

# 港湾技研資料

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

No. 106    Sept. 1970

須磨海岸の漂砂に関する模型実験

..... 佐藤 昭二  
          入江 功  
          天坂 三 明

運輸省港湾技術研究所



# 須磨海岸の漂砂に関する模型実験

佐藤 昭 二\*  
入江 功\*\*  
天坂 三 明\*\*\*

## 要 旨

近年浸食されつゝある須磨海岸について、模型再現性を調べるための現況実験、およびそこが養浜されたときの養浜土砂維持に関する模型実験を行った。まず、須磨海岸の移動床模型を水平縮尺 1/100、鉛直縮尺 1/50 で平面水槽内につくり、現地で行なわれた漂砂観測資料をもとにして、模型の漂砂に関する再現性をしらべてみた。

さらに、この浸食性の海岸が養浜されたとき、養浜により置かれた砂を効果的に保持する工法を、模型浜に突堤、T字型堤、離岸堤を設置することにより、実験的に検討してみた。

---

\* 水工部 漂砂研究室長

\*\* 水工部 養浜主任研究官

\*\*\* 水工部 漂砂研究室

MODEL EXPERIMENTS ON LITTORAL DRIFT OF SUMA BEACH

Shoji SATO\*  
Isao IRIE\*\*  
Mitsuaki TENSAKA\*\*\*

Synopsis

Model experiments on littoral drift of the Suma Beach being eroded recently were performed to confirm the similitude with respect to littoral drift and to know the shore protection works which will effectively retain sand abandoned on the beach for beach filling: A model of the Suma Beach, 1/100 in horizontal and 1/50 in vertical was made in a model basin and field data on littoral drift were utilized to confirm the similitude of the model. Further, model experiments were performed to know the protection works which will effectively retain sand filled on the beach even under the stormy waves by constructing different kinds of structures such as groins, T-groins and offshore breakwaters.

---

\* Chief of Sand Drift Laboratory, Hydraulics Division  
\*\* Senior Research Engineer, Hydraulics Division  
\*\*\* Members of Sand Drift Laboratory, Hydraulics Division

# 須磨海岸の漂砂に関する模型実験

## 目 次

1. はしがき .....	1
2. 実験施設および測定方法 .....	1
(1) 実験施設 .....	1
(2) 測定装置および方法 .....	2
3. 実験条件選定のための予備実験 .....	2
(1) 現地海岸の自然条件 .....	3
(2) 実験条件の選定における考え方 .....	6
(3) 波の周期の決定のための予備実験 .....	7
4. 模型再現性検討のための現況実験と時間縮尺の推定 .....	10
(1) 模型再現性検討のための現況実験 .....	10
(2) 海浜変形に対する時間縮尺 .....	18
5. 養浜浸食防止実験 .....	21
1) 須磨海岸の養浜計画 .....	21
2) 実験の方法と種類 .....	22
3) 実験結果 .....	24
(1) 連続補給養浜(ケース1) .....	24
(2) 限定養浜(ケース2) .....	25
(3) 復旧養浜(ケース3) .....	26
(4) 突堤施工(ケース4) .....	27
(5) 突堤嵩上げ施工(ケース5) .....	28
(6) 中間突堤施工(ケース6) .....	29
(7) T字型突堤施工(ケース7) .....	30
(8) 広幅T字型突堤施工(ケース8) .....	31
(9) 高天端離岸堤施工(ケース9) .....	33
(10) 中天端高離岸堤施工(ケース10) .....	34
4) 各ケースの比較検討 .....	35
6. あとがき .....	37

# 須磨海岸の漂砂に関する模型実験

## 1. はしがき

阪神間唯一の自然海岸として貴重がられている須磨海岸は、近年浸食傾向が著しくなり、台風時には越波による浸水、海岸構造物の洗掘沈下などの被害がでるようになった。そこで、これらの被害を防止するとともに、この海岸の利用価値を積極的に向上させる目的で、同海岸の養浜工が計画されている。著者らは、そのような人工海浜の浸食防止工法を実験的に検討する目的で、まず現在の須磨海岸を模型水槽内につくり、現地で行われた漂砂観測とまったく同様の観測を模型海浜についても行って、両者のデータの比較から通常の高潮時に対する模型の再現性について検討した。その結果、模型内には、現地の現象が比較的良く再現

されていることがわかった。つきに、養浜によりできた人工海浜を模型内につくり、種々の浸食防止工法を施して暴風時に相当する波を一定時間作用させ、人工海浜の浸食状況の比較から浸食防止工法の優劣について検討した。

## 2. 実験施設および測定方法

### (1) 実験施設

実験には、運輸省港湾技術研究所内の縦30m、横50m、深さ80cmの漂砂実験用平面水槽を用いた。この水槽の中に、図-1に示すように、現地深淺図にあわせて平均粒径約0.22mmの実験砂を敷きならして模型浜をつくり、それより陸側に相当する場所には、高さ60cmのプラットフォーム

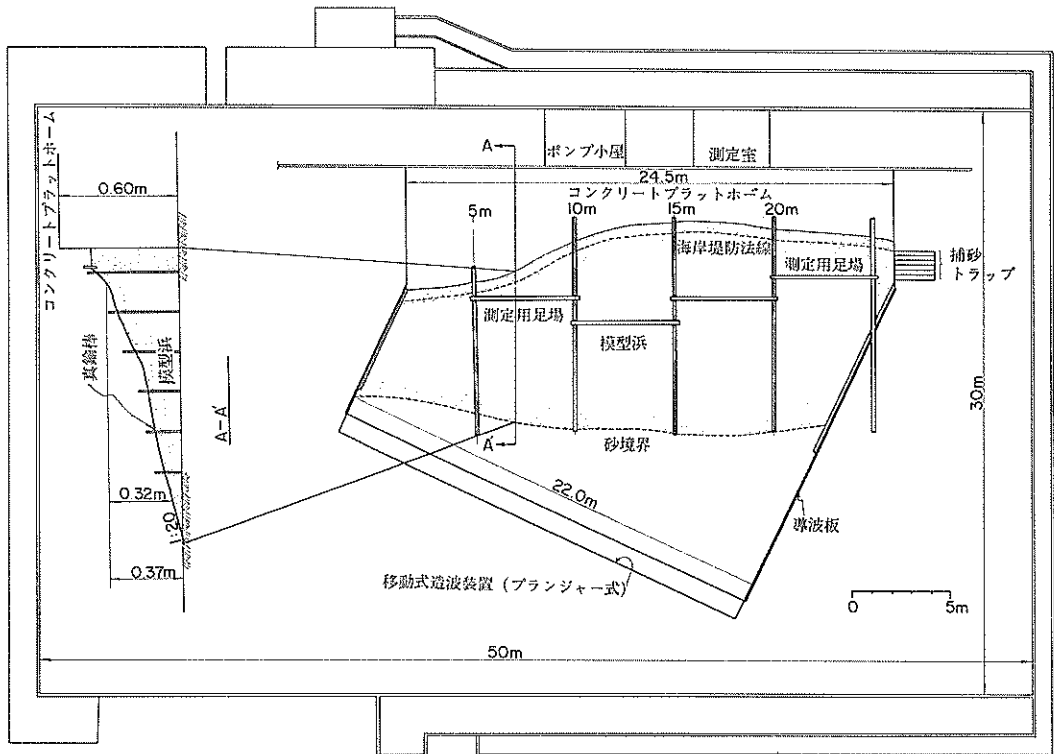


図-1 実験施設の一般図

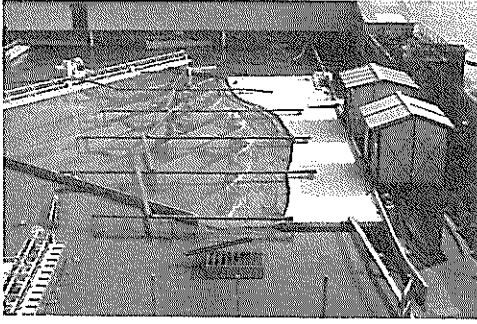


写真-1 実験施設と模型浜

ームを、モルタル仕上げにてつくった。模型浜には、50 cm ~ 1 mの間隔でφ6mmの真鍮棒を立て、各地点での海底高の位置に目印をつけて、海底地形復旧作業が容易となるようにした。造波装置は、15馬力の駆動部よりなるプランジャー式で、造波板の全幅は22 mである。発生波の周期は、モーターに直結された無段変速バイエルにより、0.6 ~ 2.4 sec. まで変えることができ、波高は最大20 cmまで出すことができる。

図-2は、実験砂の粒度曲線を示し、平均径は0.22 mmである。

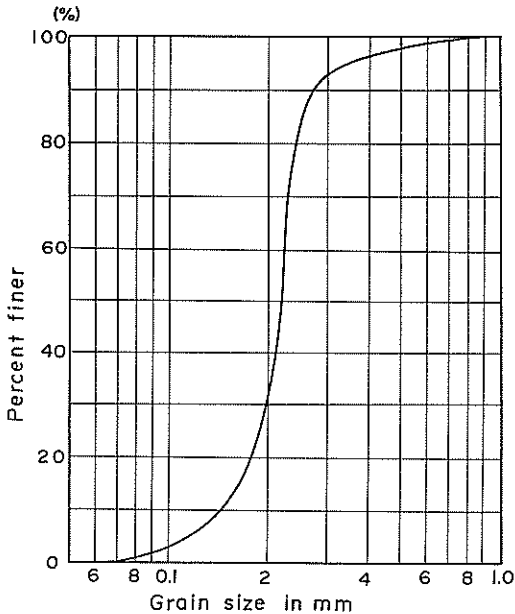


図-2 実験砂の粒度曲線

(2) 測定装置と方法

<波高>

実験波高の決定など、比較的精密な測定が必要なときは、

抵抗線式波高計3台を水槽の一樣水深部に5 mはなして設置し、ペン書きオシログラフに記録した。しかし、波高平面分布を測るときは、もっぱら物差によった。

<海底地形>

模型海浜の地形測量には、水準測量用レベルと専用スタッフを用いた。専用スタッフは、φ2 cm長さ2 mの真鍮パイプの測面に目盛尺をつけ、下端に、砂面に貫入するのを防ぐために3 cm×3 cmの板を取りつけたものである。

<沿岸流>

直径約1 cmのプラスチック球に海水を注入し、その比重を水より少し大きくして砕波帯内に落とし、それが1 m移動したときの時間を測ることにより、流速を測った。またフロートが1 m移動するのに30秒以上かかったときは、30秒間の移動距離を測ることによった。

<沿岸漂砂量>

図-1に示すように、模型浜の下端を銅板で20 cm間隔に区切ったトラップをつくり、それぞれの区間に落ち込んだ砂をポンプにより半切りのドラム缶に移し、容積を測って求めた。

<浮遊砂分布>

本実験に用いた浮遊砂測定装置を、図-3に示す。内径

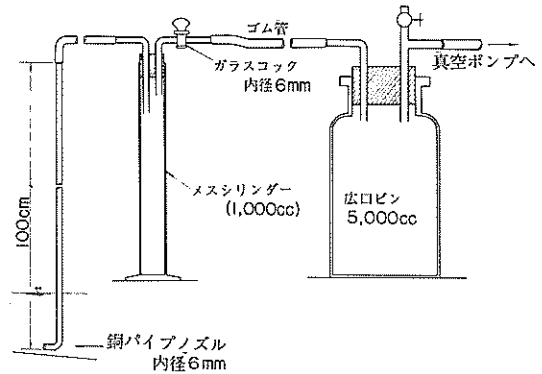


図-3 浮遊砂測定装置

6 mmの銅パイプノズル先端を海底からの所定の高さにおき、真空ポンプを(1/4馬力、450 r.p.m.、真空度 $5 \times 10^{-2}$ 、排気量20 CC)作動させて内部を約700 mmHgに減圧すると、浮遊砂を含んだ水が容積1,000 CCのメスシリンダー内に入る。その水量を直接読みとり、メスシリンダーの底に沈んだ砂の容積を計量用ビーカーに移して測り、浮遊砂濃度を求めた。

3. 実験条件選定のための予備実験

実験を行うには、まず模型の幾何学的縮尺や、模型水槽

内での波の諸元を定めねばならないが、移動床模型実験に対する相似則は、現在ではまだ確立されていない。そこで通常この種の実験は、現地と模型での漂砂現象ができるだけ相似となるように試行的手法により模型縮尺や幾何学的条件を定める。そのためには、漂砂に關係する現地での自然条件について知る必要がある。

(1) 現地海岸の自然条件

< 風 >

風の観測は、昭和43年7月から昭和44年6月にかけて須磨棧橋上の自記風向風速計によって行われた。図-4は、

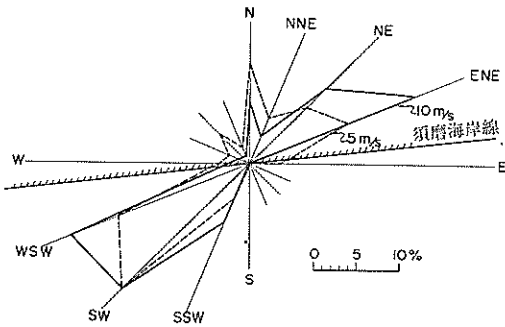


図-4 須磨海岸における風の方角別頻度図

その結果から風向別に、5 m/sec、および10 m/secの風についての頻度を図化したものである。これによれば、須磨海岸では、SSW~WSW、あるいは、NE~ENEの風が支配的であり、風速が大きいかほどこの傾向が強いことがわかる。これらのうち、海風は、WSW~SSWの風であるが、そのうち頻度が著しいのは、WSW~SWである。この方向の風速5.0 m/sec以上の風について、各月の観測回数を、図-5に示す。この図より、風速5.0 m/secの風は、春から夏にかけて多いことがわかる。

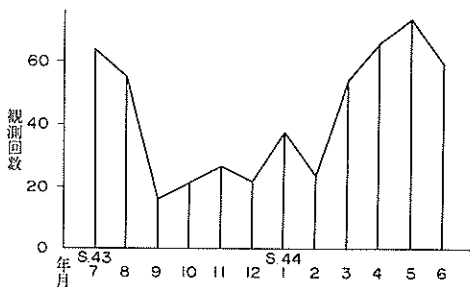


図-5 風向SSWまたはWSW、風速5.0 m/sec以上の月別観測回数

< 波 >

神戸市西部第2区において、超音波式波高計による観測

が、昭和43年6月~昭和44年3月にかけて行なわれ、また波浪目視観測が、須磨区一の谷において、昭和43年11月~昭和44年10月にかけて行なわれた。図-6、図-7は、これらの観測結果から、2時間おきの最大波の波高、周期の未超過確率を求めたものである。図のように、50%の波浪が30 cm以下で1 mを越える波の発生確率はほぼ1%である。年に1~2回起る程度の時化の波はH<sub>1/3</sub>で1.5 m

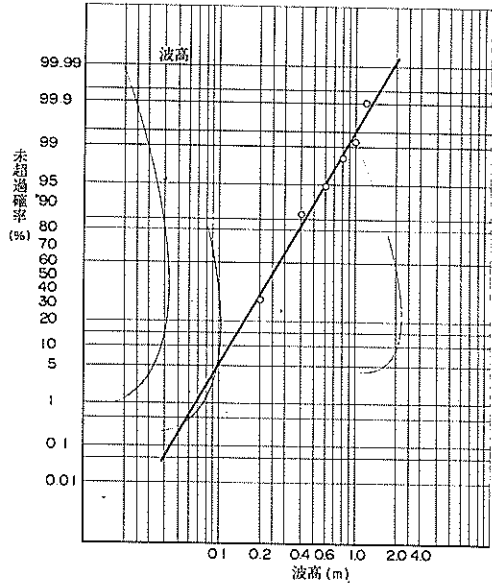


図-6 須磨海岸における波高の未超過確率

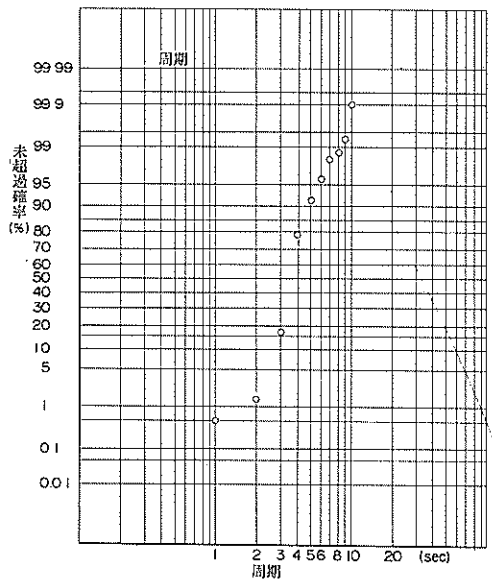


図-7 須磨海岸における周期の未超過確率

表-1 異常台風時における須磨海岸での海象

台風名	年月日	潮位 (cm)	最大 偏差 (cm)	波の 方向	H $\frac{1}{2}$ (m)	T $\frac{1}{2}$ (m)
枕崎台風	20. 9. 18	245	148			
シエーン "	25. 9. 3	287	147			
ルース "	26. 10. 15	244				
洞爺丸15号 "	29. 9. 25		122			
第2室戸 "	36. 9. 16	315	193			
64'20号 "	39. 9. 25	295	168	S	3.60	7.10
				SSW	4.05	7.40
65'23号 "	40. 9. 10	251	190	S	4.00	7.40
				SSW	4.75	7.90

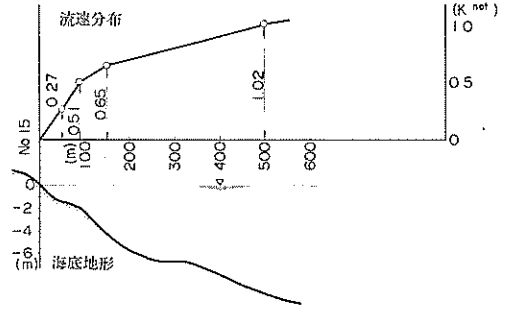


図-9 汀線に直角方向の沿岸流速分布 (昭和43年11月22日観測結果より)

程度であり、通常時には静穏な海岸といえる。しかし、表-1に示したように異常台風時には3m以上の大きな波が来襲している。すなわち、須磨海岸の海浜変形は、頻度は少いとはいえ、台風時のそれに留意する必要があることがわかる。波高が0.5m以上の波の各月毎の観測回数を図示すると、図-8のようになる。大きな波の観測回数は、春から夏にかけて多いが、この分布は、図-5のSW~WSW

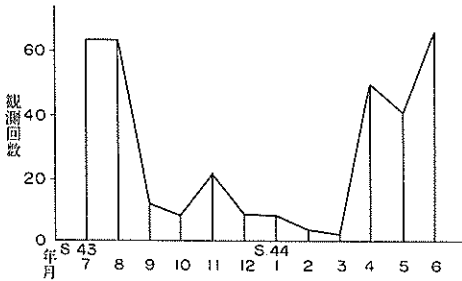


図-8 Hmax 0.5m以上の波高の月別観測回数

からの風速5m以上の風の各月の観測回数の分布とよく似ている。このことより、須磨海岸での大きな波は、主として台風などによる風波であり、その波向きは、主としてSW~WSWであることがわかる。

<流れ>

浮子追跡による流況調査が、昭和43年10月から、昭和44年1月にかけて行われ、また染料追跡が、昭和44年5月から6月に行われた。図-9は43年11月22日の浮子観測データから、汀線に直角方向の沿岸流速分布を求めたものである。これによれば、沖では1ノットの流速があるが、岸に近づくにつれて流速は減少している。このことは、観測された流れが潮流によるものであることを示す。なぜなら、波による沿岸流は、砕波帯内にて流速が大きいからである。そのような沿岸流が観測されなかったのは、流況観測時の波が小さかったからである。漂砂は、水深が減少するほど

激しくなるが、一方、潮流は、水深が浅くなるにつれて減少し、しかも東流と西流がほぼ規則的に起こるので、正味の砂移動にはあまり影響しないと考えてよいであろう。すなわち、この海岸では沿岸漂砂は、平均的な来襲方向が海岸線に直角でなく、どちらかへ片寄せた波によって支配されると考えてよい。

<海底地形>

図-10は、昭和44年6月に測量された須磨海岸の深淺図である。図のように、海岸線が、須磨浦公園(図の測点No.62附近)から東へかけて陸側へ大きく屈曲しているのが特徴的で、西側では海底勾配が比較的急であるが、東側へ移るにつれ勾配は緩やかになっている。このため西側海岸では波の当たりもつよく、テトラポットや張り石等の消波工が施工されているが、陸側へ入りこんだ東側海岸は、単調な砂浜となっている。この砂浜海岸の海底地形の特徴は、水深-6mまでは1/20~1/30と海底勾配が比較的急であるが、それ以深は~1/80と緩やかになっている。

須磨海岸の海底地形には、長期的な部分的変動がある。図-11は昭和42年7月測量の深淺図と、昭和44年6月のそれとを比較し、浸食、堆積等の海底変動が特に著しかった所を図示したものである。波のあたりが強い東側海岸では浸食の傾向にあるが、陸側に凹んだ所(No.53附近)では、堆積性である。また、それより西側では、浸食と堆積が交互に現われるが、どちらかといえば浸食の傾向が強い。

<底質>

図-12は、須磨海岸の前浜から沖浜へかけての底質の平均粒径、フルイ分け係数の変化を示したものである。どの断面の場合をみても汀線付近から、水深-0.5~-1mにかけては、底質の平均粒径、フルイ分け係数、ともに大きい。それ以深では、両者とも小さくほぼ一様となっている。これらの底質特性の海浜断面方向の変化は、波によるフルイ分け作用によることはいうまでもないが、同時に、通常の顕著な漂砂移動帯が汀線から水深-0.5~-1.0m



