

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

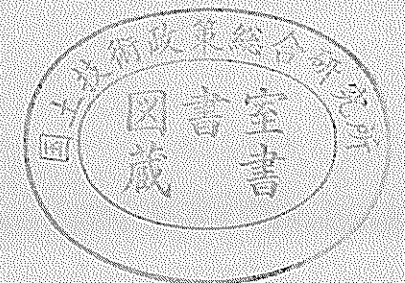
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 17

NO. 1

MAR. 1978

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第17巻 第1号 (Vol. 17, No. 1), 1978年3月 (Mar. 1978)

目 次 (CONTENTS)

1. 徳島空港延長に関する漂砂模型実験
..... 佐藤昭二・小笹博昭・永井紀彦..... 3
(Model Experiment on Branch Profile Change due to the Runway Extension of Tokushima AirportShoji SATO, Hiroaki OZASA and Toshihiko NAGAI)
2. 砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例
..... 田中則男・小笹博昭・加藤一正
柳島慎一・小笠原昭・小山内英雄.....57
(Methods and the System of Field Observation of Phenomena in Surf Zone and some Aspect of the Surf ZoneNorio TANAKA, Hiroaki OZASA, Kazumasa KATO, Shin-ichi YANAGISHIMA, Akira OGASAWARA and Hideo OSANAI)
3. 沿岸波浪推算法についての考察——港湾における実施上の問題点——
..... 高橋智晴・広瀬宗一・佐々木徹也.....89
(Consideration on the Coastal Wave Hindcasts—Problems in Executing Wave Hindcasting—Tomoharu TAKAHASHI, Munekazu HIROSE and Tetsuya SASAKI)
4. 海上航行船舶挙動に関する研究 (第3報)
——広域水域における実態調査手法——
..... 奥山育英・早藤能伸・吉田行秀・中辻 隆... 119
(A Study on Marine Traffic Behaviors (3rd Report)—Marine Traffic Survey in the Broad Expanse of Water Area—Yasuhide OKUYAMA, Yoshinobu HAYAFUJI, Yukihide YOSHIDA and Takashi NAKATSUJI)

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

佐藤 昭二*・小笹 博昭**

永井 紀彦***

要 旨

徳島空港の滑走路は、現在延長 1500 m のため YS11 等の小型機しか発着できず、増加しつつある旅客需要をさばききれなくなっている。そこで、滑走路を海側に 600 m 埋立延長し、ジェット機の就航を可能にさせることが計画されている。

徳島空港のある松茂海岸は、吉野川河口から 2 km 北側の今切港と、さらにその北側にある粟津港との間にはさまれた延長約 4 km の弓形の海岸であり、吉野川三角州上の一部をなしている。南東または南南東方向から太平洋の波が侵入するので、沿岸漂砂の主方向は南から北である。しかし、近年の吉野川の土砂供給量の減少に加え、今切粟津両防波堤建設のため、松茂海岸に流入する漂砂もまたここから流出する漂砂も、きわめて少ない。そのため、現在、今切側で海岸欠壊、粟津側で堆積性となっている。

したがって、建設に先だち、空港延長が松茂海岸にどのような影響を及ぼすかを予測し、もし都合が悪いことが予測されるのなら、どのような対策工設置が望ましいかを検討する必要がある。このため、港湾技術研究所大型水工実験場で漂砂模型実験を実施した。

SE を波の主方向として、予備実験において実験波の諸元を決定したのち、本実験をおこなった。さらに SSE と ENE の波向についても、追加実験をおこなった。これらの実験により、本空港延長の付近海浜に与える主要な影響として、次のことが把握された。

本海岸の漂砂は、主として水深 $-2 \sim -3$ m 以浅において起り、年間漂砂量は数万立米の北向きである。空港延長は、この北向きの沿岸漂砂を遮ぎり、今切側の海岸欠壊を弱め、粟津側の堆積を阻止する。しかし、計画されている空港延長部分と粟津港の間の砂浜は、現在幅 100 m 以上もあり、また空港延長によってこの部分の波浪と沿岸流は減少するので、中央部の汀線後退があるとしてもわずかであり、問題とするに至らない。様子を見て、必要があれば、離岸堤によって十分対処し得る。空港今切間については、空港延長により侵食を妨げることができるといっても、その中央部については十分でなく、現在実施されているように離岸堤を建設して行くべきである。

