第16巻第2号, 1977年6月

港 湾 技 研 資 料 No. 318

1 9 7 9 · 6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所
 横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 日青工業株式会社

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