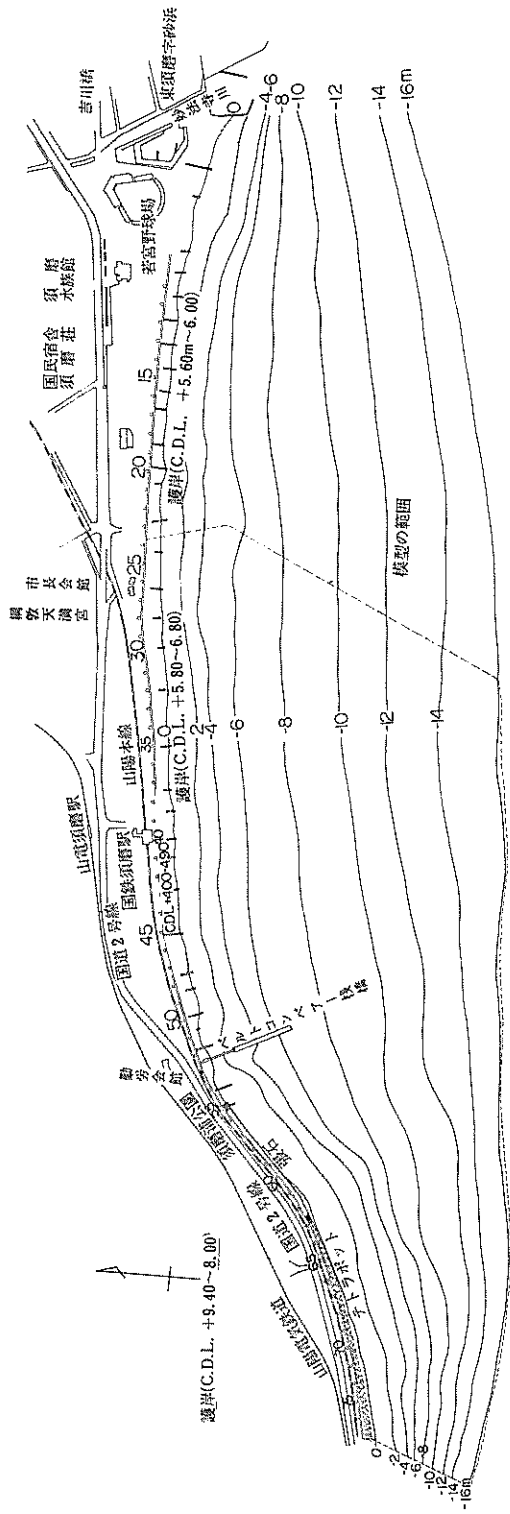


図-10 須磨海岸の深浅図(昭和44年6月)

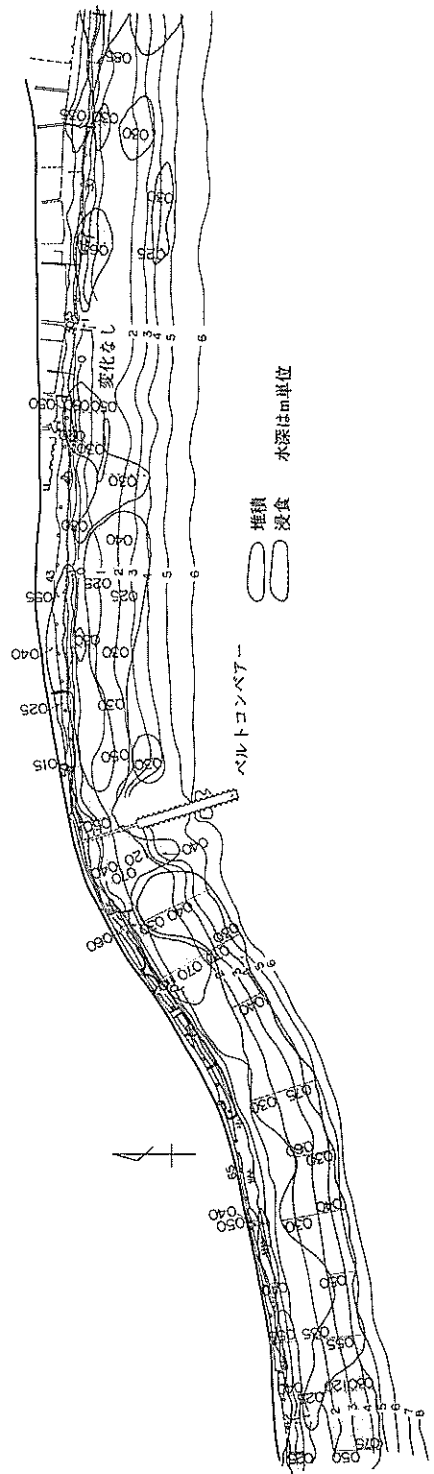


図-11 侵食堆積平面図(昭和42年7月~昭和44年6月)

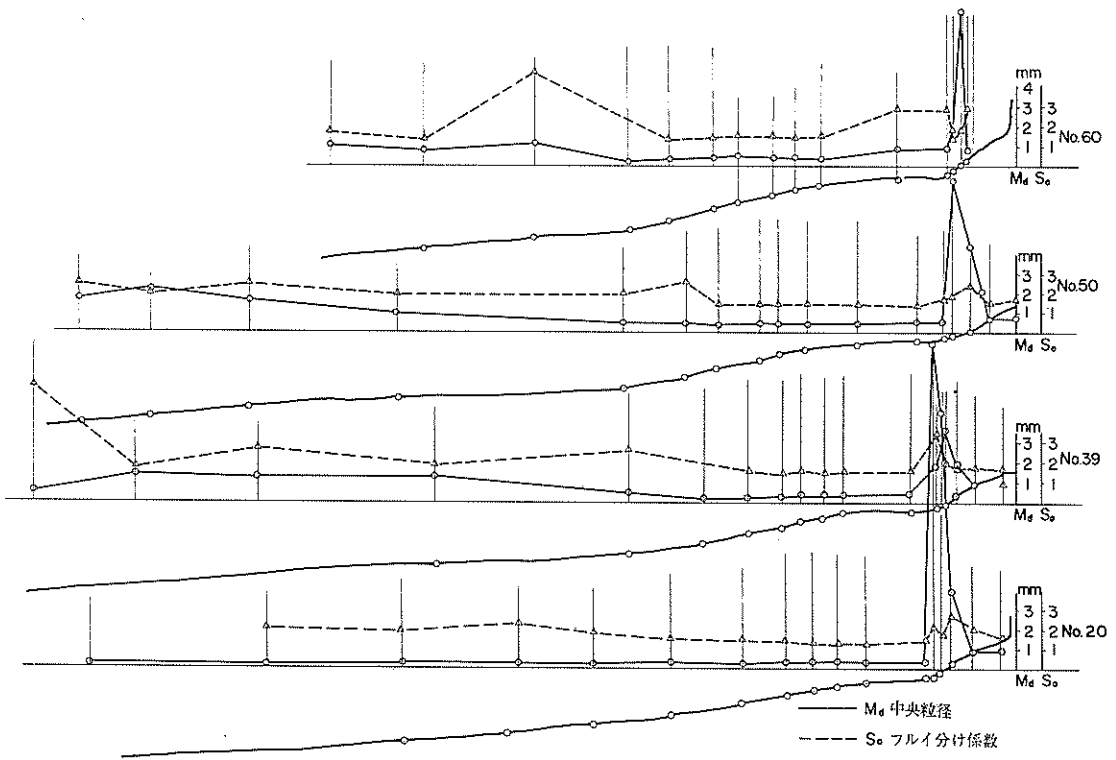


図-12 須磨海岸の底質特性 (昭和44年3月5日)

までの間であるものと推定される。

## (2) 実験条件の選定における考え方

海底が移動床のときの模型実験に対する相似則が見出されていない現段階では、現地での現象ができるだけ忠実に模型内に再現できるような諸条件を決定せねばならない。本実験では次のように諸条件を定めた。

### <水平縮尺>

これは、現地における実験対象範囲と模型水槽の大きさから、自然に定まるものである。実験対象範囲は、図-10の点線で囲まれた範囲で、結局水平縮尺は1/100とした。

### <模型の歪み>

模型の歪みは模型の底質として砂を用いる限り、避けられぬものである。著者らの経験によれば、水平縮尺が大きいほど歪みは少なくてよいのである。この歪みは、試行的に実験をくり返して求めらるべきものであるが、この実験では歪みについて十分検討できなかった。そこでこの実験では、一応、歪みが2、すなわち、鉛直縮尺1/50とした。

### <波高の選定>

現地での波高は、時間的、季節的に常に変化するので

あるのに対し、模型内での波高は単一のものである。そこで、現地の波を、どの程度の波高で代表させるかが問題となる。図-6の波高の未超過確率図によれば、通常の波高は非常に小さい。しかし海浜変形に支配的なのは、時化の波であることを考えると、現況に対する模型実験のために選定すべき現地の対象波としては、通常時化の波をとることが適当と思われる。これは前述したようにH<sub>1/2</sub>=1.5m程度である。しかし模型底質が砂であるので、その移動を多少大きくするために、それより少し大きい波すなわち波高2mを対象波とした。これは鉛直縮尺が1/50であるから模型波高4cmとなる。

### <波向きを選定>

現地海岸に打ち寄せる波の波向きもまた、時間的、季節的に変化するものであるが、模型波の波向きは、実際の技術上、単一方向にしぼらざるを得ない。前に述べたように、須磨海岸での卓越波向きは、WSW~SWである。しかし、これらの波向きでは海岸線に対して極端な斜入射となり、激しい砂移動のための模型浜の変形が急激すぎると考えられたので、模型波の波向きは、SSWとした。

<潮位>

模型水槽内に特殊な設備がない限り、潮位変化まで再現することはできない。しかし、深砂は長期的なものであるから、平均潮位+1mに水位を固定して実験を行なって差支えないであろう。そこで、模型内での潮位は+2cmとした。

<波の周期の選定>

最後に残されたのは、波の周期の選定である。波の周期は、直接波の波形勾配に密接な関係があり、海浜形状の変化に微妙に影響するものである。移動床実験では、現地と模型のスケールの相異にもとづく縮尺効果が必ずあるわけであるが、この欠陥を、波の周期を適当に選定することで克服できるのではないと思われる。すなわち、今までに

選定された条件のもとで、波の周期をいくつか変えて実験を行ない、現地における長期的海浜変形を最もよく模型内に再現する波の周期を選定するのである。つぎに、このための予備実験と結果について述べる。

(3) 波の周期決定のための予備実験

予備実験の条件は、表-2に示す通りである。波高4cmとし、周期を0.85、1.13、1.14 secと変化させ、図-1に示す、5測線について断面測線について断面測定を行うとともに、汀線の変化も測定した。波の作用時間は、全部で4時間とし、波を作用している間、模型浜上手が著るしく浸食されないように砂を補給した。その補給量は、5分間に1リットルの割合であった。図-13は、この断面

表-2 予備実験の条件

波 高	周 期	潮 位	鉛 直 縮 尺	水 平 縮 尺
4 cm ( 2 m )	$\left\{ \begin{array}{l} 0.85 \text{ sec ( 6 \text{ sec} )} \\ 1.13 \text{ " ( 8 \text{ " } )} \\ 1.41 \text{ " ( 10 \text{ " } )} \end{array} \right\}$	+ 2 cm ( + 1 m )	1/50	1/100

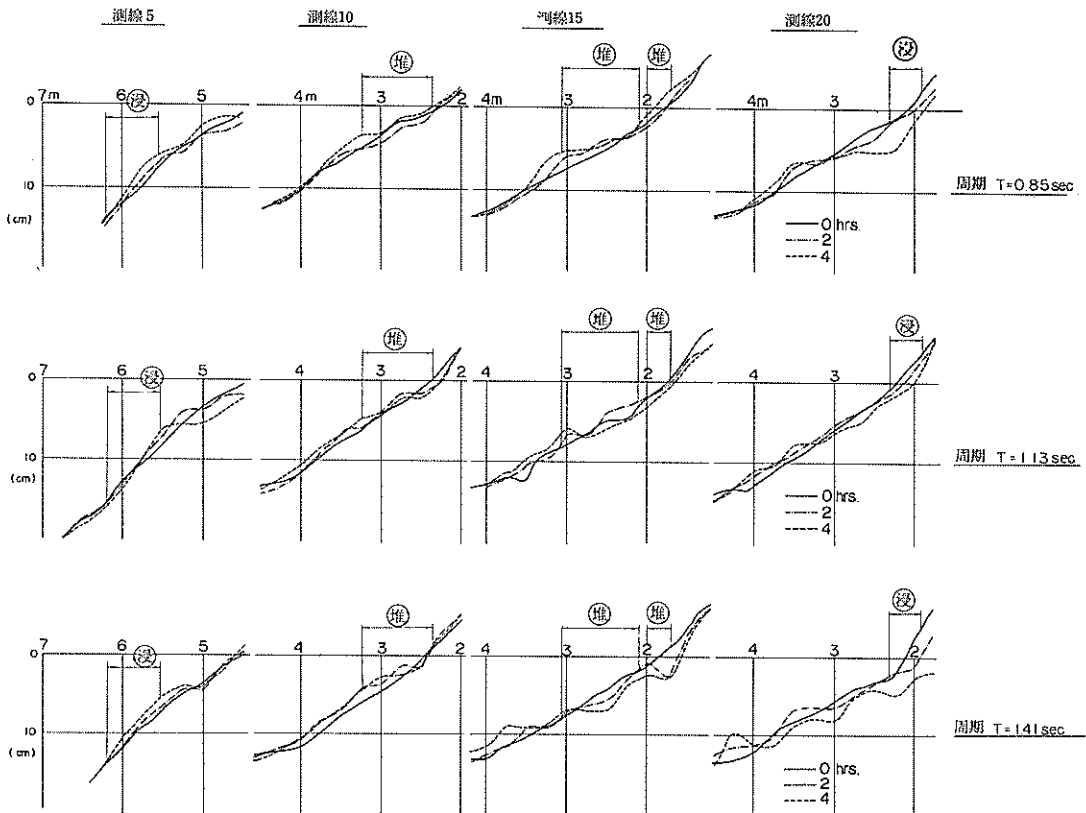


図-13 各周期の場合の断面変化

変化を示したもので、図中には、図-11の現地における長期的浸食堆積図からとられた浸食、堆積の場所を示しておいた。また図-14は、汀線変化の実験結果であり、図-15は、現地観測による汀線変化図である。これら図-14, 15を見て云えることは、

- ①  $T = 0.85$  秒の場合、断面変化の傾向は、現地にほぼ近いと思われるが、汀線変化図を現地観測と比較してみると、全体的に欠壊の傾向が強い。
- ②  $T = 1.13$  秒の場合、断面変化の傾向は、現地に近い。汀線変化も、測点52付近の堆積、それより東側の欠壊等比較的現地を再現している。

- ③  $T = 1.41$  秒の場合、断面では、西側の堆積が著しく、また東側での欠壊も著しい。すなわち、西側からや、中央にかけて堆積した砂州が、砂の西方への移動を阻止するようと思われる。汀線変化では、52付近の堆積はうまく出ているが、それより西での欠壊の傾向がうまく再現されていない。

以上から、 $T = 1.13$  秒の場合が最も再現性がよいと思われるが、この場合でも、西側海岸での欠壊傾向が少し強いと思われたので、少し周期を長くとり、結局  $T = 1.2$  秒と決定した。

本実験における波の各周期の場合について、砕波帯にお

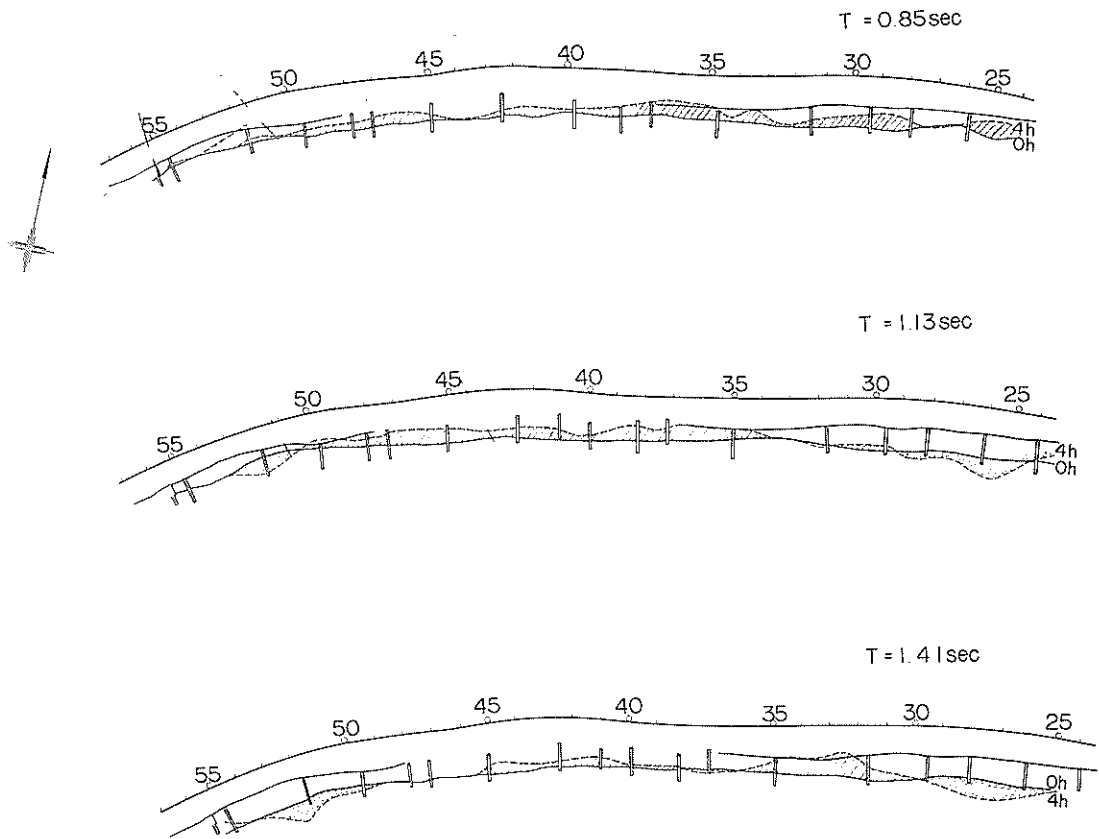


図-14 模型内での汀線変化

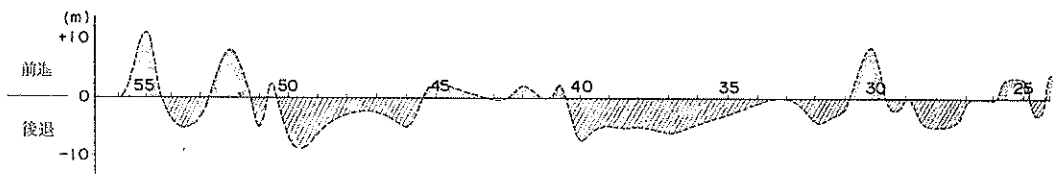


図-15 現地での汀線変化

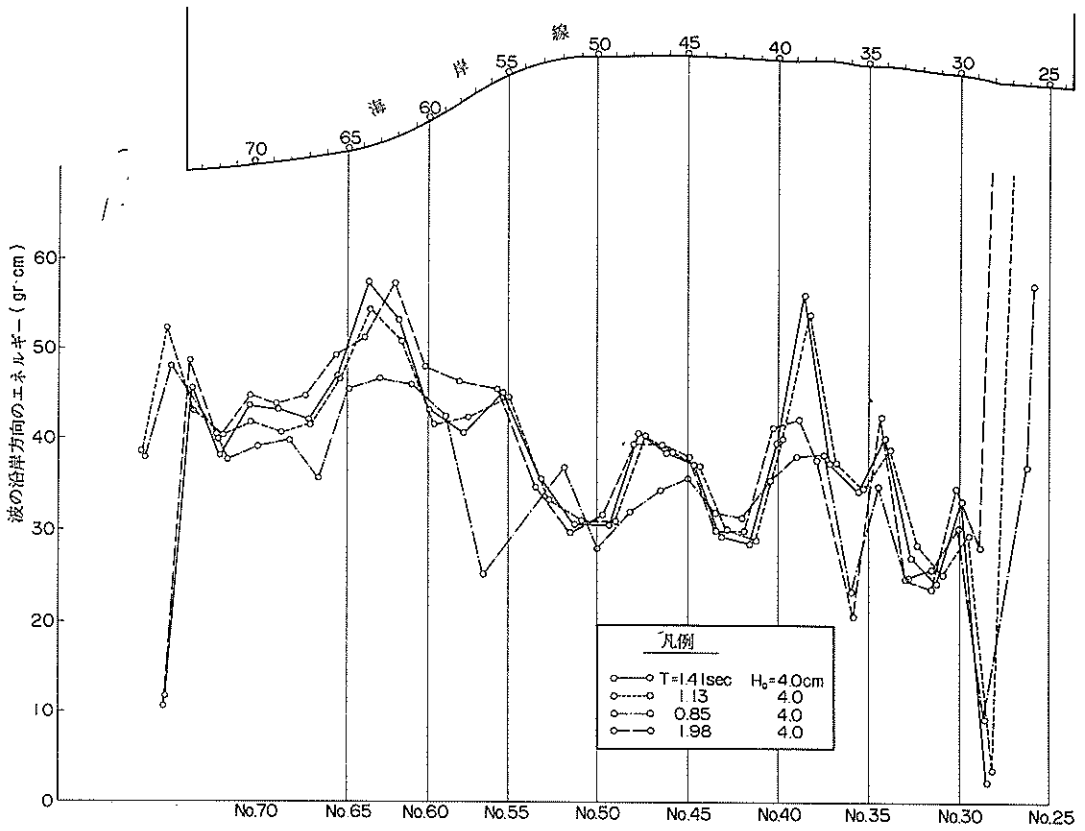


図-16 電子計算機による沿岸方向の波のエネルギー分布計算結果

ける沿岸方向の波のエネルギーを、波峯線法を用いて電子計算機により計算した。図-16は、その結果をプロットしたものである。これによれば、測点No.70~63にかけて、沿岸方向の波のエネルギーは増加しているが、測点No.63~53にかけては、急速に減少している。これは、No.63~53の領域が堆積性であることを示すものであるが、模型内の汀線変化を示す図-14にもこのことが明瞭にみられる。図-16において、測点No.50~No.25までの間で、沿岸方向エネルギーが周期的に変化しているが、この事実は、図-14において浸食、堆積が交互にみられたことを裏付けているようである。図-1に示したように、模型浜の下流端に捕砂トラップを設置して漂砂量を測定したが、その結果を図-17に示す。波高4cmに対して周期を0.85~1.41 secまで三段階に変化させたが、周期の変化による沿岸漂砂量の分布の相違が明瞭にみられる。周期の長い $T=1.41$  secの場合、汀線より岸側での漂砂量が多いが、周期 $T=1.13$  sec~0.85と短くなるにつれ、汀線より少し沖側の方が多くなっている。図-12の須磨海岸の底質特性を考えあわせると、この図からも波の周期1.2秒の選定は、妥当のように思われる。