* 次長

** 水工部 海岸地形解析主任研究官

*** 海洋水理部 水理研究室

Model Experiment on Beach Profile Change due to the Runway Extension of Tokushima Airport

Shoji SATO*

Hiroaki OZASA**

Toshihiko NAGAI***

Synopsis

The length of the runway of the Tokushima airport is 1500 m, so only small airplanes can use the airport. As the number of travelers has been increasing, the Tokushima airport is now filled to capacity. A plan to extend the runway 600 m into the sea has been proposed by Ministry of Transport. However, the Matsushige coast, where the airport is located, has been eroded due to the decrease of the sand supply from the Yoshino River and the construction of break-waters at Imagiri and Awazu, and some offshore breakwaters have been constructed there to protect the shoreline. It is necessary to know the effect of the extension of the runway by reclamation on the shoreline.

We constructed a movable-bed model in the Large Hydraulic Engineering Experiment Facility in the Port and Harbour Research Institute. We set a wave generator first in the main direction SE, and then in the two secondary directions SSE and ENE. The results of the experiment are as follows.

1. The reclamation will reduce the coastal erosion between the airport and Imagiri Port.
2. The shoreline's configuration will become concave between the airport and Awazu Port.

* Vice-director

** Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division

*** Member of Hydrodynamics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

目 次

要 旨	3
1. はしがき	7
2. 松茂海岸の漂砂特性	7
3. 実験方法	11
3.1 模 型	11
3.2 測定方法	12
3.3 潮 位	12
3.4 実験波	13
4. 予備実験	14
4.1 予備実験の方法	14
4.2 予備実験の結果	15
4.3 深浅予備実験	16
5. 本 実 験	18
5.1 実験ケース	18
5.2 汀線変化	19
5.3 海底地形変化	21
5.4 沿岸漂砂量	41
5.5 波と流れ	43
6. SSE, ENE 波向追加実験	44
6.1 実験ケース	44
6.2 SSE 波向実験結果	47
6.3 ENE 波向実験結果	49
7. 結果の考察	54
8. あとがき	55
参考文献	55

1. はしがき

航空輸送は、近年急速にその需要を高めつつある。特に本報告書が対象とする徳島においては、本州と陸つづきでないで、航空輸送の担う役割はきわめて重要である。

しかし、徳島空港の滑走路は現在延長 1500 m で、YS 等の小型機しか発着できず、すでに旅客需要をさばききれなくなっている。そこで、滑走路を海側に 600 m 埋立延長し、ジェット機の就航を可能にさせることが、運輸省で計画されており、地元からもこの計画の実現が強く要望されている。

一方、空港の南側の海岸は近年侵食が進み、突堤や離岸堤などの侵食対策工が実施されている。また、空港の北側の海岸は海水浴場として広く地元の人々のレクリエーションに利用されている。したがって、空港延長の工事に先だち、空港延長が付近の海岸にどのような影響を及ぼすかを予測し、さらに、もし都合の悪いことが予測されるなら、どのような対策工設置が望ましいかを検討する必要がある。このため、本漂砂模型実験を実施した。

実験は運輸省港湾技術研究所大型水工実験場でおこなった。実験波向としては主方向の SE に加え、SSE、ENE の各波向についても追加実験をおこなった。本報告は、これらの実験結果を述べたものである。

2. 松茂海岸の漂砂特性

本報告の対象とした松茂海岸は、図-2.1 に示すように、今切港北防波堤と粟津港南防波堤とはさまれた南

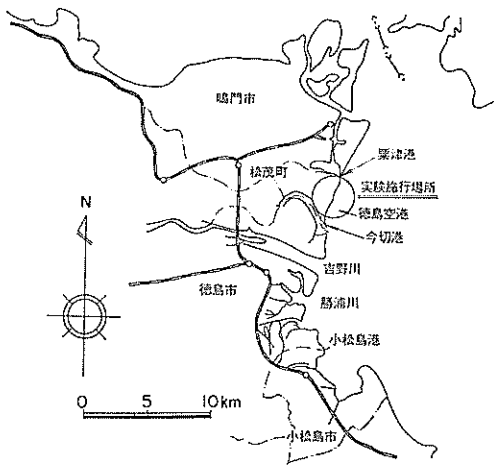


図-2.1 徳島空港位置図

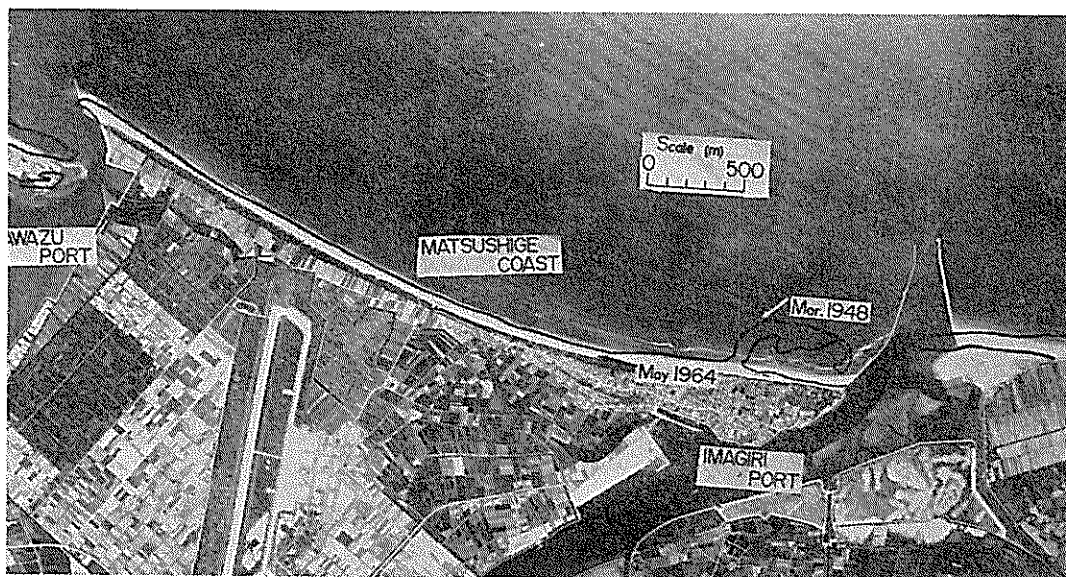
北に延びる約 4000 m の弓形状の海岸である。この海岸は、今切港から約 2000 m 南に河口をもつ吉野川の三角州上の一部をなすものである。沿岸漂砂の大勢として、吉野川からの排出土砂が北向きにこの海岸および撫養海岸を通して鳴門の方向にむかっていることは、図-2.2 に示す海岸線線の形状や、現地における卓越波向から推察できる。また、図-2.3 は、田中、小笹による港研資料 No. 192¹⁾ より転載した航空写真で、昭和 39 年では今切防波堤はほとんど完成しているが粟津南防波堤は延長約 150 m であり、44 年にはそれも 550 m の現在延長に達している。この粟津南防波堤付近の汀線前進からも沿岸漂砂の主方向が南から北にむかっていることがわかる。

しかしながら、現状においては、吉野川からの排出土砂量の減少に加えて今切港および粟津港防波堤完成のために、吉野川河口から北上して松茂海岸に流入する漂砂も、松茂海岸から粟津防波堤を越えてさらに北上する漂砂も、年間を通じてはきわめて少ないものと考えられる。