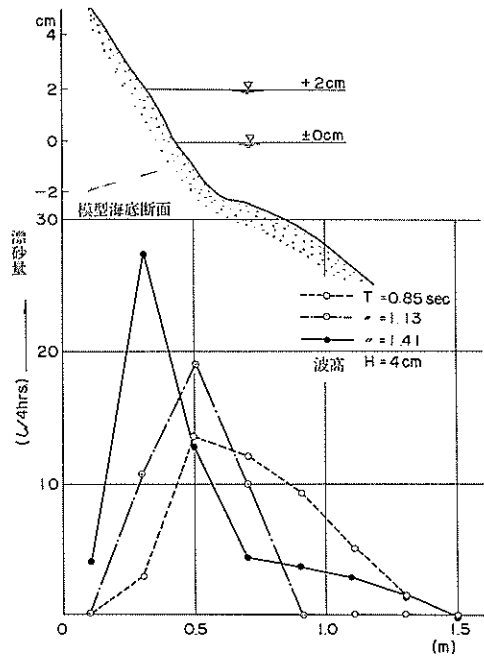


図-17 捕砂トラップにより得られた沿岸漂砂量

#### 4. 模型再現性検討のための現況実験と時間縮尺の推定

前述のようにして、選定された実験条件をとりまとめると次の通りである。

模型縮尺	水平	1/100
	鉛直	1/50
波	波高	4 cm
	周期	1.2 sec
	波向	SSW

潮位 +2 cm

これらの条件のもとでの須磨海岸の模型が現地をどの程度再現しているかを知るために、海底変動、蛍光砂拡散、浮遊砂分布、沿岸流等を詳細に測り、現地データと比較検討してみることにする。

##### (1) 模型再現性検討のための現況実験

— 海底地形の長期的変化 —

実験に際しては、予備実験の場合と同様、漂砂の上手上端に、5分間に1リットルの割合で砂を補給した。図-18

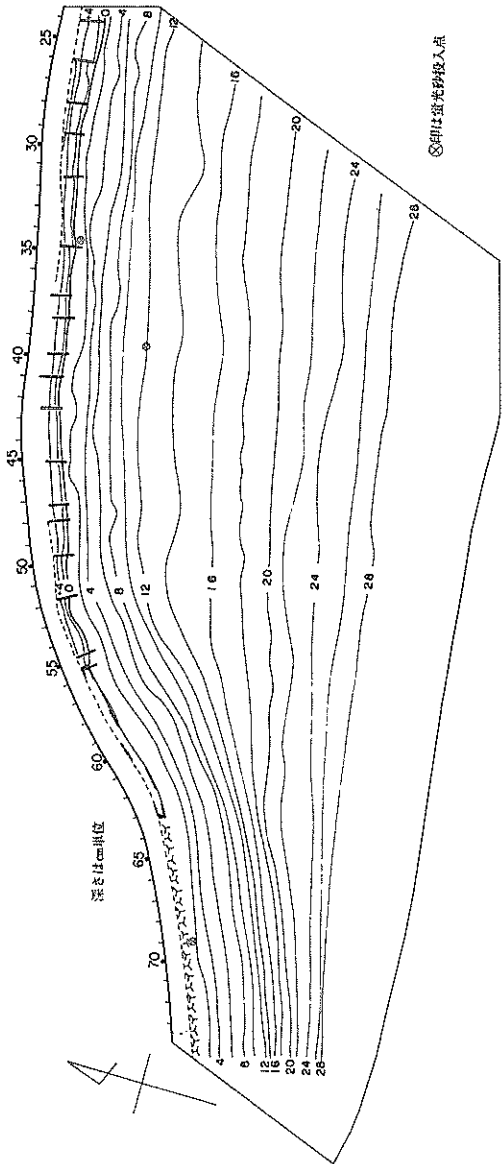


図-18 現況実験における模型浜(波作用0時間)

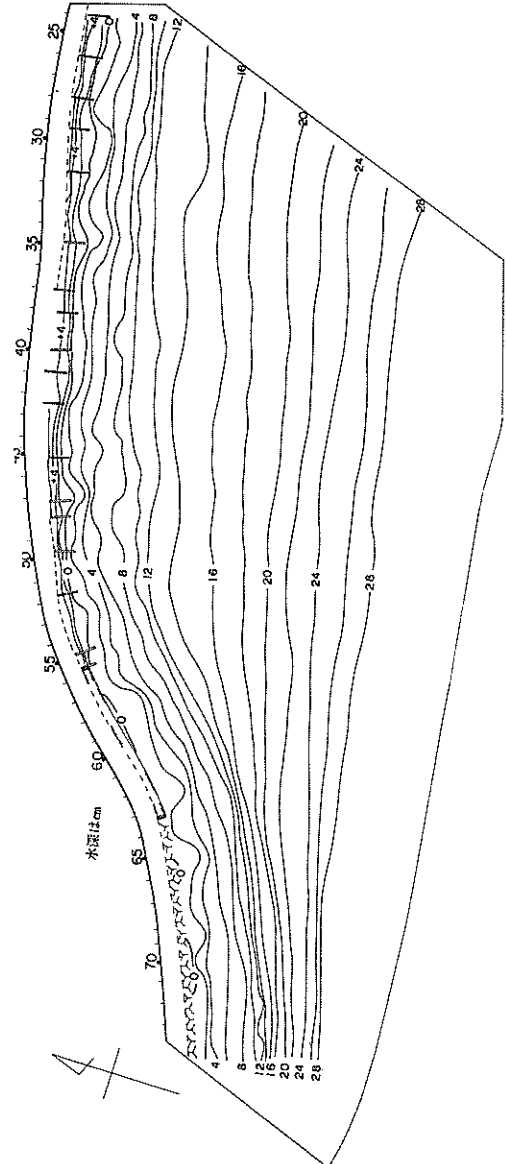


図-19 現況実験における模型浜(波作用30分)

は、波作用前の模型浜を示す。現地におけるテトラポッド、張石、突堤等は、模型縮尺にあわせて設置された。これに波作用させたときの深淺図は、圖-19~21. に示す通りである。これらの図から、水深-12cm以深では、ほとんど海底の変動がないことがわかる。それ以浅では、かなりはげしい変化がみられ、特に測点65から東側にかけての等深線は、大きく波状に出入しているのがみられる。これらの海底変動を、もう少し明瞭にみるために、波を作用する前の海底地形と、波を作用させた後の海底地形とを各時間について比較したのが圖-22 である。また、現地に

おける2年間の海底地形の浸食堆積図をいま一度示すと、圖-23 のようにになる。まず、この圖-23.の現地における浸食堆積図から、つぎのようなことがいえる。

(1) 65以西

テトラポッド消波工法先において、洗掘された個所と堆積された個所が交互にみられる。それより沖側の水深-2~4mの所、すなわち、時化時の砕波点に相当する所は、一帯に浸食している。

(2) 65~65

張石護岸の前面に著るしい堆積がみられる。水深-2

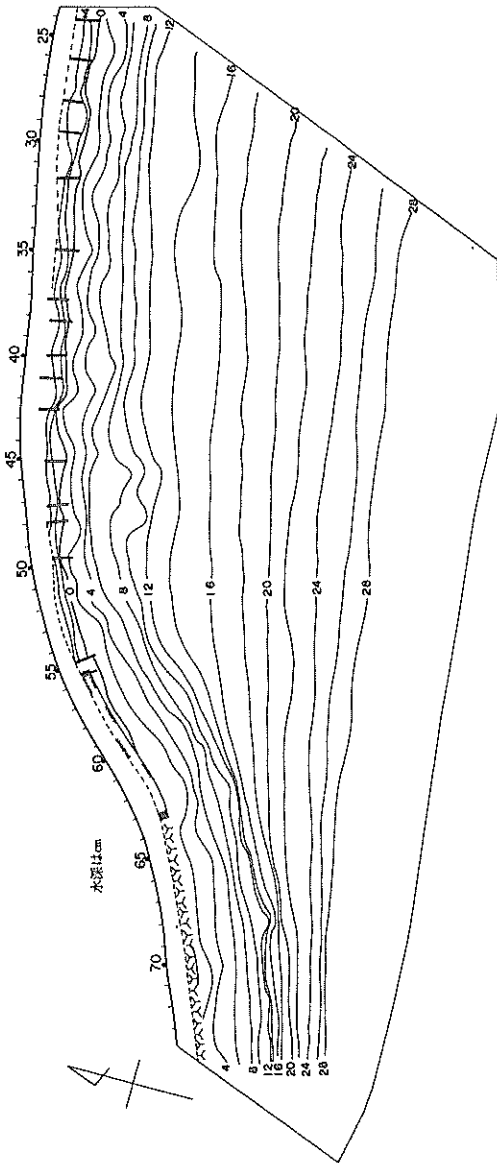


圖-20 現況実験における模型浜 (波作用1時間)

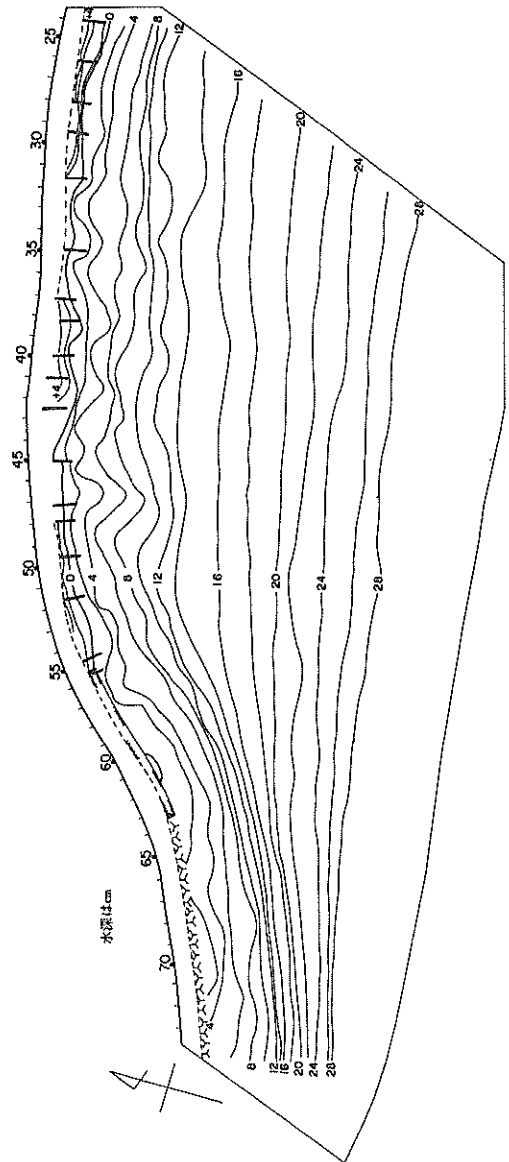


圖-20 現況実験における模型浜 (波作用4時間)

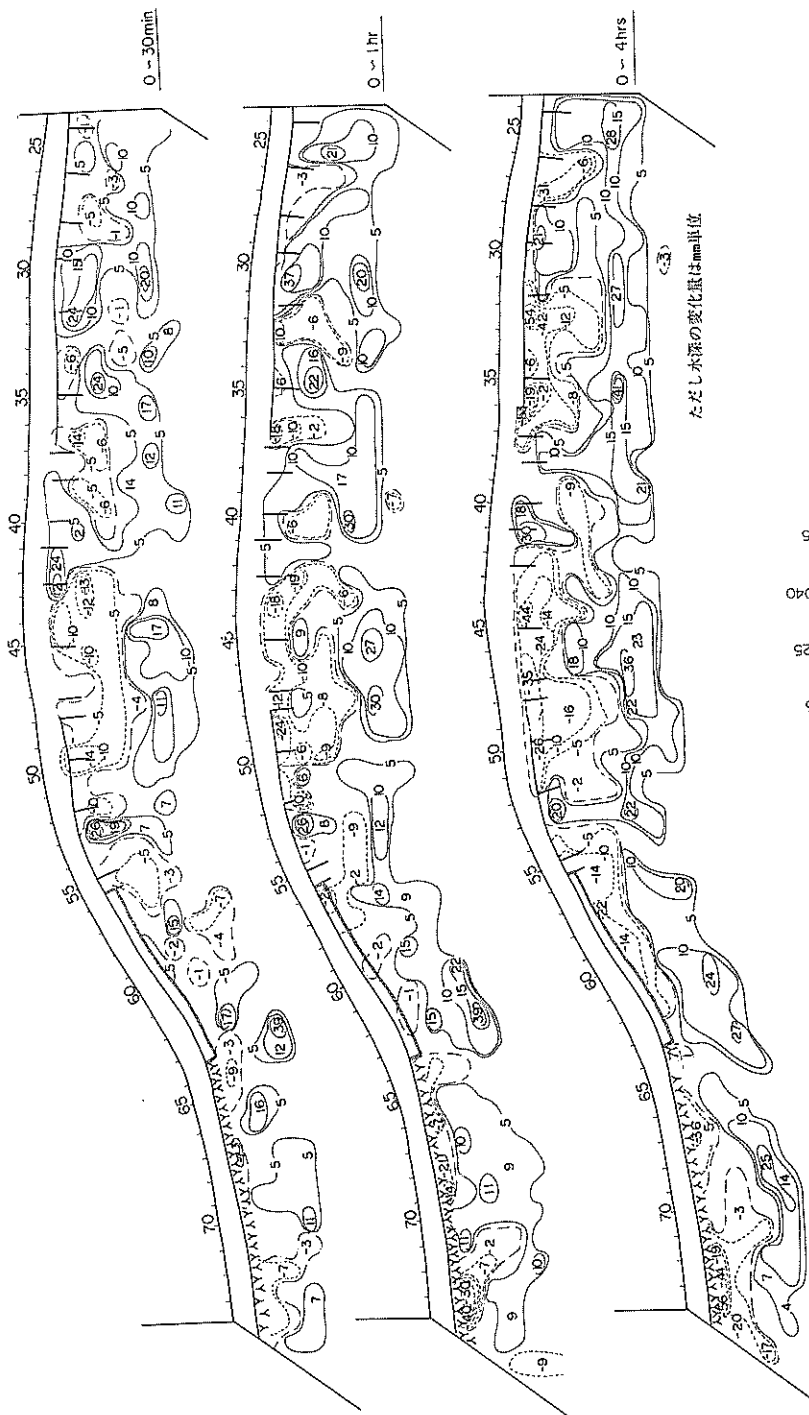


図-22 現況実験における海底地形の変化

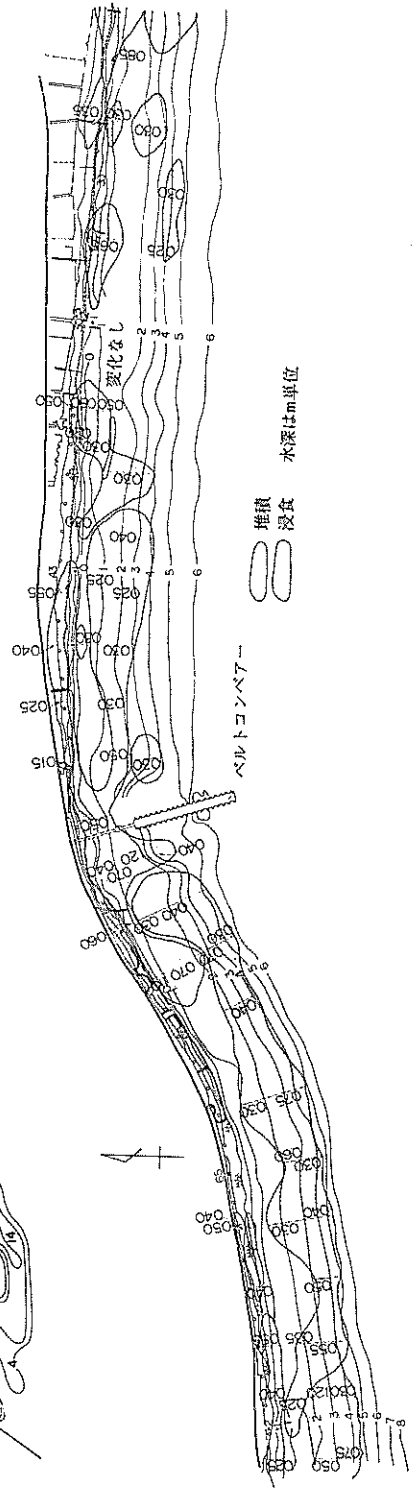


図-23 浸食堆積平面図(昭和42年7月~昭和44年6月)



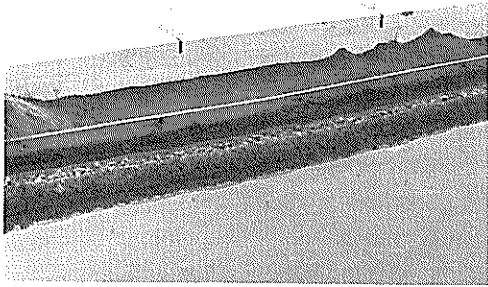


写真-2 模型浜のテトラポッド消波工

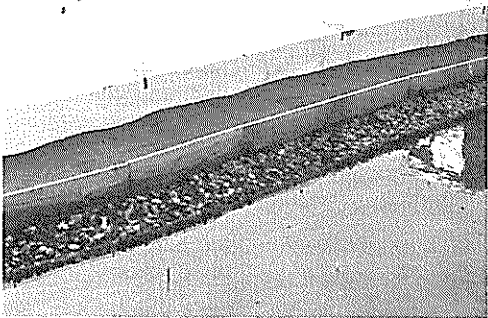


写真-3 模型浜の張石

〜4 mでの浸食は、この領域まで続いている。

(3) ㌞55〜㌞51

汀線から水深4 mまで、全般的に堆積気味である。

(4) ㌞51〜㌞42

汀線附近、および水深1〜4 mの所で堆積があり、その間では、むしろ浸食が認められる。

(5) ㌞42以东

汀線附近から水深4 mまでの間が浸食される所と堆積される所が交互にあらわれる。

以上のように、現地の須磨海岸の長期的海底変動は、海岸線に沿って5つの区域に分けてみると、その特性がかなり明瞭になってくる。そこで、これら5つの特性が、模型の中どの程度再現されているかを図-22 にもとずいて検討してみる。

(1) ㌞65以西

テトラポッド消波工法先は、主として浸食されているが堆積した個

所も所々にある。…………… 現地とほぼ一致

沖側の水深4〜8 cmの領域

は堆積している …………… 現地と不一致



写真-4 テトラ消波工への波の作用状況

(2) ㌞65〜㌞56

張石護岸の前には波作用1時間

までは砂の堆積がみられる。…………… 現地と一致

しかし、波作用4時間後には、そ

こは浸食されている。水深4〜

8 cmでは堆積性である。…………… 現地と不一致

(3) ㌞55〜㌞51

幅は狭いとはいえ、この区間は水

深12 cmまで堆積している。…………… 現地とほぼ一致

(4) ㌞51〜㌞42

波作用30分後では、汀線に堆積

がみられ、また、沖でも堆積してい

るが、中間では欠損している。…………… 現地とほぼ一致

しかし、波の作用時間が長くなるに

につれ、汀線附近が浸食されている。…………… 現地と不一致

(5) ㌞42以东

浸食、堆積の場所が、東へ行くに

つれて交互にあらわれる。(但し㌞

35以东は模型境界の影響が強く出

ているので対象外とする。)…………… 現地とほぼ一致

以上のように、現況実験における模型は、現地における長期的海底変動を相当よく再現しているが、現地とよく一致しないところもかなりあった。ここで、現地と不一致の所をもう一度整理してみると、

(1) ㌞55以西において、水深2〜4 mの所が現地では浸食しているのに、模型では堆積した。

(2) 張石護岸前面は、現地では砂が堆積した。模型でも、最初は、それと同じ傾向にあったが、時間がたつにつれ、浸食された。

(3) ㌞51〜㌞42の汀線付近では、現地では、堆積したが、模型では最初の30分を除いて、浸食された。

さて、これら3つの現地と一致しない現象を念頭において、もう一度、図-22をみてみると、これらが決して独立して起ったものではないこと想像される。すなわち、模型内の底55以西における水深4〜8cmでの著るしい堆積は、あたかも沿岸砂州のような役割をし、沿岸漂砂は、次第にその上を通るようになる。このように、漂砂が沖側を通るようになると、それより下流側での汀線付近への砂の供給も少なくなるので、そこが浸食される。こう考えると、張石護岸前面、および、底51〜底45での汀線付近が、最初は堆積し、やがては、欠損して行ったことがよく理解できる。それでは、底55以西の水深4〜8cmでの著るしい堆積の原因は何であろうか。模型浜上手端での連続条件を満足させるため、そこへ、5分に1リットルの割合で砂を供給した。しかし、供給する水深については、明確な決定法がなかったため、その水深が任意になってしまった。また、供給すべき砂の量も完全に連続条件を満足するものであったかどうか不明である。結局、現況実験で、海底地形変化が現地と一致しなかったのは、模型上手の連続条件が、不完全であったこと、および模型波の周期が短かったため、多少浸食性となったことによるものと考えられる。

#### — 螢光砂の移動 —

螢光砂の移動調査が、次のように行われた。

昭和43年10月1日

投入場所 底39 測線上水深—6m

昭和44年3月11日

投入場所 底23 測線上水深—0.5m

底69 測線上水深—0.5m

螢光砂分布調査は、投入日から、2ヶ月にわたって、1週間から、1ヶ月毎に行われた。螢光砂の移動は、底質移動の特性をよくあらわすものと思われる。そこで、模型の再現性をみるため、模型浜において、現地の螢光砂投入点に相当する位置に螢光砂を投入してその移動を調べ、現地データと比較してみる。ここで、模型浜は、底25までしかなかったため、模型では底23の代わりに、底35の地点に投入した。底23と底35では、沿岸流の多少の違いがあるであろうが、定性的比較が目的であれば、その違いは無視できるであろう。すなわち、模型浜での螢光砂投入点は、

底39 測線上水深—12cm

底35 測線上水深—1cm

(現地の底23投入点の代わり)

底69 測線上水深—1cm

これらの投入点の位置は、図-18の現況模型深淺図に示してある。さて、これらの実験結果と、現地観測結果と

を、時間的に3つの段階に分けて比較すると、図-24、25、26のようになる。この場合、現地と模型の螢光砂移動の時間的変化を直接比較することには、多少問題があるかもしれないが、模型で、3分、15分、30分と、時間の比が0.2:1:2であり、現地で、1日 1ヶ月 2ヶ月(あるいは1ヶ月)と、0.03:1:2となるので、螢光砂移動の傾向をみるのであれば、このような比較も、妥当と思われる。これの図を比較することにより、次のようなことがわかる。

(1) 底39 測線(現地水深—6m)

現地での螢光砂は、投入時に多少東方へ拡散したまゝ、2ヶ月を経てもほとんど変化していない。一方、模型では、東方、すなわち漂砂の下手へ向かって少しずつ移動している。従って、現地水深—6mの所の砂移動は、模型の方がより烈しい。しかし、底35、底69における螢光砂移動に比較すれば、移動の程度は、はるかに小さい。

(2) 底35(現地底23)および底69

(現地水深—0.5m)

この2点については、同じ日に投入され、また砂の採取も同じ日に行われている。このことは、この2地点における砂移動の、速さを比較することを可能にし、再現性検討の上で興味深い。図-25、26に見られるように、模型底35(現地で底23)、底69の両方において、螢光砂は漂砂の下手へ移動しており、また底69の方が、移動が速い。このことは、同図の現地観測の結果ともよく一致している。ただし、底69において、模型の方が現地に比べて、螢光砂が沖を移動しており、先に述べた現況実験における海底地形変化が現地と異った原因を裏付けるようである。ここで、底35(現地で底23)と底69における螢光砂分布の重心位置の時間的変化を、現地と模型について図示すると、図-27、28のようになる。図-27では、その間の波高および風向きの記録も同時に示しておいた。図-27のように、砂移動速度は、底69における方が、底23よりはるかに速く、その速度の比は、ほぼ1:5である。ところが、図-28に見られるように、これらのことは、模型内にもかなり忠実に再現されており、底35と底69における砂移動の比も1:5となっている。以上のことから、螢光砂移動については、沖における移動が、模型の方で烈しい点はあったが、現地の現象が、模型内にもかなり良く再現されているといえるであろう。

#### — 浮遊砂分布 —

波による攪乱によって、底質が浮遊されることは、現地も模型も同じである。しかし、模型の底質が、現地と同じ砂を用いているので、浮遊砂量自体は相当異なる。現地にく

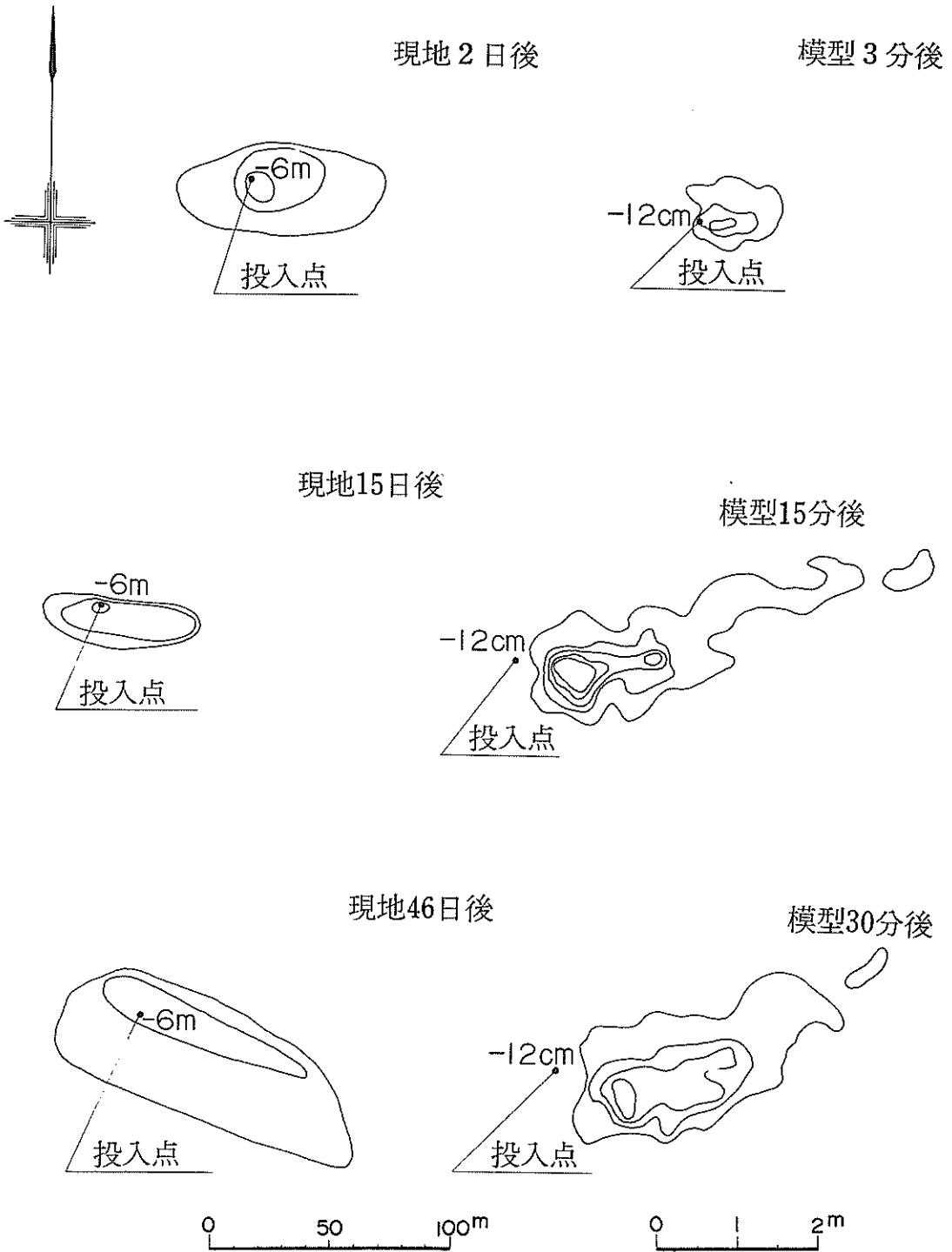


図-24 螢光砂拡散についての現地と模型の比較 (表 39 測線)

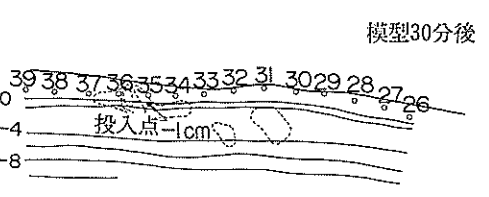
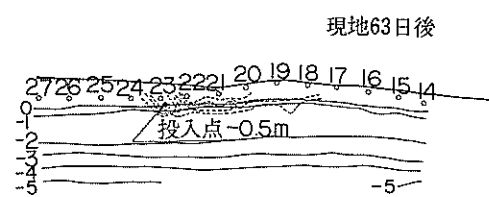
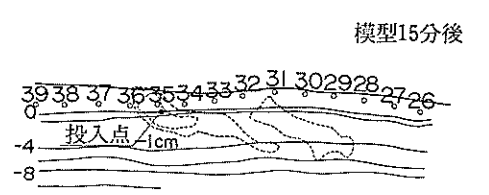
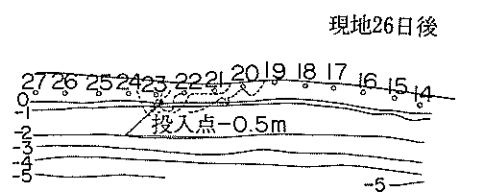
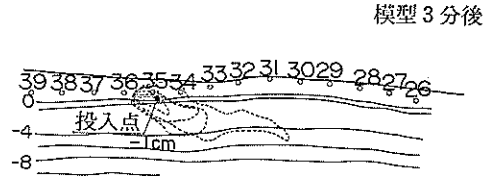
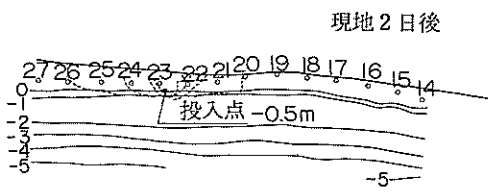


図-25 螢光砂拡散についての現地と模型の比較 (No. 23 または No. 35 測線)

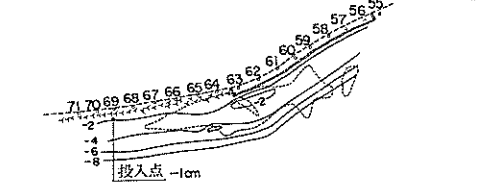
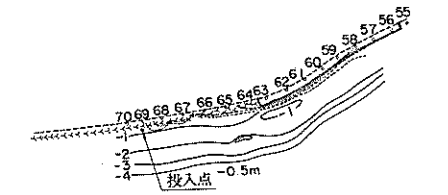
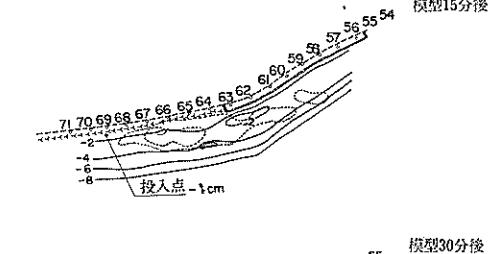
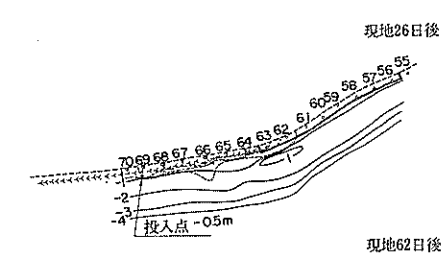
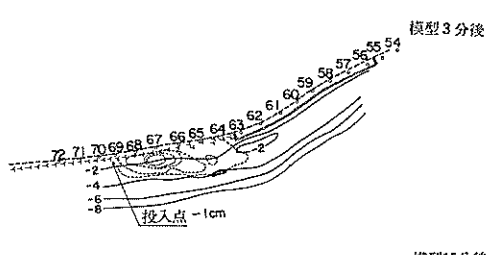
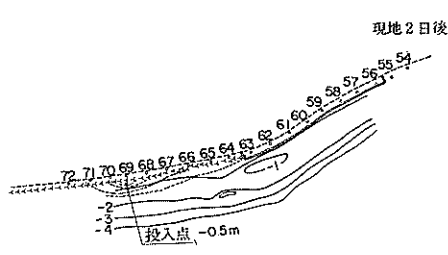


図-26 螢光砂拡散についての現地と模型の比較 (No. 69 測線)

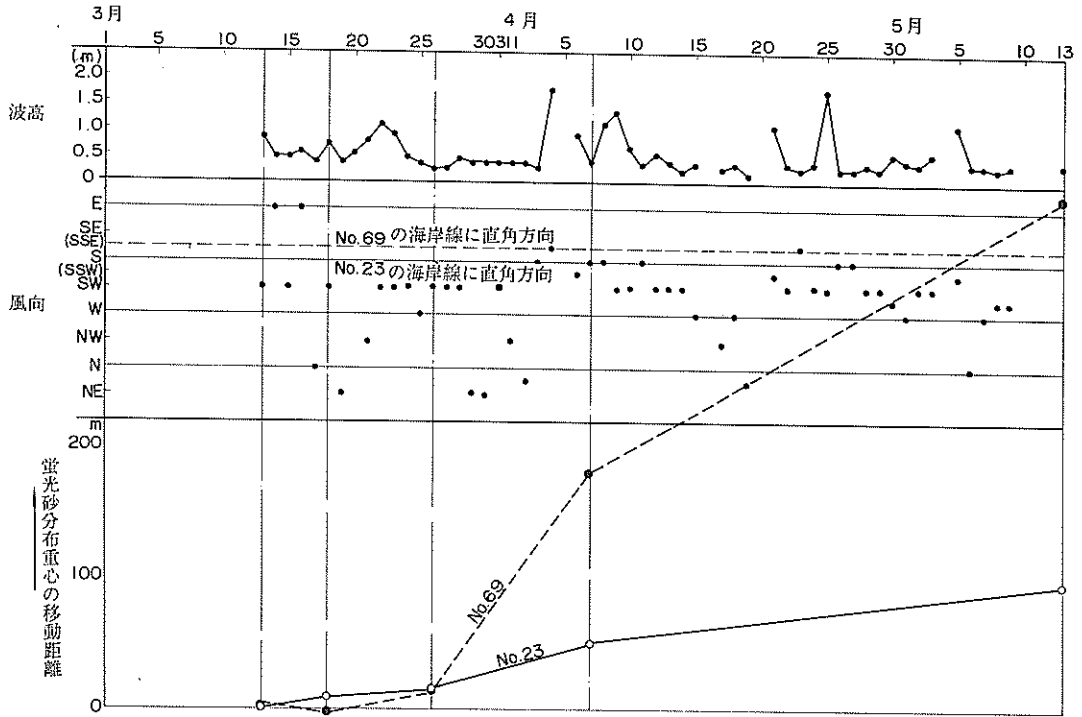


図-27 現地における蛍光砂分布の重心の移動

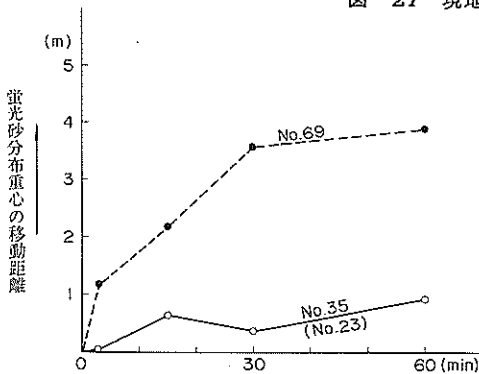


図-28 模型における蛍光砂分布の重心の移動

らべて、模型内の波高は、はるかに小さいから、浮遊砂量も極端に少なくなるわけである。ここでは、特に浮遊砂の鉛直分布について、現地調査と模型実験のデータを比較してみることにする。現地調査は、図-29に示すような捕砂装置を、測点No.39の沖、水深-2m、-6mの2地点に設置して行われた。捕砂孔の高さは、海底から、0.3m、0.6m、0.9mの高さにあけられ、捕砂管ごとに開口の方向を違えて、4方向の捕砂ができるようになっていた。そこで、これによって得られるデータを模型実験とくらべるため、現地と同じ位置、すなわち、測点No.39の沖水深L

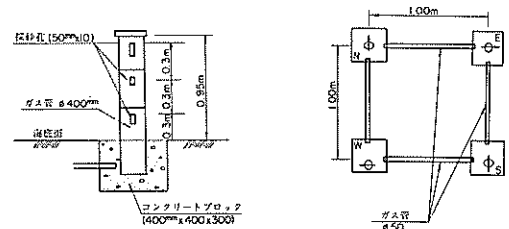


図-29 捕砂装置

WL-4cm、-12cmにおける浮遊砂分布を、図-3の浮遊砂測定装置にて測定してみた。この場合、浮遊砂の鉛直分布の深さによる変化を少し詳しくみるため、LWL-2cm、-6cmにおいても測定を行った。その結果を現地データとともに示すと、図-30のようになる。現地のデータは、浮遊量そのものを与えるものでないから、実験結果との量的比較はできない。しかし捕砂量は、浮遊砂量に比例したような値を示すと考えれば、図-30から、

- (1) 現地における浮遊砂量は、水深-2m地点の方が、水深-6m地点より多く、その鉛直分布は、-2mにおいて「L」字型分布に近い。
- (2) 模型内においても、水深-4cm地点の方が、水深

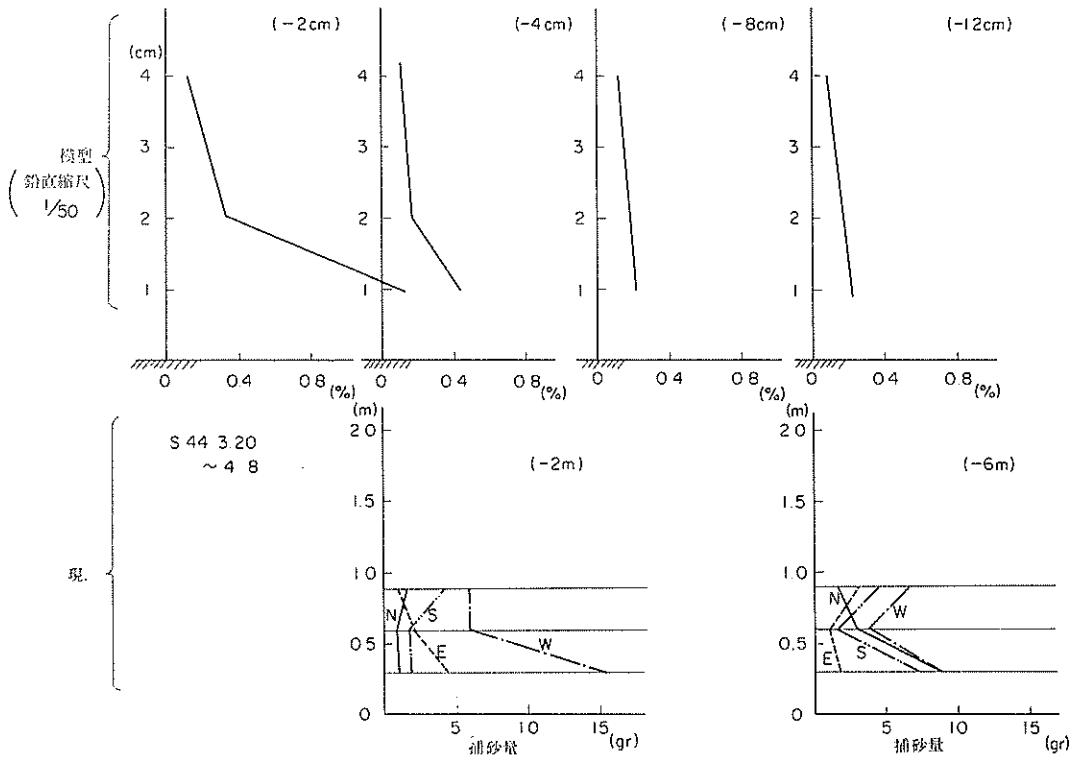


図-30 浮遊砂分布についての現地と模型の比較

- 12 cm地点より浮遊砂量が多く、その鉛直分布も「L」字型に近い。

以上のように、現地に比べると、模型内における浮遊砂量が少いとはいえ、浮遊砂濃度の鉛直分布、砕波帯から沖方向へかけての浮遊砂濃度の平面的分布等は、比較的よく再現されているように思われる。

#### — 沿岸流 —

フロート・染料を用いた流況調査は、現況でも数回行われた。しかし、先にも述べたように、観測時に波が小さかったため、そこで測られた流れは主として潮流によるものである。須磨海岸における波による沿岸流の特性を知るには、時化時の観測が必要である。現在のところ、このような資料がないので、模型の再現性の検討ができないが、それは将来に待つこととして、ここでは、実験結果を示すことにとどめる。図-31 にその結果を示す。

以上、現地における漂砂調査とまったく同じことを現況実験で行い、両者のデータ比較からある程度の模型再現性が確認された。しかし、現地で調査期間中、台風などによる大きな時化がほとんど無かったのに対し、模型では波高4 cmとし、現地波高2 mに相当する波を用いたため、