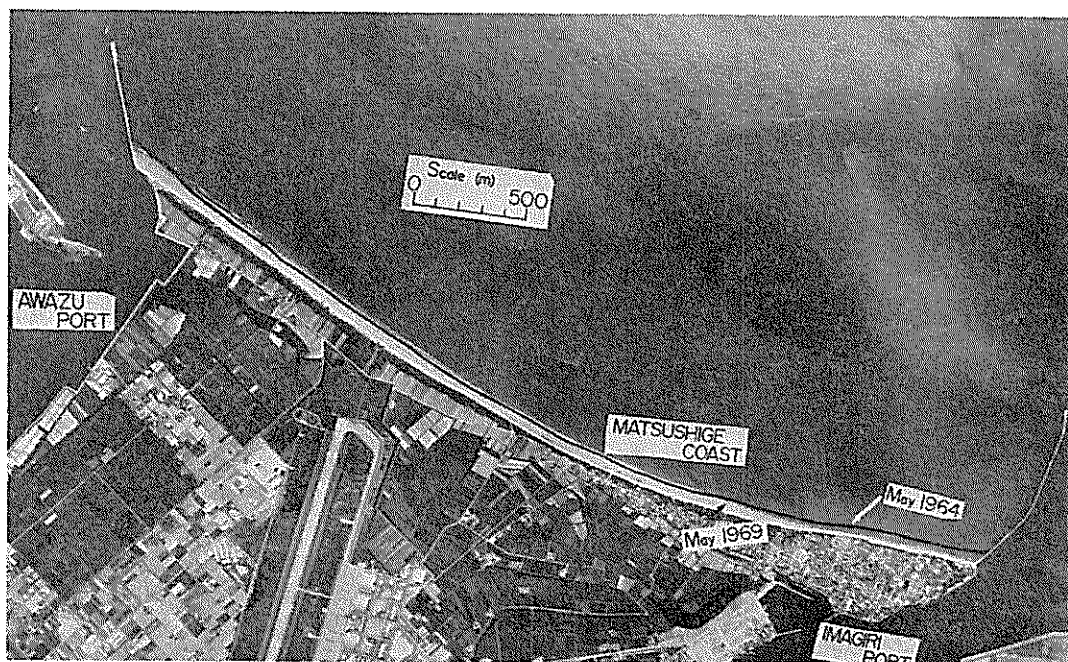
図-2.2 に示す汀線を見ると、現在、今切港北防波堤から約 1600 m の間には砂浜がなく、それから粟津港に近づくにつれて次第に砂浜が出現し、粟津南防波堤のすぐ近くでは約 100 m の幅の広い砂浜となっている。

等深線の配置を見ると、-5 m の等深線は、今切港北防波堤先端からしだいに砂浜に近づき、中央部からはほぼ砂浜に平行に北上し、粟津港南防波堤先端に至る。それ以深の等深線は、砂浜と平行に走る部分が -5 m 等深線より短く、今切港北防波堤沖から斜めに砂浜に近づき粟津港南防波堤沖に至る。そして、-9 m 以深の等深線は、今切港沖から粟津港まで途中で湾曲することなく直線状に走っている。粟津港南防波堤先端付近で -5 m ~ -7 m の勾配が 1/50 と他の所よりも急になっていることから、沿岸漂砂の一部が粟津港内に流入している可能性は十分考えられる。一方、-5 m 以浅の等深線は、浅いものほど海岸と平行に走る区間が長くなっていて、今切港北防波堤から急激に海岸に近づいていく。特に -2 m 以浅の等深線は、ほぼ全域にわたって砂浜と平行に走っている。

沿岸砂州は、砂浜のない南側の部分には存在せず、中央から北側にかけて存在し、その形状も北側ほど明瞭になる。このことは波の主方向が後述するように SE 方向であることと密接に関係をもつ。SE 方向の波に対しては、今切防波堤は松茂海岸南部を遮蔽する役割をもつ



昭和 39 年



昭和 44 年

図-2.3 昭和39年と44年の航空写真比較

でその部分の波高は小さくなり、粟津防波堤は北部に波を集中させる役割をもつのでその部分の波高は大きくなることが予想される。このため、北寄りほど沿岸砂州の発達が顕著になる。これらの沿岸砂州は -2m と -3m