海底地形変化、蛍光砂移動が、両者で多少異るところもあった。

#### (2) 海浜変形に対する時間縮尺

模型内における幾何学的縮尺、模型波の特性等は、実験結果と現地データの定性的比較により選定された。しかし、本実験のように、海岸の欠損・堆積等を問題にしているときは、海浜変形に対する時間縮尺、すなわち現地で1年間における海浜変形量だけ模型海浜が変形するのに何時間かかるかということの推定することは、非常に興味深い。この場合、対象とするのは、長期的海浜変形過程であるから、それをよくあらわす現地の海岸過程を詳細に調査してその速さを知り、さらに同じ条件を模型内に再現してその模型内における速さを知って、両者の比をもって時間縮尺とするのも一方法であろう。

須磨海岸の場合、新たに施工された突堤上手における深淺測量が詳細におこなわれたので、この突堤上手の土量変化を現地と模型で比較することにより、時間縮尺を推定することにした。新設突堤は、先端の天端高+2.5 m、先端における水深±0 mで、測点No.54の位置に建設された。深淺測量は、東西区間が新設突堤より西側No.56まで約90

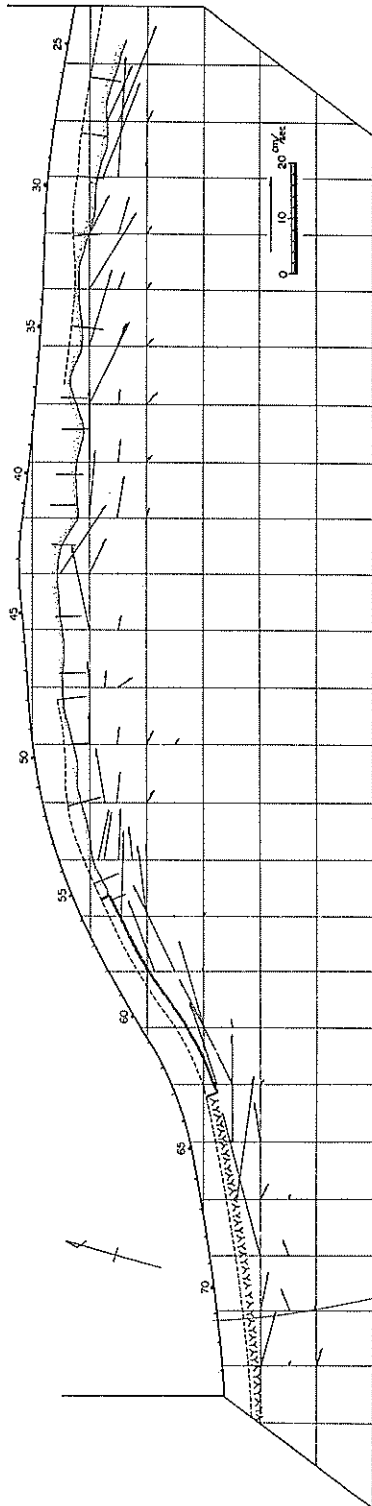


図-31 現況実験における沿岸流

m、南北区間が突堤基部から水深-2 mまで約120 mの範囲について行われた。これらの深浅測量結果から、新設突堤上手の土量変化を計算したのが図-32である。突堤新設後、西からの沿岸漂砂による連続的な堆積がみられ、

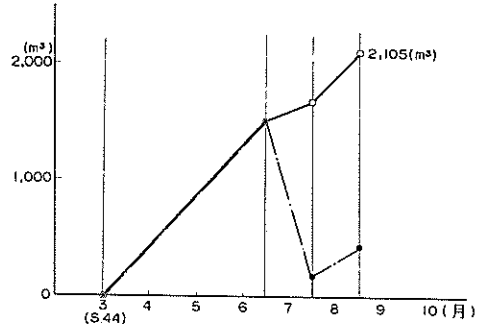


図-32 新設突堤上手側における堆積土量

昭和44年3月から8月中旬までの約半年間に2,105 m³の堆積があった。このような突堤上手の土量増加率が模型内でどれ位かをみるため、現地の条件をそのまま、模型縮尺に従って模型内に再現し、突堤上手の海底地形を詳細に測定した。ただし、模型では、新設突堤の位置が現地より多少東側にずれていたが、それによる効果は、ほとんどないものと思われる。図-33は、模型内新設突堤を施工した

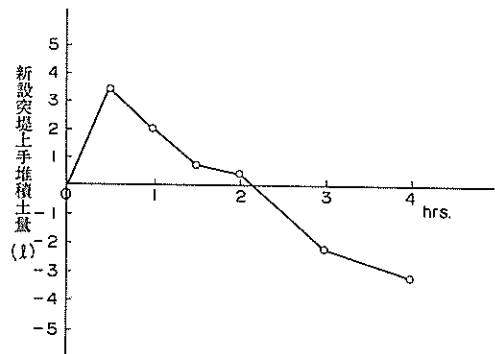


図-33 模型内での突堤上手側の土量変化

後、波高4 cm、周期1.2秒の波をSSWの方から作用させたときの突堤上手の土量変化を示したものである。図のように突堤上手の土量は、波作用後30分までは増加したが、その後はむしろ、欠損が続いている。現地では、新設突堤施工以来連続的な土量増加があったにも拘らず、模型内ではある時間増加した後減少した理由は、先にも述べたように模型内の西方からの沿岸漂砂が、現地に比べて沖側を通過するようになり、新設突堤上手への砂の供給が次第に減少してきたことと、模型の方が浸食的傾向が強かったことによるものと思われる。模型突堤上手の

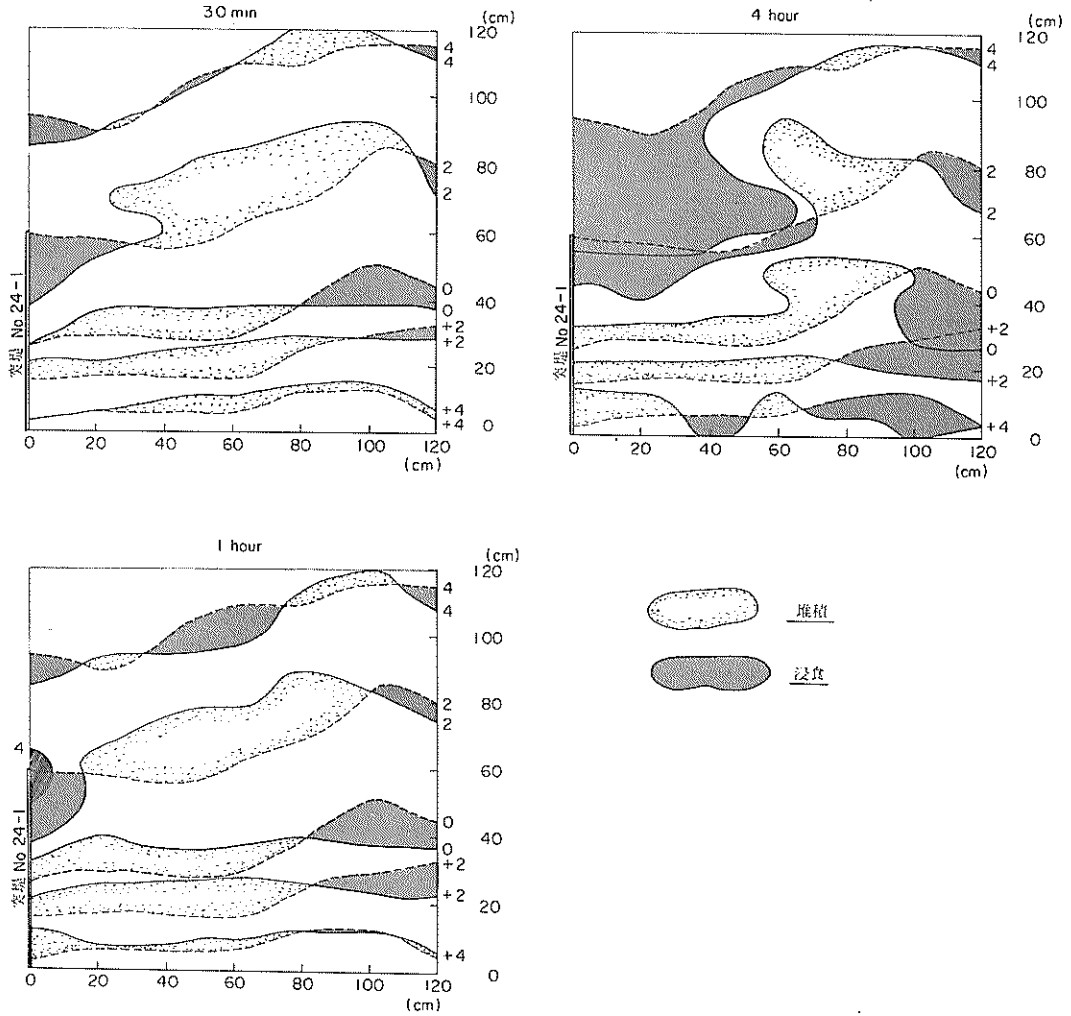


図-34 模型突堤上手側海底地形の初期形状からの変化

海底地形変化を示した図-34からもこのことがよくわかるようである。これは、模型内に波を作用させる時間が長くなるにつれ、現地との漂砂現象の違いが大きくなることを示すものと思われるが、突堤上手の土量が現地と同じように増加した最初の30分間の土量増加を用いる限りは、現地との漂砂現象の違いがさほど大きくないものと思われる。図-33から、突堤上手での土量増加量は、 $3.5\text{t}/30\text{min}$ である。そこでこれらの現地および模型における新設突堤上手の土量変化率を用いて、海浜変形過程の時間縮尺を求める。しかし、図-32の現地における土量増加は、3月から8月中旬までの間に海岸に打ち寄せた波によって定まったものであって、あとの9月から2月までの間の波による土量増加は加味されていない。一方、このような模型実験においては、年間平均の漂砂現象を見るのが目的である

から、現地の土量増加率も、年間平均のものを求める必要がある。そこで、まず突堤上手の年間当たり総堆積量  $Q_p$  と沿岸漂砂量とは比例するものと考え、また、これらは波の沿岸方向年間当たり総エネルギー  $E_p$  に比例するものと考えると、

$$Q_p = k_p E_p \quad (1)$$

$k_p$  : 比例定数

ここで、もし1年のうち、ある期間  $T_1$  月のデータ(波の沿岸方向エネルギー  $E_{p1}$ 、堆積土量  $Q_{p1}$ )しかなく、あとの  $T_2$  月(=  $12 - T_1$ ) のデータがないとすれば、

$$Q_{p1} = k_p E_{p1} \quad (2)$$

(1)、(2)の比をとって

$$Q_p = Q_{p1} \frac{E_p}{E_{p1}} \quad (3)$$



ここで、波の沿岸方向エネルギー  $E_p$  は、波高  $H_p$  の二乗に比例するから、

$$E_p = K \Delta H p^2 \quad (4)$$

$K$ : 比例定数

この比例定数  $K$  には、海岸線に斜めに入射する波のエネルギーのうちの沿岸方向成分を与える係数も含まれているものとする。このことは、年間を通じての波向きが、ほとんど一定であると仮定しているわけであるが、波向きの現地観測結果がない時点では、やむを得なかった。須磨棧橋にて行われた波浪目視観測記録から、各月ごとの波高  $H_p$  の二乗和を求めると次のようになる。

昭和43年	11月	3.44m <sup>2</sup>	5月	4.20m <sup>2</sup>
	12	2.65	6	7.23
昭和44年	1	2.98	7	8.60
	2	3.45	8	3.94
	3	4.66	9	4.41
	4	5.94	10	4.20

現地における新設突堤堆積土量は、昭和44年3月から8月までの6ヶ月であるから、(4)より、深淺測量期間中の波のエネルギーの沿岸方向成分は、

$$E_{1p} = K(4.66 + 5.94 + 4.20 + 7.23 + 8.60 + 3.94) = 34.57K \quad (5)$$

また観測結果から

$$Q_{1p} = 2,105 \text{ m}^3/6 \text{ ヶ月} \quad (6)$$

年間の波の総エネルギーの沿岸方向成分は

$$E_p = 55.70K \quad (7)$$

(5)、(6)、(7)より

$$\begin{aligned} \text{年間総堆積量 } Q_p &= Q_{1p} \cdot \frac{E_p}{E_{1p}} \\ &= 2,105 \text{ m}^3 \times \frac{55.70K}{34.57K} \\ &= 3,392 \text{ m}^3/\text{年} \end{aligned} \quad (8)$$

さて、現地における堆積速度  $Q_p = 3,392 \text{ m}^3/\text{年}$ 、模型における堆積速度  $Q_m = 3.5 \ell / 30 \text{ 分}$  が求まったので、つぎは時間縮尺を求めるわけであるが、それに対する相似則は、佐藤らの報告<sup>1)</sup>によると、次のようにして得られる。いま  $X$  軸を海岸線に沿ってとり、これと直角に  $Y$  軸、点  $(X, Y)$  における水深を  $h$  とする。さらに、単位時間、単位巾当りの漂砂量の  $X$  および  $Y$  方向の成分をそれぞれ  $q_x$  および  $q_y$  とすると、漂砂に関する連続の式は、次式のようである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\varepsilon} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \quad (9)$$

ここで、 $\varepsilon$  は底質の空隙率である。この式に関して、現地と模型との間に相似が成立つためには、 $\varepsilon_m = \varepsilon_p$  とし

て ( $m$  は模型、 $p$  は現地を表わす)、

$$\frac{h_m/h_p}{t_m/t_p} = \frac{q_{xm}/q_{xp}}{x_m/x_p} = \frac{q_{ym}/q_{yp}}{y_m/y_p} \quad (10)$$

ここで、水平縮尺を  $l_m/l_p$ 、鉛直縮尺を  $k \cdot l_m/l_p$  ( $k$  は模型の歪) とすれば、

(10)より

$$(q_m/q_p)(t_m/t_p) = k(l_m/l_p)^2 \quad (11)$$

また、海岸線に直角な一測線を通過する全漂砂量は、

$$Q_p = L_p q_p$$

$$\text{あるいは } Q_m = L_m q_m \quad (12)$$

(11)、(12)において、

$$q_r = q_m/q_p, \quad t_r = t_m/t_p,$$

$$l_r = l_m/l_p = L_m/L_p, \quad Q_r = Q_m/Q_p$$

とおけば、

$$t_r = k \cdot \frac{l_r^3}{Q_r} \quad (13)$$

ここで

$$Q_m = 3.5 \ell / 30 \text{ min}$$

$$= 3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / 30 \text{ min} \times 60 \text{ min} / 30 \text{ min} \times 24 \text{ hrs} \\ \times 365 \text{ 日}$$

$$= 61.3 \text{ m}^3/\text{年}$$

$$l_r = 1/100$$

$$k = 100/50 = 2$$

$$Q_r = Q_m/Q_p = 61.3/3,392$$

したがって、(13)より

$$t_r = 2 \times \frac{(1/100)^3}{61.3/3,392} \text{ (年/年)}$$

$$= 2 \times \frac{3,392}{61.3} \times 10^{-6} \times 24 \times 365 \text{ (時間/年)}$$

$$= 0.97 \div 1.0 \text{ (時間/年)}$$

すなわち、現地での1年間の、模型内での1時間に相当することになる。

## 5. 養浜浸食防止実験

### 1) 須磨海岸の養浜計画

須磨海岸では、その利用幅が狭く、また背後地も人家が密集しているので、養浜により浜幅を拡げることが検討されている。図-35はその養浜の一計画案である。図のように、汀線が現在より100m沖になるように養浜し、これを維持するため、長さ100mの突堤を施工するものである。この養浜の代表的断面は、図-36に示す通りである。そこで、この人工海浜が異常台風時においても効果的に維持する工法を、実験により検討してみることにした。



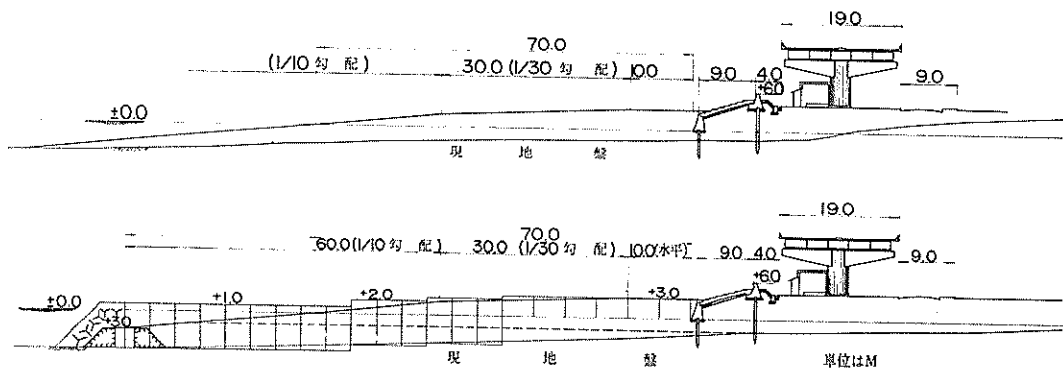


図-37 養浜断面

表-3 養浜実験の種類

( $H = 6.0 \text{ cm}$ ,  $T = 1.14 \text{ sec}$ , 潮位 +1.6 cm)

ケース番号	種類	模型浜の条件
1	連続補給養浜	堤防、突堤等なし 測点係64以西も養浜
2	限定養浜	堤防あり(以下のケース同じ)、突堤等なし 測点係64以西養浜せず(以下のケース同じ)
3	復旧養浜	ケース2で、波2時間作用後欠損個所に砂を補給して復元する。
4	突堤施工	突堤先端より33cmは天端高+2cm、中間17cmは+4cm、 陸側端50cmは+6cm
5	突堤嵩上げ施工	ケース4に対して天端高を全体的に2cmだけ嵩上げる。
6	中間突堤施工	ケース5の突堤の中間に長さ50cm、天端高8cmの中間堤施工
7	T字型堤施工	ケース5の突堤先端に、沿岸方向の長さ1m、天端高+4cm、天端幅7cm のテトラ堤(割石、空隙率43~45%)施工
8	広幅T字型堤施工	ケース7において、テトラ堤の沿岸方向の長さ2mにする。
9	高天端離岸堤施工	ケース8に対して、テトラ堤の天端高を+12cmとし、さらに陸側から出た突堤を取り除く。
10	中天端高離岸堤施工	ケース9に対して、テトラ堤の天端高を+6cmにする。

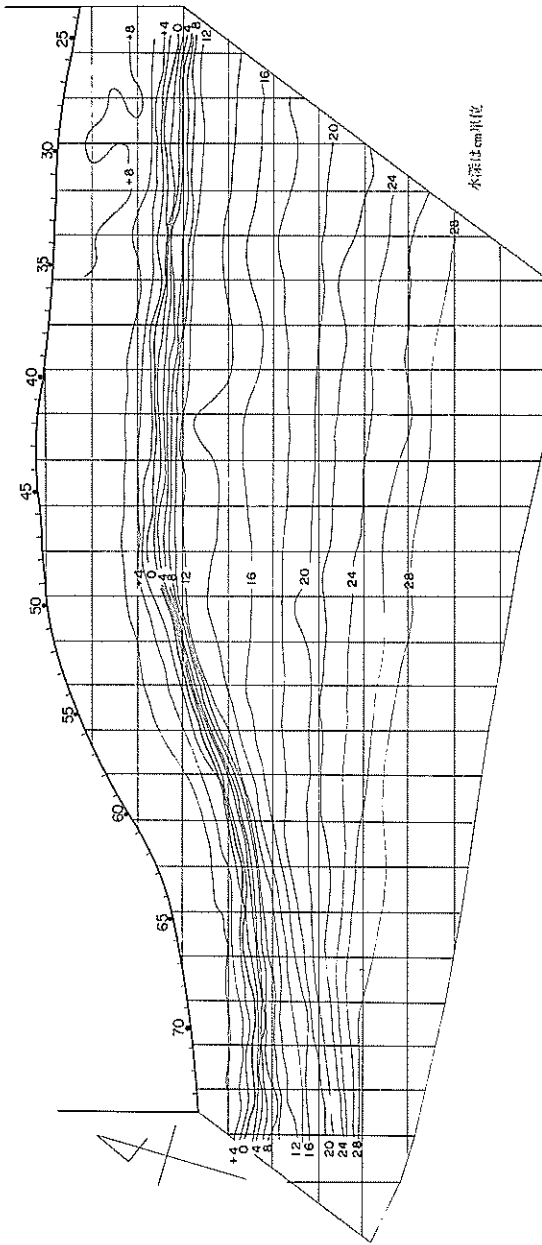


図-37-1 連続補給養浜(ケース1), 波作用前

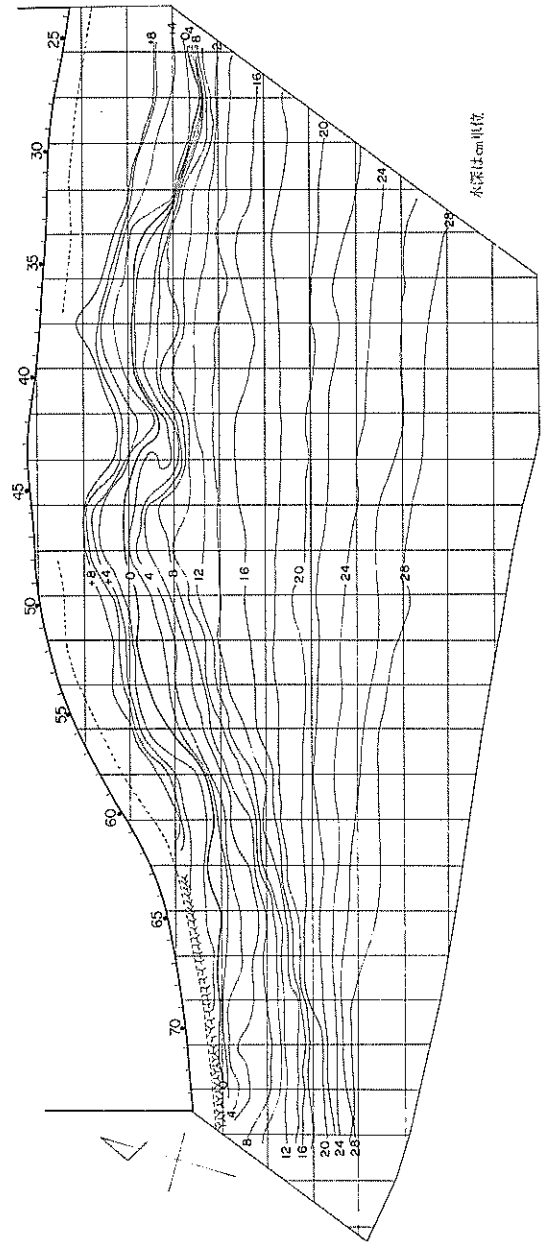


図-37-2 連続補給養浜(ケース1), 波2時間作用後

### 3) 実験結果

#### (1) 連続補給養浜(ケース1)

図-37-1が、波作用前の模型海浜である。このケースは、模型範囲より西側のある地点まで養浜された場合について行われたもので、模型浜上端に砂を補給した。補給する砂の量は、現況実験の時補給した $1\text{ l}/5\text{ min}$ を参考にし、波のエネルギーに関する比例計算から、 $1\text{ l}/3\text{ min}$ と定めた。しかし、この補給量では模型浜上手が異常に欠壊したので、波作用1時間後からは、模型浜上手の欠壊量から計算した。 $1\text{ l}/30\text{ sec}$ の砂を補給した。実験結

果は図-37-2に示すとおりである。この結果から、次のようなことがわかる。

- 漂砂上手からの砂補給があったにも拘らず、模型浜上端での侵食が著るしい。
- 測点 $\#60$ すなわち、海岸線が北へ曲がった所での砂堆積が著るしい。
- 測点 $\#40\sim50$ にかけて、特に著るしい堆積がある。
- 模型浜下端での砂堆積が著るしい。
- 全体的に、浜勾配が、養浜計画断面に比べて、緩やかになっている。

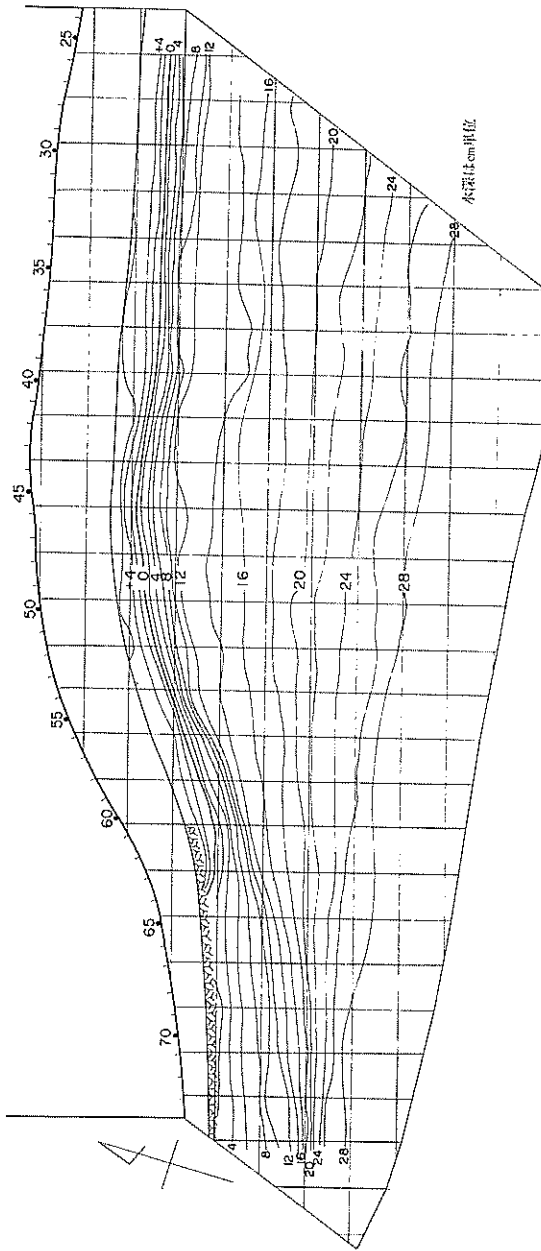


図-38-1 限定養浜(ケース2), 波作用前

(2) 限定養浜(ケース2)

これは、測点64より東側だけが養浜された場合であるが、図-38-1に波作用前の模型浜を示す。図のように、海岸堤防は、計画に従って施工されたものとし、また、模型浜上端から測点61まで、テトラポッド消波工が施工されているものとした。テトラポッド消波工の天端高は、

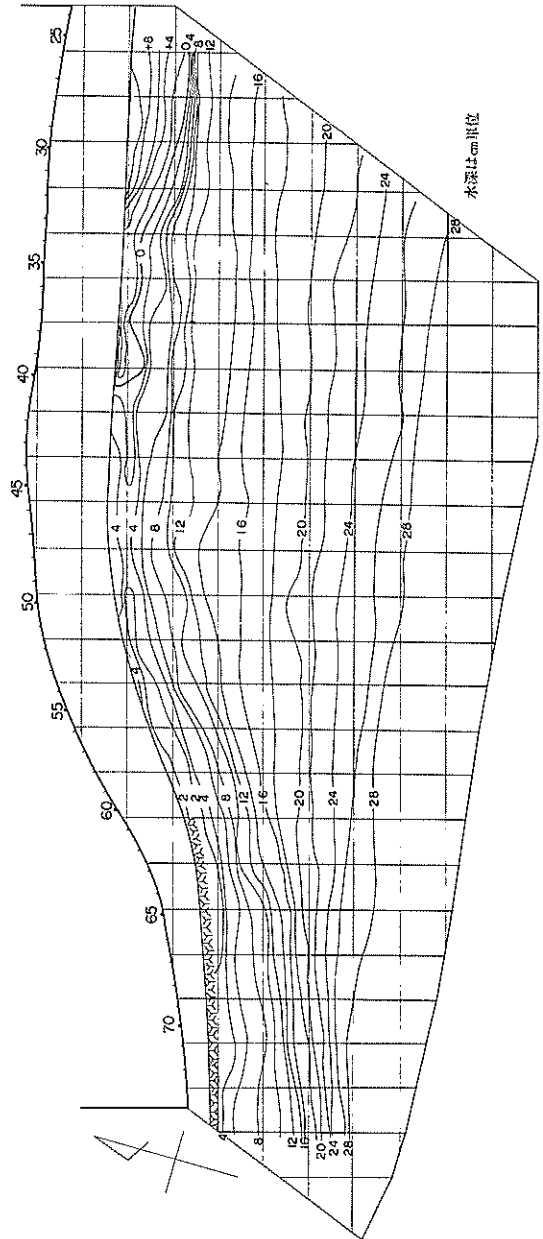


図-38-2 限定養浜(ケース2), 波2時間作用後

L.W.L+10cmであった。この模型浜に2時間波を作用させた後の模型浜深浅図を、図-38-2に示す。この結果から、次のようなことがわかる。

- (a) 養浜区間のうち、測点64～61までの区間は完全に侵食され、跡形もなくなった。
- (b) 侵食された個所での海岸堤防脚部の洗掘が著しい。

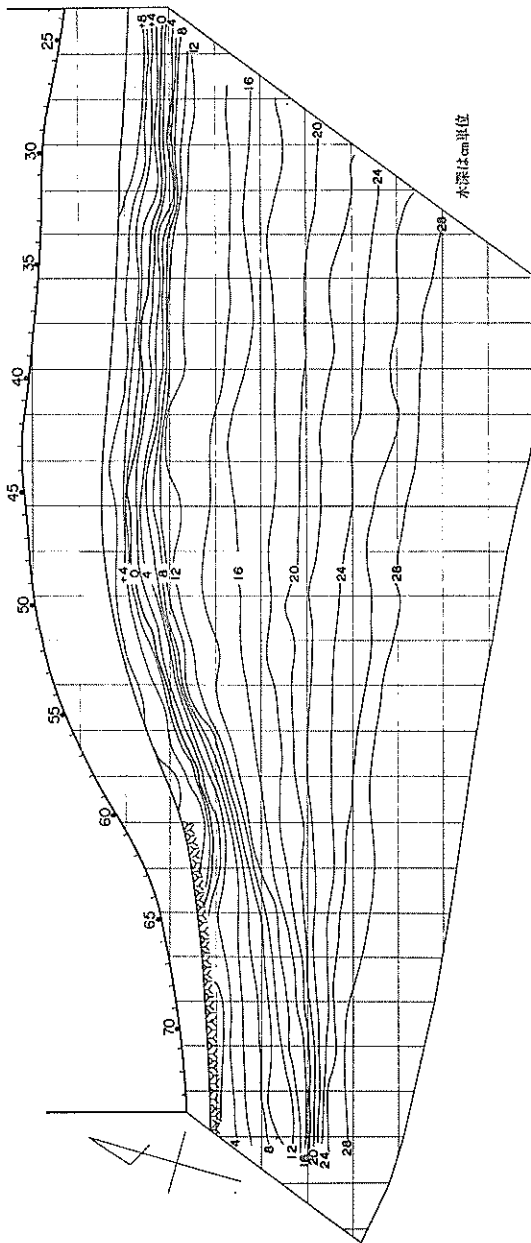


図-39-1 復旧養浜(ケース3), 波作用前

(3) 復旧養浜(ケース3)

このケースは、ケース2の限定養浜に2時間波を作用させた後、養浜断面のうち、浸食された所だけ、砂を補給してもとの計画養浜断面に復旧させた場合である。図-39-1が波作用前の深浅図であり、これに2時間波を作用した後の深浅図は、図-39-2に示す通りである。

この結果からいえることは、

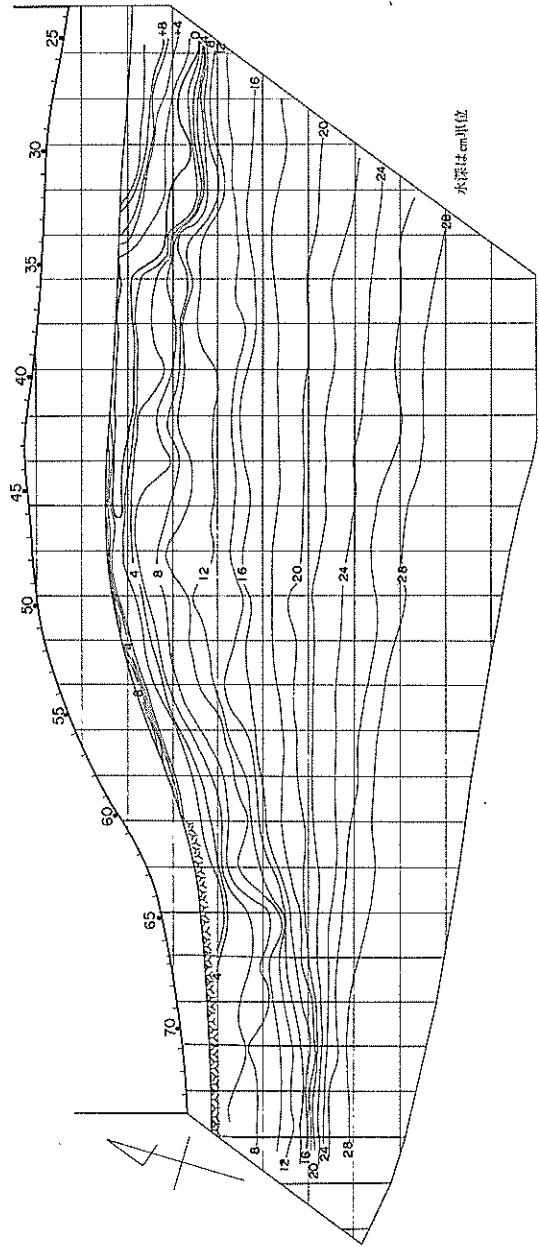


図-39-2 復旧養浜(ケース3), 波2時間作用後

- (a) 漂砂の上手側の浸食は相変わらず著しく、測点64~46の区間の養浜断面が次壊消滅した。しかし、復旧する前のケース2に比べると、このケースでは、測点64~40区間の浜が残存している。
- (b) 浸食箇所の海岸堤防脚部の洗掘が著しい。

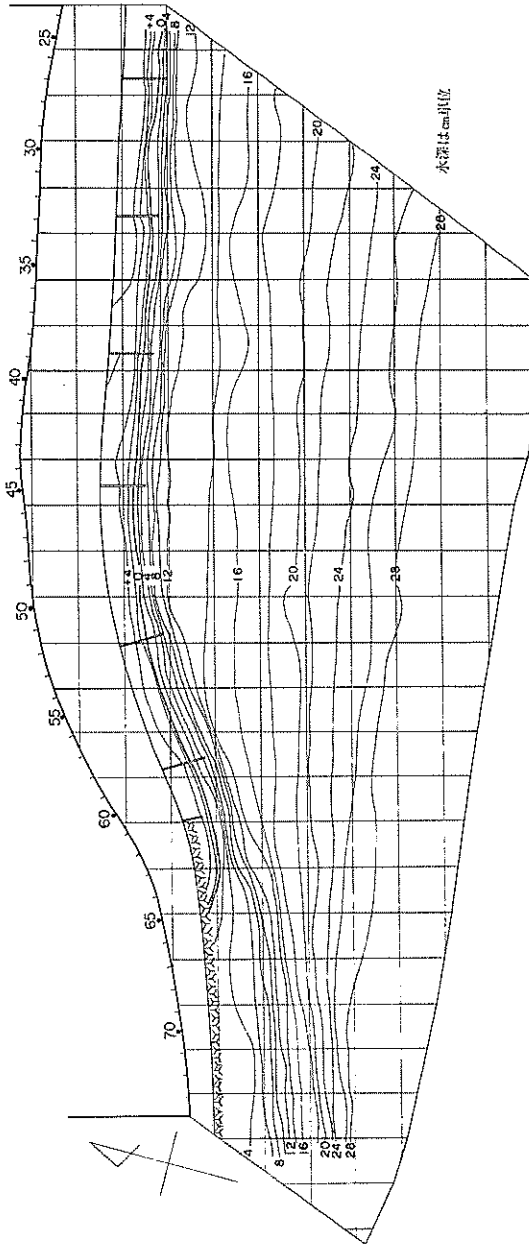


図-40-1 突堤施工(ケース4), 波作用前

(4) 突堤施工(ケース4)

ケース3の初期条件に対して、突堤が施工された場合で、図-40-1が初期の深浅図、図-40-2が、2時間波を作用させた後の深浅図である。突堤の天端は、表-3にあるように、現地で+1mであり、突堤の長さは100m、間隔は約300mである。

この結果から云えることは、

- (a) 養浜個所の侵食が、これまでのケースに比べて著る

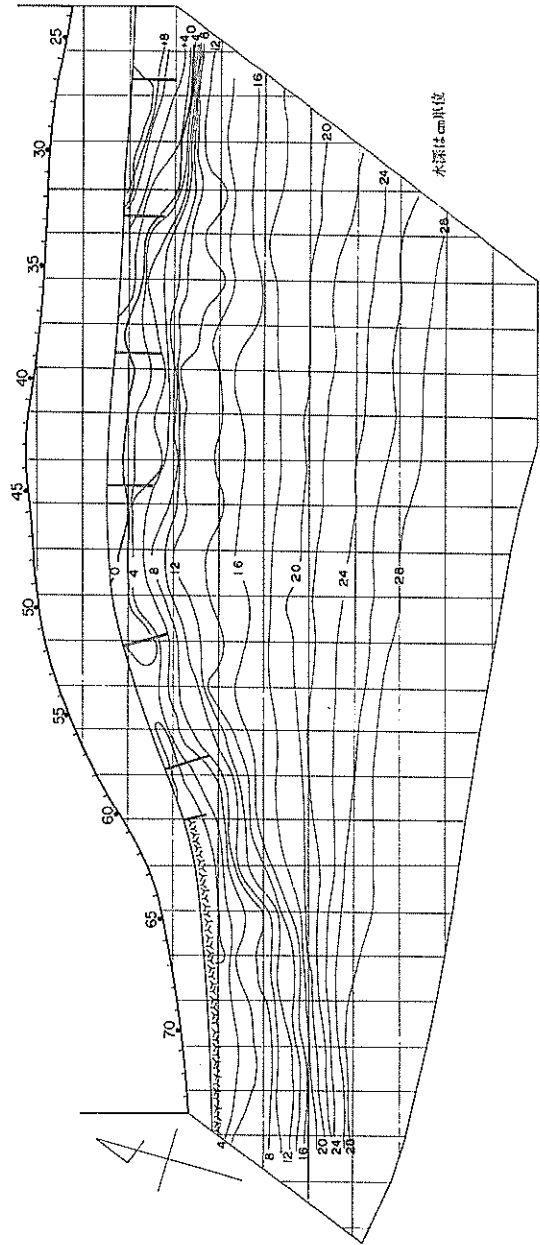


図-40-2 突堤施工(ケース4), 波2時間作用後

しく少なくなった。すなわち測点49では、養浜が残存している。

- (b) 養浜没食個所での海岸堤防堤脚部の洗掘がこれまでのケースほど顕著でなくなった。  
このように、突堤を施工すると沿岸漂砂を相当に弱め、没食防止に役立っているが、さらに防止効果の高い工法を見出すため、以下の実験を行った。

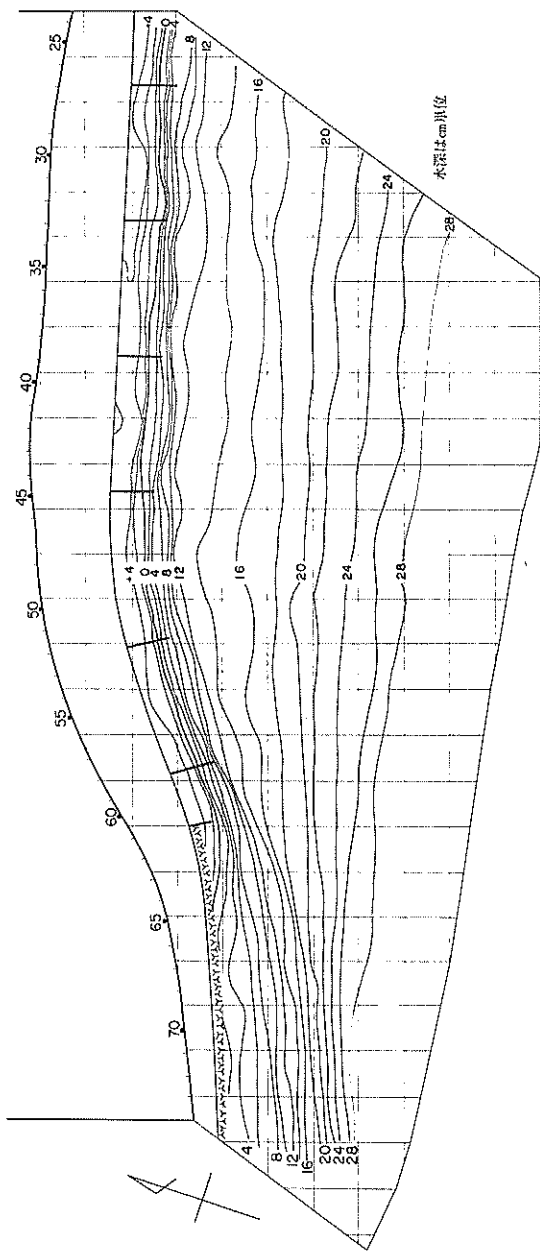


図-41-1 突堤嵩上げ施工(ケース5), 波作用前

(5) 突堤嵩上げ施工(ケース5)

ケース4の突堤施工の場合、潮位が現地で+3mと非常に高いため、波が突堤基部の+3mの天端を越えて漂砂の下手側へ飛び込み、多量の砂が、突堤天端を越えて下流へ運ばれていた。そこで、このような高潮位の場合でも突堤が有効に働くようケース4における天端高を全体的に1m