の等深線の中に存在し、比高は $1\sim 1.5\text{m}$ と小さい。そしてこの沿岸砂州の位置、比高は、ここ $2\sim 3$ 年の現地調査期間中にはほとんど変化していない。

海底の底質の中央粒径は、図-2.2 に示すように前浜で

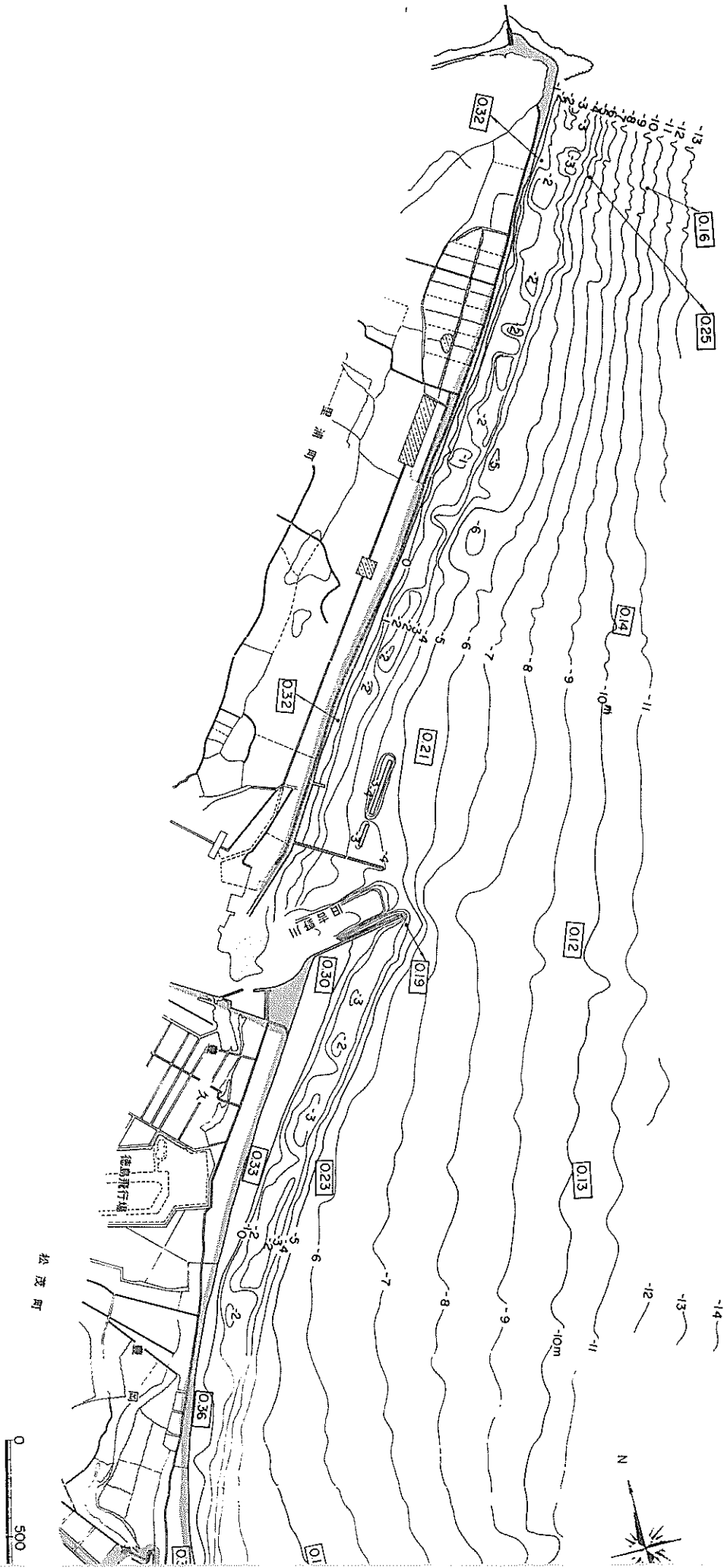
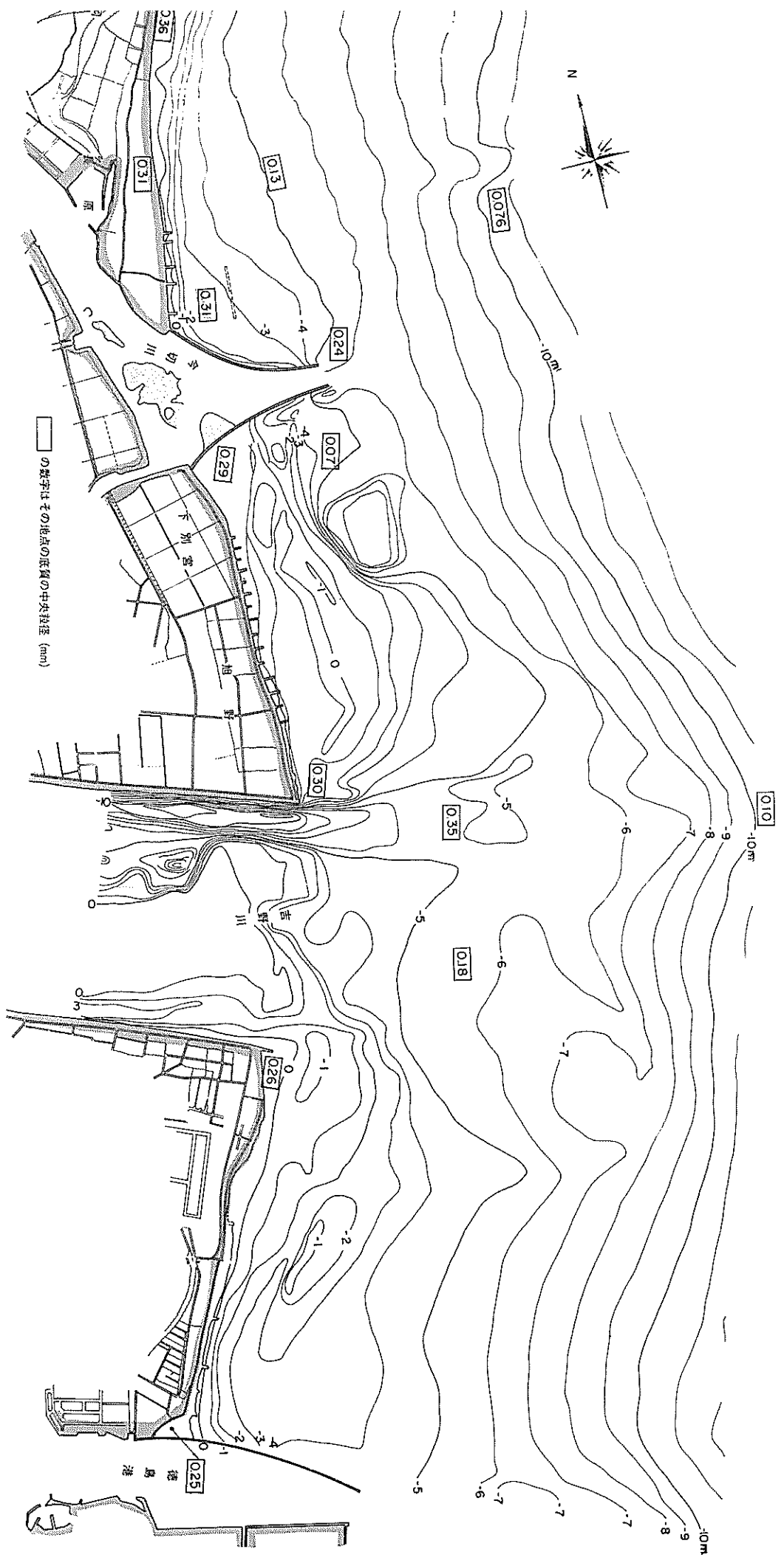


圖 2.2 現地周辺深淺



□の数字はその地点の底質の中央水深 (m)

地周辺深淺図

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

表-2.1 5年間の深海波のエネルギー推算値(昭和46年1月~50年12月)

深海波向	W_i (t·m/m)
NE	12 020
ENE	3 400
E	5 300
ESE	125 440
SE	492 850
SSE	2 108 400
S	115 430
$\Sigma W=2 862 840$	

0.3~0.4mm, -5m 付近では 0.17~0.2 mm, -10m 付近では 0.12mm 程度であり, 細砂の海浜である²⁾。

この海岸に襲来する波については, 表-2.1 に示すように夏季および秋期に紀伊水道から入ってくる SSE~SE 方向の波が卓越している³⁾。その波高は表-2.2

や後述する表-3.1 に示すように小さく, 2m を越える波高は年間を通じて 2~3 回である⁴⁾。台風が紀伊水道を通過するとき以外は, 3m を越える波高はないと考えてよいであろう。冬期の季節風による北寄りの波は, 風速と吹送距離との関係から 2m を越える波高になることはきわめて稀である。

波高 2m, 周期 8秒, 底質粒径 0.2mm に対する佐藤・田中の完全移動限界水深を計算すると⁵⁾, 水深 5.2m となる。この水深は, 今切港北, 粟津港南の両防波堤の先端水深にほぼ等しい。

以上のことから, 本研究の対象地区である松茂海岸は漂砂移動の観点からみて, 通常は隣接する海岸からはほとんど独立していると考えられる。すなわち, 近くを台風が北上するような激浪時の場合を除けば, 今切防波堤

表-2.2 $H_{max} \geq 1m$ の波高計による観測記録

発生年月日時	H_{max}	T_{max}	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	原因
75-11- 6-20	1.70	5.5			日本海低気圧
15- 2	1.72	5.3			南岸低気圧
18-14	1.19	5.5			土佐低気圧
23- 4	1.45	12.0	1.14	15.4	台風 20 号うねり
76- 2-14-16	1.10	5.5			九州に低気圧
18-12	1.22	6.5			南岸低気圧
22-12	1.90	6.2	1.06	7.2	二つ王低気圧
28-10	1.79	5.3			日本海低気圧
29- 4	1.24	8.9			四国付近低気圧
3-29-20	1.22	5.5			瀬戸内に低気圧
5-25- 4	1.79	14.6	1.31	15.1	台風 6 号うねり
6- 5-10	1.06	6.5			四国に低気圧
7-24-10	2.14	9.4	1.42	10.8	台風 12 号うねり
8- 9- 4	1.37	10.6			台風 13 号うねり
30-18	1.06	4.8			四国地方に低気圧
9- 9- 2	1.51	12.0			台風 17 号うねり
13-10	2.49	5.8	1.31	7.0	" 風波
10-28- 8	1.07	5.3			二つ王低気圧
11-13-22	1.91	4.8			二つ王低気圧

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

を越えて南から侵入する漂砂や粟津防波堤に沿ってその先端を北へ越えて行く漂砂量は極めて少ない。そして、大部分の漂砂移動は、水深 -2m ~ -3m 以浅においておこっていると思われる。これは、通常の時化による波高が 1m を少し上まわる程度であること、-2m と -3m の等深線の間隔が両端の防波堤近くで特に広がっていること、などからも推察される。

なお、松茂海岸には、今切港から粟津港を結ぶ全海岸線に沿って、天端高 DL +7m の護岸が建設されている。

3. 実験方法

3.1 模型

港湾技術研究所大型水工実験場内の水槽（長さ 50m, 幅 30m, 深さ 100cm）に、図-3.1 に示すように今切から粟津までの空港周辺の模型をつくった。

水平縮尺は 1/200, 鉛直縮尺は 1/50 とした。海岸護岸から DL -10m までを $d_{50}=0.29\text{mm}$ の細砂による

移動床とし、DL -10m から -15m までを防水モルタル仕上げの固定床として現地地形を再現した。実験に用いた底質の粒径加積曲線を図-3.2 に示す。造波機は延長 25m のプランジャー型を用いた。ただし SSE, ENE 波向の追加実験では、模型の収まりの関係上、造波機の一部を切り離し延長 19.5m とした。