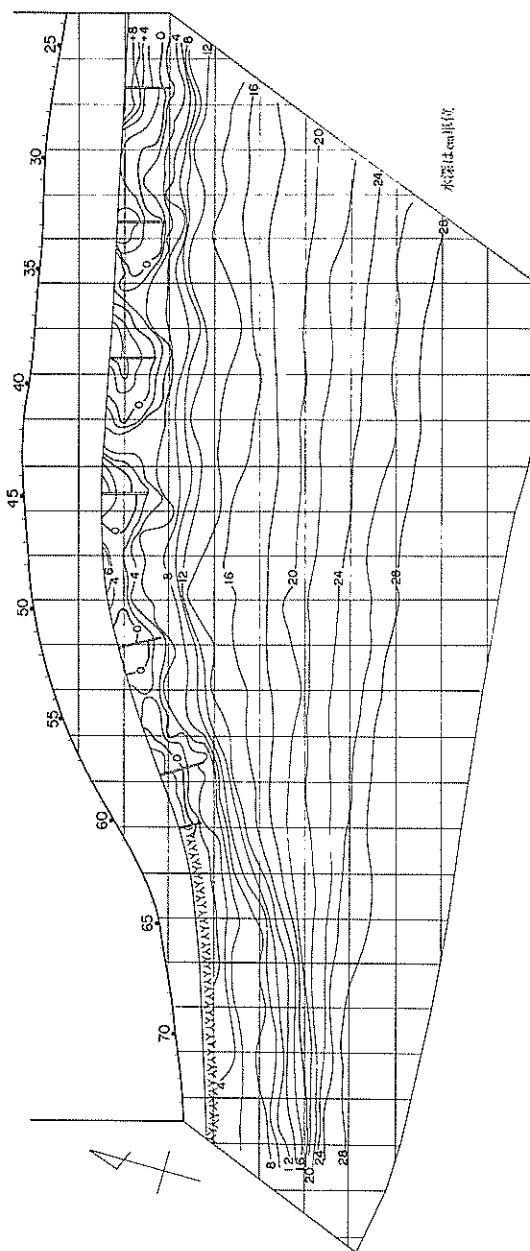


図-41-2 突堤嵩上げ施工(ケース5), 波2時間作用後

だけ高くした場合の実験を行った。図-41-1および図-41-2は、それぞれ、初期および波作用2時間後の深淺図である。この結果から、

- (a) 突堤の砂移動阻止能力はより確実となった。
- (b) 突堤間の距離が大きいため、突堤の間での浸食が新たな問題となってきた。



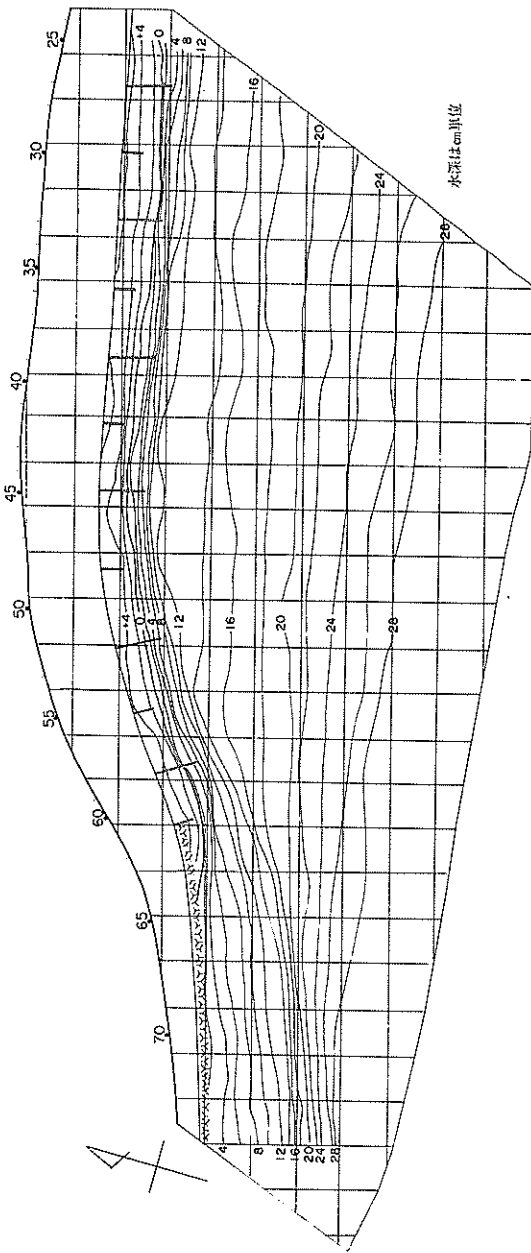


図-42-1 中間突堤施工(ケース6), 波作用前

(6) 中間突堤施工(ケース6)

ケース5において、突堤間隔が大きいため、突堤間が浸食された。そこで、これら現地で100mの長さの突堤の中間に、その半分の長さ、すなわち50m長さで天端高4mの中間突堤を置いてみた。初期の深淺図を図-42-1

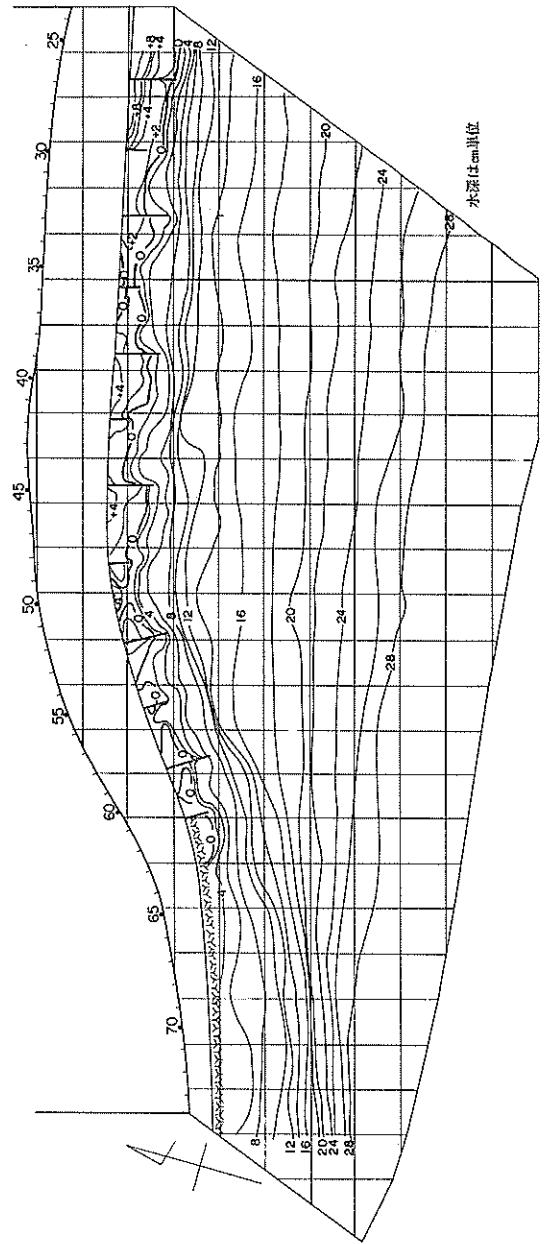


図-42-2 中間突堤施工(ケース6), 波2時間作用後

1、2時間後のそれを図-42-2に示す。この結果から云えることは、

- (a) 測点No.49以東の浸食防止効果は、実に良好である。
- (b) 測点No.65~50の間の海岸線が屈曲した所では突堤と中間突堤との間が浸食されている。



写真-5 T字型堤

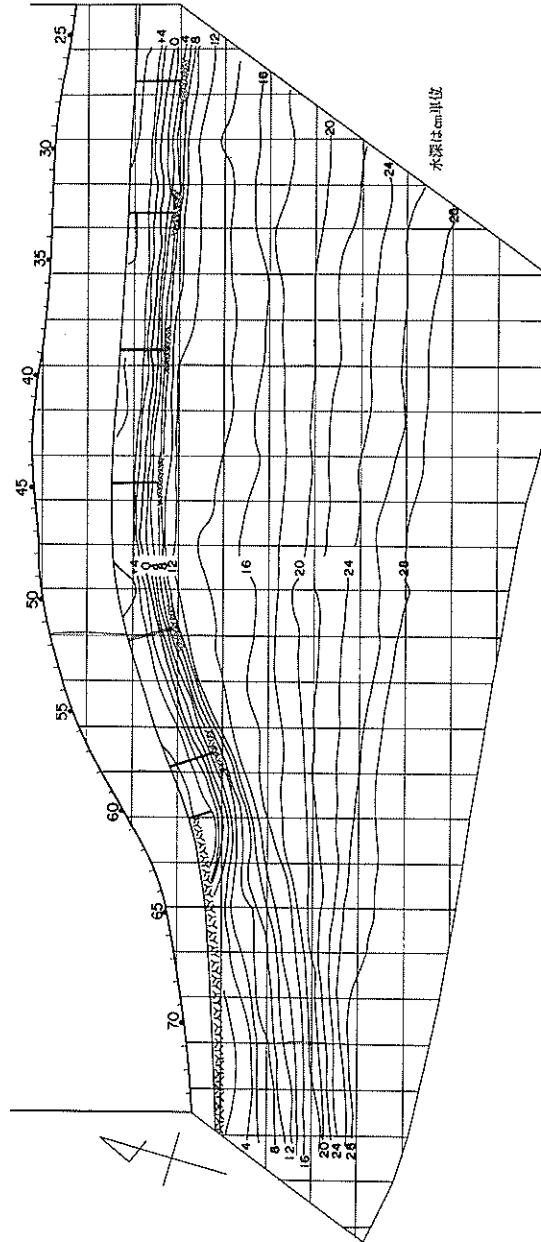


図-43-1 T字型堤施工(ケース7), 波作用前

(7) T字型堤施工(ケース7)

これは、表-3にあるように、突堤の先端に現地で100m長さの平行堤を施工した場合である。この平行堤は前述したように透過堤とし、その天端高は、現地換算で+2mであった。このケースの所期条件、2時間後の深浅

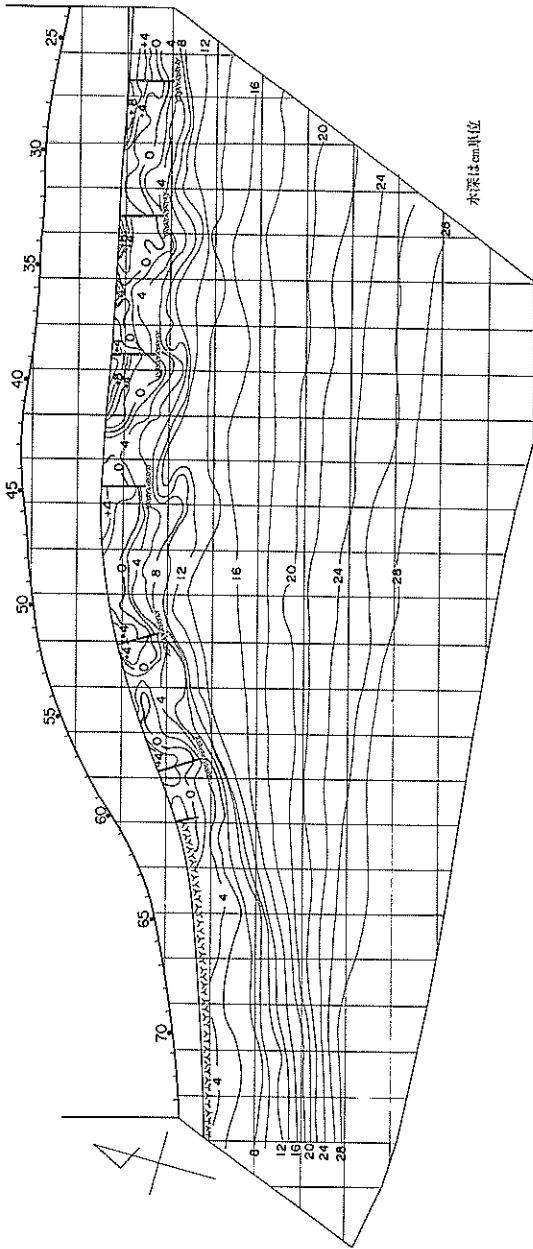


図-43-2 T字型堤施工(ケース7), 波2時間作用後

図を、図-43-1, 43-2に示す。この結果から、

- (a) 各突堤の砂保持能力は良好である。
- (b) 突堤の中間が浸食されており、突堤同士を近づけるか、平行堤を長くする必要はある。

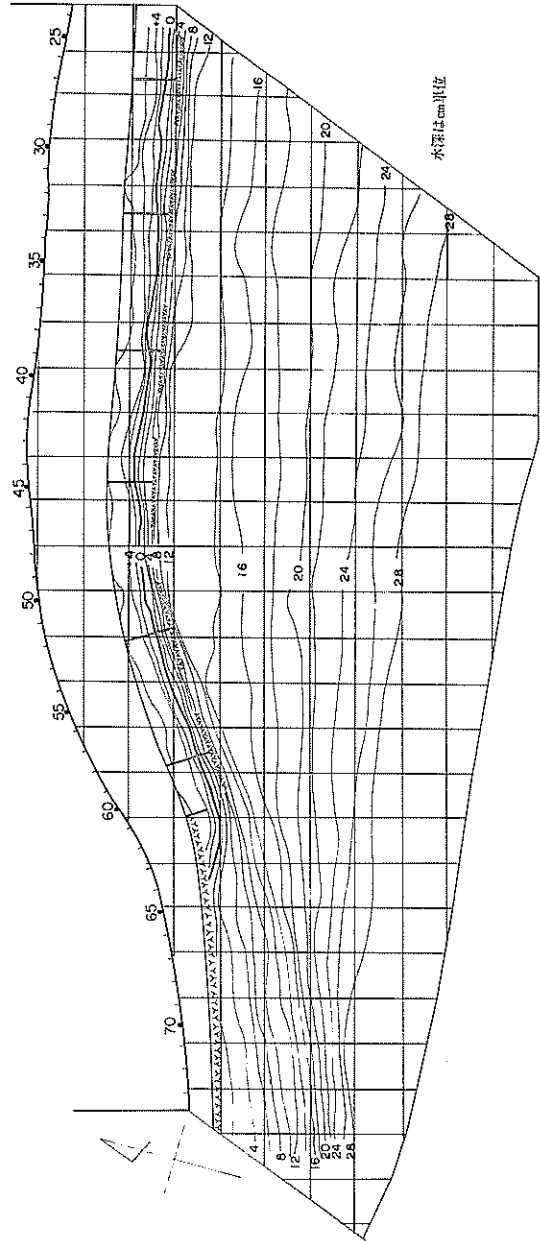


図-44-1 広幅T字型堤施工(ケース8), 波作用前

(b) 広幅T字型堤施工(ケース8)

ケース7において、突堤の中間の浸食があったので、このケースでは、平行堤の長さを倍にしてみた。天端高、突堤の長さ等はケース7と同じである。波作用前、後の結果を図-44-1, 2に示す。この結果からいえることは、

- (a) 砂の保持能力はケース7の場合より優れ、とくに突堤中間での浸食が少なくなった。
- (b) しかし、相変わらず測点60~58の区間では、突堤

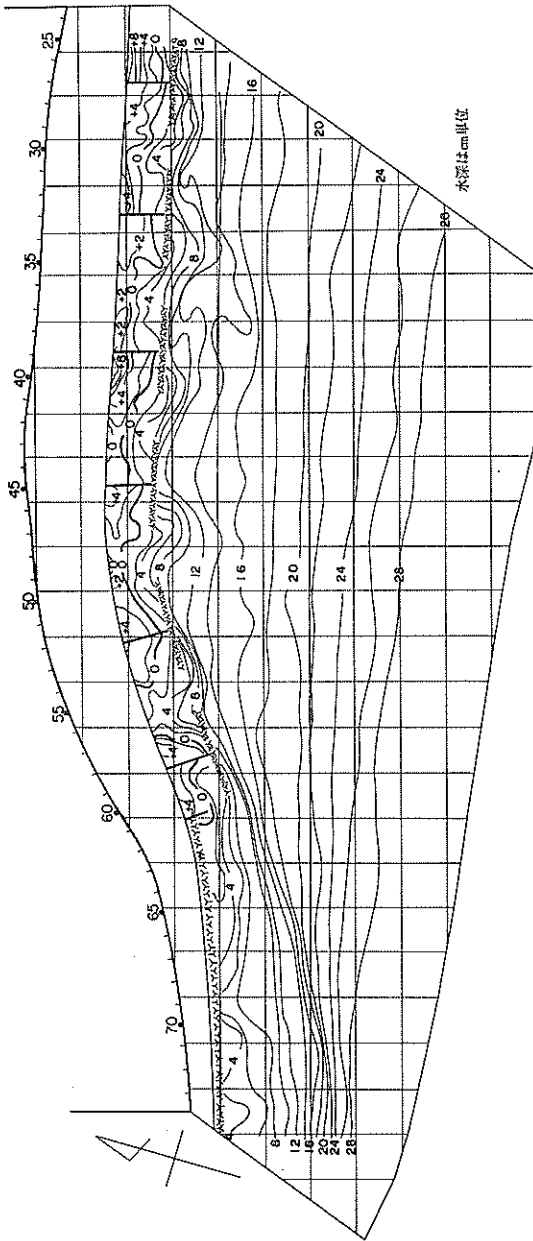


図-44-2 広幅T字型堤施工(ケース8), 波2時間作用後

中間が浸食されており、また全般的にケース7より浸食防止効果があるとはいえ、初期の状態に比べれば、相当の浸食がある。

このケースのように、T字型堤の平行部を相当長くしても、浸食を著しく減少させることはできなかった。これには、この平行堤の天端高が大きく関係しているようである。ケース8の場合、テトラの天端は水面下にあり、多量の水塊がこれを越えて、突堤部と平行堤部で囲まれた領域

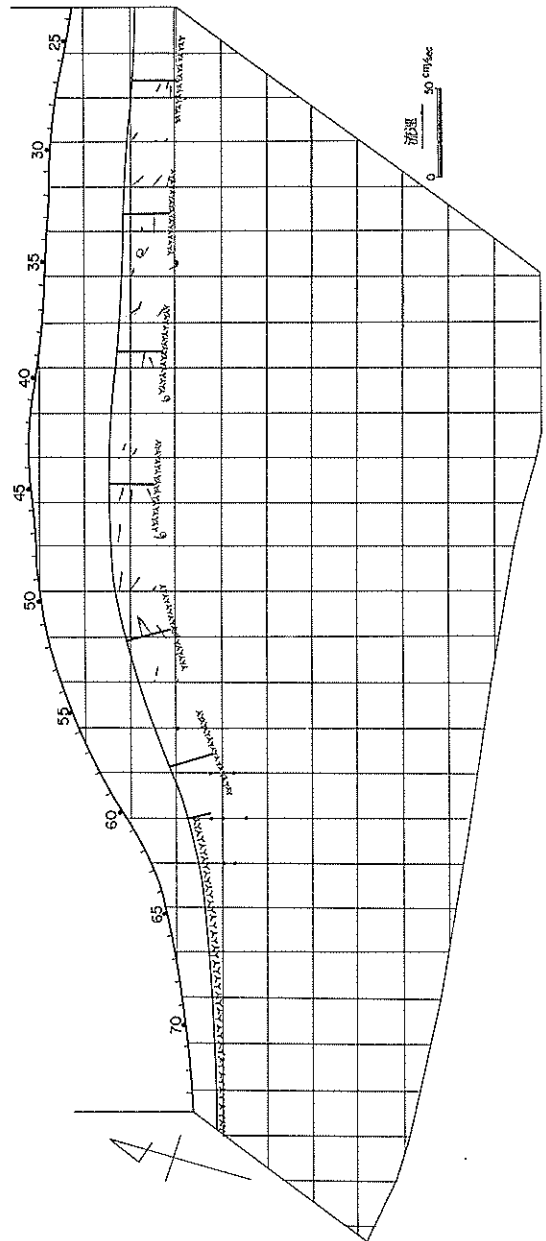


図-44-3 広幅T字型堤施工(ケース8), 流況

に浸していたが、これは、この領域内の水位を高くし、結果として隣り合う平行堤部の間を衝き向きの強い流れを生じしめる。結局この流れが、波によって攪乱浮遊された砂を外へ運び去り、浸食をもたらす。図-44-3に示す流況図にもこのような流れが明瞭にみられる。

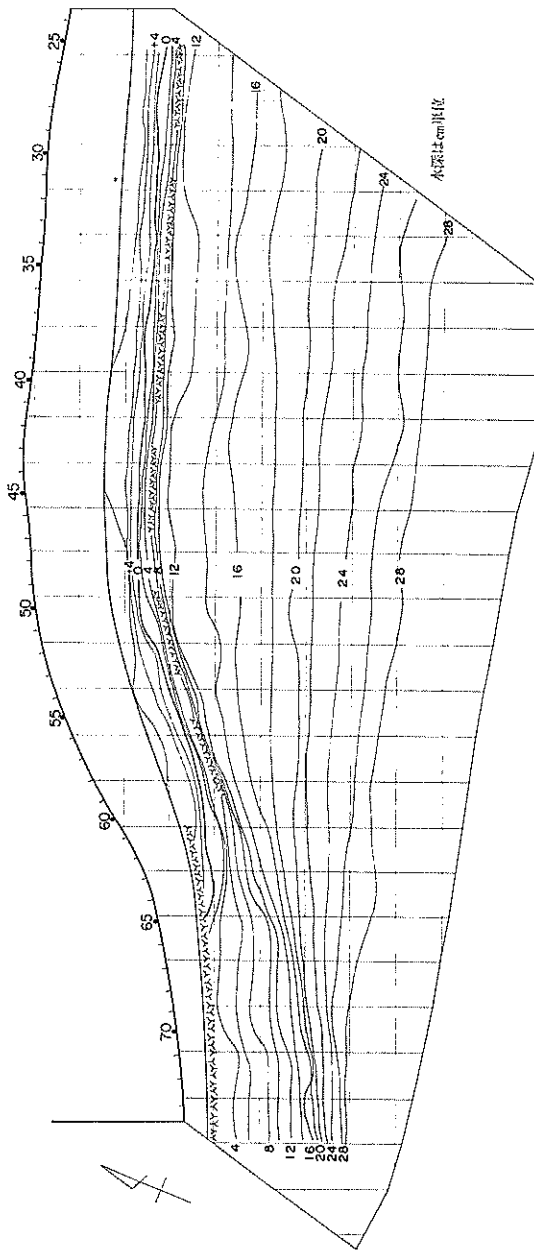


図-45-1 高天端離岸堤施工(ケース9),  
波作用前

(9) 高天端離岸堤施工(ケース9)

ケース8において、平行堤部の天端が低いため波が越波し、それより岸側の水位上昇をもたらしていた。そこで、このケースでは、離岸堤の天端高を6mとしたときの実験を行った。図-45-1、図-45-2が、初期、および

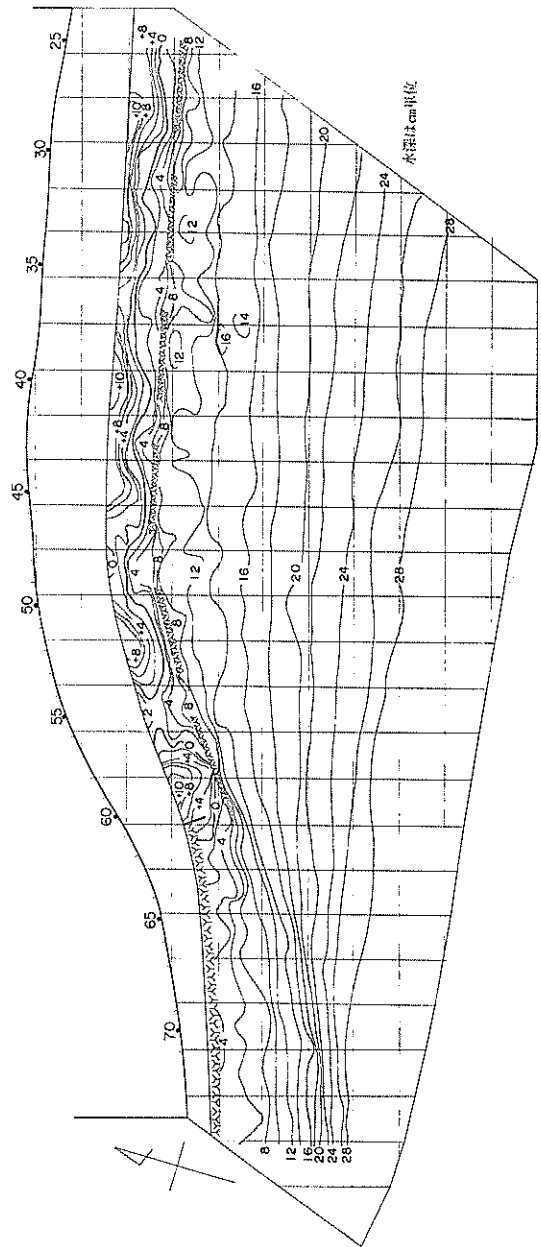


図-45-2 高天端離岸堤施工(ケース9),  
波2時間作用後

2時間後の深浅図である。この結果から、明らかに

- (a) 初期の養浜形状がほとんど完全に残っており、中間での侵食が少い。
- (b) 測点No.60~54の海岸線屈曲部での侵食は、この場合も防止できていない。

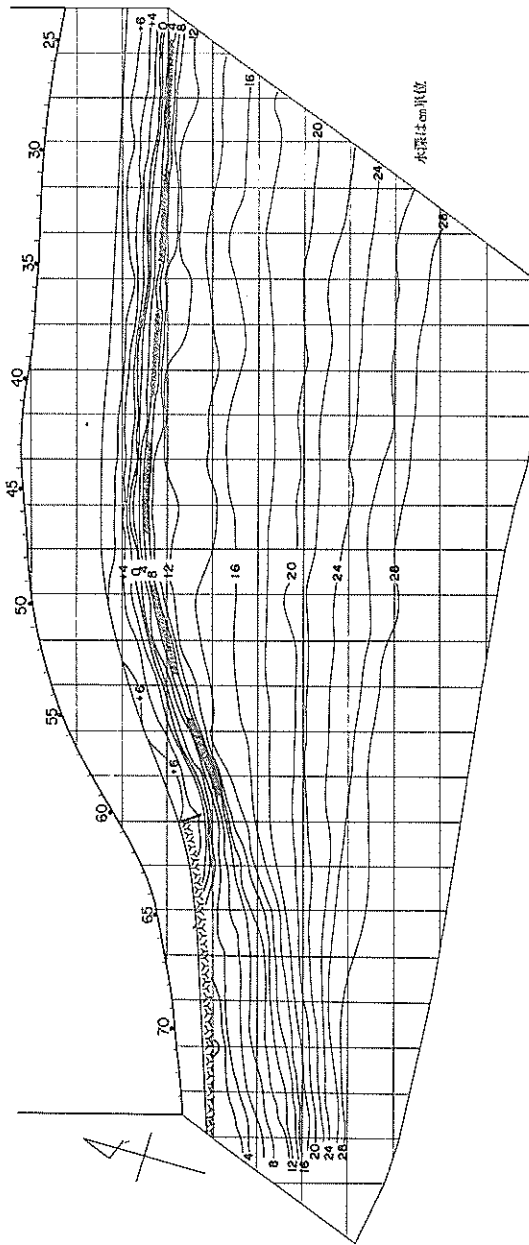


図-46-1 中天端高離岸堤施工(ケース10)  
波作用前

(a) 中天端高離岸堤施工(ケース10)

ケース9のように、離岸堤の天端を高くするのが最も効果的のようであるが、これでは建設費が高くなるばかりである。そこで、天端高を+3mにしたとき、浸食防止効果がどの程度落ちるかを調べてみた。図-46-1、46-2が、それぞれ初期および波作用2時間後の深浅図である。この結果から、つぎのようなことがいえるであろう。

(a) 測点系48以東においては、浸食防止効果がケース

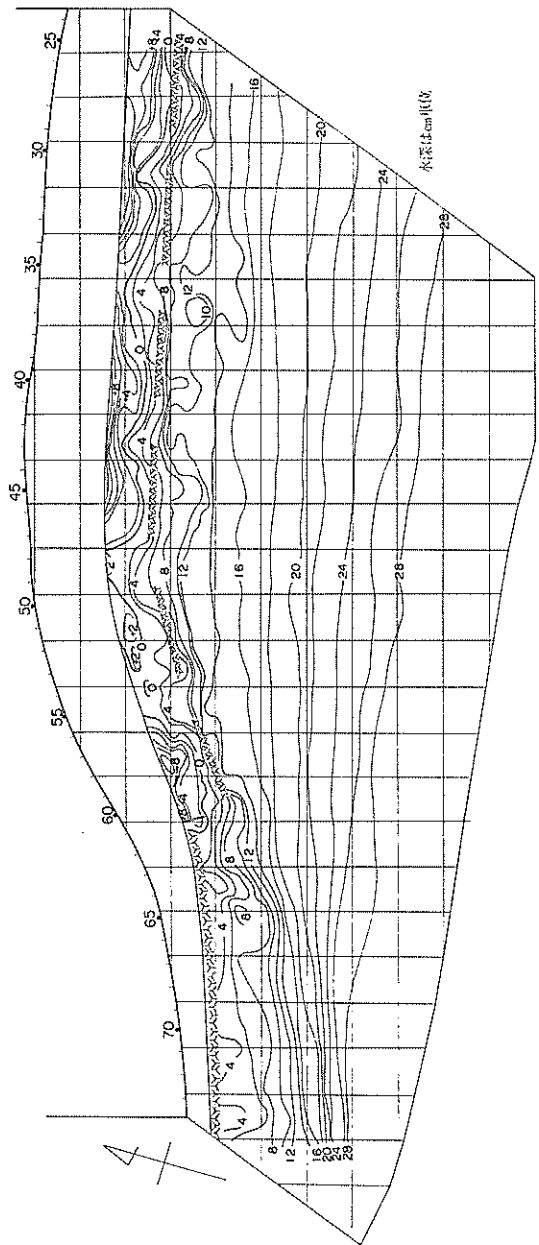


図-46-2 中天端高離岸堤施工(ケース10)  
波2時間作用後

9の場合とさほど変わらない。

(b) 測点系50~55にかけて、浸食が著るしい。

この測点系50~55における著るしい浸食の原因は、図-46-3の流況図をみると明らかになるようである。すなわち、この著るしい浸食領域より上手(西側)では、ほとんど流れがないのに、下手(東側)では、連続的な流れがある。このことは、この浸食領域から砂が出て行くことはあっても、入ってくる量が非常に少ないことを示すもので、

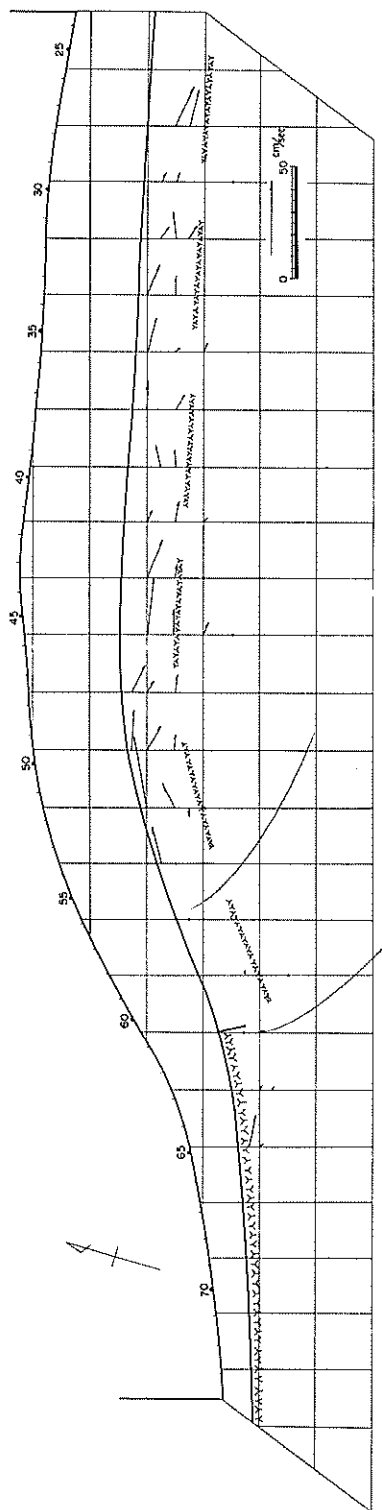


図-46-3 中天端高離岸堤施工(ケース10), 流況

結果として浸食が起こるのは当然考えられる。

#### 4) 各ケースの比較検討

海岸構造物の浸食防止効果を評価するには、多くの要素を考慮に入れる必要がある。例えば、浸食防止効果が大きい構造物の場合でも、もし、その建設費が膨大なものであれば、それを高く評価することはできないであろうし、また、養浜された全土砂量に対し、波や流れにより運び去られる土砂量が少ない場合でも、養浜海岸のある特定の場所が著るしく浸食されるようであれば、その工法がすぐれているとは言い難いであろう。しかし、ここでは、養浜の目的は、海面より高い部分を確保することであるという観点に立って、今まで述べた実験の各ケースについての比較検討を試みることにする。図-47は、浸食防止実験の各工法について、波作用2時間後の汀線の様子を一括して示したものである。これらの実験結果について、

(1) 汀線より陸側の部分が、できるだけ広く残っていること。

(2) 残った浜幅が、海岸線にそってできるだけ一様で、特定の場所が浸食されるようなことがないこと。

などを条件として、浸食防止工法のプライオリティーをつけてみると、つぎのようであろう。

(A) 高天端離岸堤施工(ケース9)

および

広幅T字型堤施工(ケース8)

ただし、測点62~65の浸食がある。

(B) 中間突堤施工(ケース6)

および

中天端高離岸堤施工(ケース10)

この両方とも、測点49~54までの浸食がはげしいが、それ以东はほとんど一様に浜巾が確保されている。

(C) T字型堤施工(ケース7)

突堤による養浜砂の保持率はよいが、突堤間の浸食がある。

(D) 突堤嵩上げ施工(ケース5)

ケース7と同様、養浜砂の突堤による保持率は、非常に良好であるが、突堤間の浸食がはげしい。

(E) 突堤施工(ケース4)

および

復旧養浜(ケース3)

漂砂の上手の領域における浸食がはげしい。

(F) 限定養浜(ケース2)

全体的に浸食がはげしい。

以上の結果から、浸食防止効果が高いのは、ケース6~

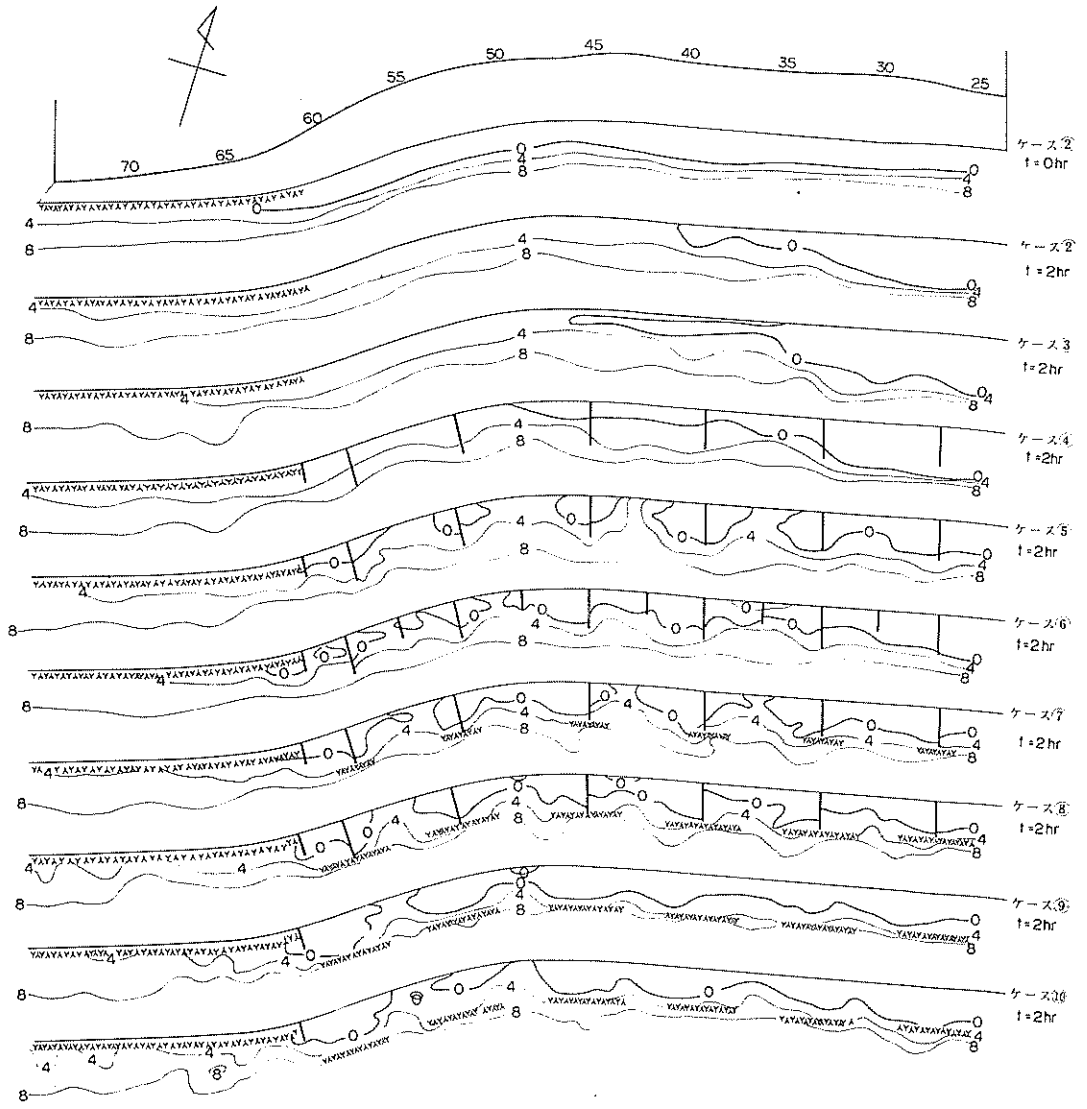


図-47 各工法の浸食防止効果の比較

10であることがわかる。そこで、これらのケースについて、さらに詳細に調べてみるため、突堤先端より岸側の領域の土量変化を、各突堤間ごとに計算してみた。図-48は、その結果を图示したもので、比較のため、突堤を施工しない限定養浜（ケース2）に対する土量計算の結果も、同時に示しておいた。また、この図から、全区間の土量変化を各ケースごとに求めると、図-49のようになる。これらの図から、

- (1) 突堤間の浸食量の小さいもの
- (2) 海岸線に沿っての浸食量が、ほぼ一様であることなどの観点から、プライオリティーをつけてみると
- (A) 高天端離岸堤施工（ケース9）

- 中天端離岸堤施工（ケース10）
  - (B) T字型堤施工（ケース7）
  - 広幅T字型堤施工（ケース8）
  - (C) 中間突堤施工（ケース6）
- の順になる。このように、いずれにしてもプライオリティーが高いのは、ケース7～10であり、ケース6は海面より高い浜の部分は広く残すとはいえ、浸食土量が多かったので、下位になった。しかし、建設費の観点からみると、浸食防止効果の高いケース7～10は非常に高価であり、それらに比べてケース6が安価であることはいうまでもない。そこで
- (1) 養浜の主目的は、海面より高い浜をできるだけ広く



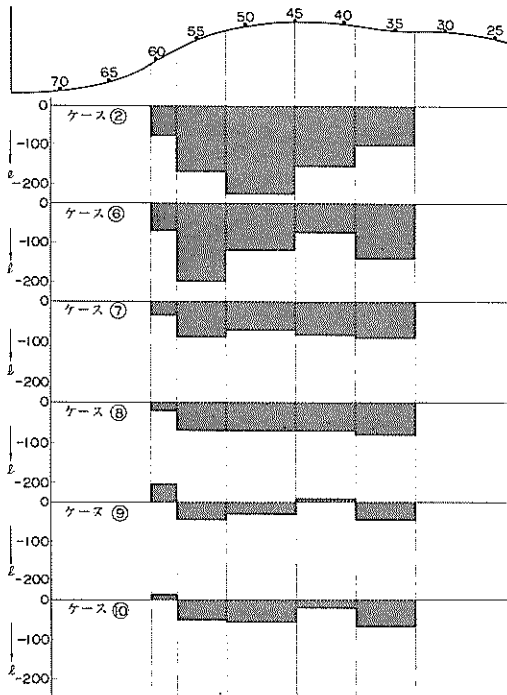


図-48. 突堤先端より岸側における土量変化

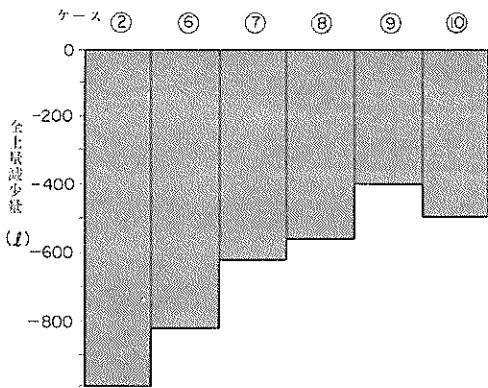


図-49 各ケースごとの全区間の土量変化

するのが目的であり、海面下の土量保持については、それほど重要視しない。

- (2) 建設費が安価であることは重要な条件である。
- (3) この実験にみられた海底変化をもたらすほど時化が長時間続くことはないであろう。
- (4) 浸食防止工法は、時化の時一度に災害を被るほど浸食されてしまうのを防止できれば当面の目的は達成できたのであり、時化の間に浸食された個所は、海上が

静穏になったとき砂を補充すればよい。

ことを考えると、突堤の間に短い中間堤を施工したケース 6 の場合の方が、この実験の他のどのケースより高位のプライオリティーにあるといえることができるであろう。

最後に、本実験では、通常の時化に相当する波高 2 m (模型波高 4 cm) を用いた現況実験において再現性を確認した後、異常時化の波高 3 m (模型波高 6 cm) を用いて浸食防止実験を行った。しかし、模型波高が 4 cm から 6 cm に変化した場合、模型再現性が依然として、現況実験で確かめられたと同程度に、保たれているかどうかは不明である。従って、現況実験における時間縮尺、すなわち、現地の 1 年間に模型内の 1 時間に相当するということは、高い波高を使った養浜実験においては、適用するわけにはいかない。養浜実験における波の作用時間 (2 時間) は、浸食、堆積を顕著にして、各工法での浸食防止効果の比較を容易にするために定められたものに過ぎない。また、ケース 2, 3 に見られたように、漂砂上手における人工海浜の著しい浸食は避けられないようである。これに対しては、海岸堤防、消波工等により、海岸保全に万全をつくす必要があるようである。

## 6. あとがき

以上、まず須磨海岸の漂砂についての現況実験を行い、移動床模型の再現性を検討した後、種々の養浜浸食防止工法を施工した人工海浜をつくり、台風時の波を作用させて、養浜浸食防止工法について検討した。

この研究に使用した現地資料は、第三港湾建設局調査設計事務所および港湾技術研究所の協力のもとに、神戸市開発局の担当で行われた現地調査の結果である。また本研究は、水工部漂砂研究室室長佐藤の指導のもとに、入江、天坂が担当した。なお、実験の実施、資料の解析に協力いただいた第三港湾建設局調査設計事務所浅川昭技官、当研究室堀江毅、佐々木克博、新保修技官に感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 佐藤昭二、田中則男、入江功、平原淳次  
：港湾埋込に関する移動床模型の再現性、港湾技術研究所報告・第 9 巻第 1 号、昭和 45 年 3 月

港湾技研資料 No. 106

1970・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント  
東京都港区西新橋3-24-9 飯田ビル

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