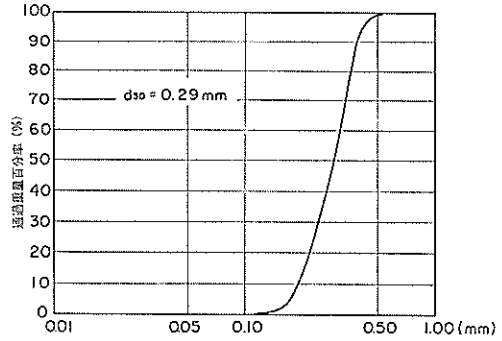


図-3.2 模型底質粒径加積曲線

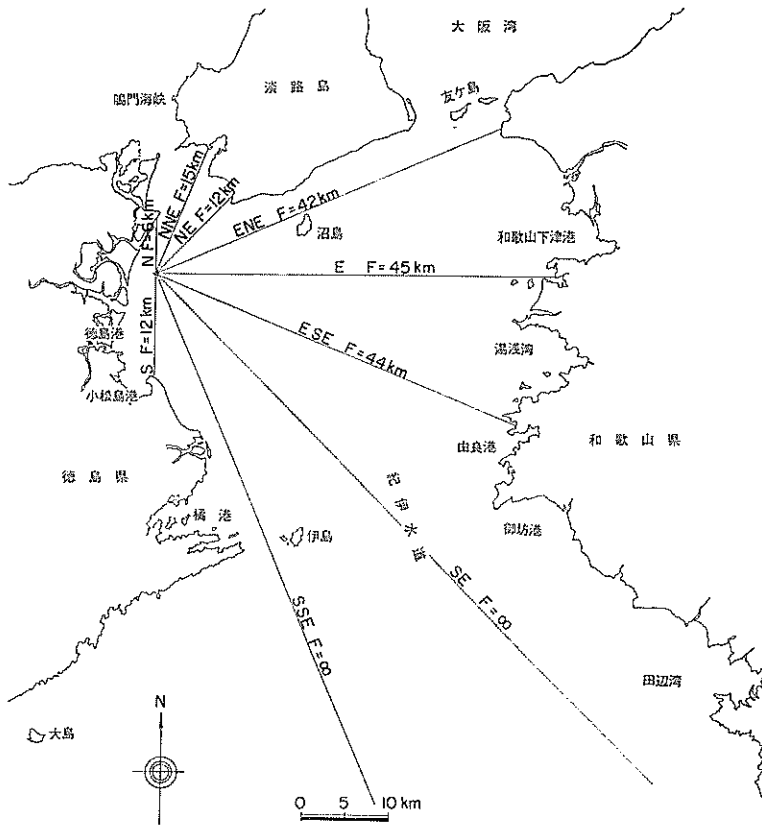


図-3.3 波向別吹送距離

3.2 測定方法

この実験の測定事項は、汀線、海底地形、沿岸漂砂量、波高分布、海浜流である。

汀線測量は、モルタル壁面(護岸法線と一致)から汀線までの水平距離を、汀線方向に現地間隔 100 m (模型 50 cm) おきに、ものさしを用いて測定した。海底地形は、標尺レベルを用いて約 3000 点について測定した。測定間隔は、護岸から現地距離 200 m (模型 100 cm) の間は、汀線方向 40 m 間隔 (模型 20 cm 間隔) 汀線直角方向 20 m 間隔 (模型 10 cm 間隔) とした。その沖側 200 m の間は縦横とも 40 m 間隔とし、さらにその沖側は縦横とも 100 m (50 cm) 間隔とした。標尺は 1 mm (現地 5 cm) 単位の目盛りのついた断面 1×2 cm の木の棒を用いた。沿岸漂砂量は、空港付近に汀線に対し直角方向一

列に埋めたステンレス製トラップと、模型の累津側端部にある木わくとで測定した。波高は容量式波高計で測定し、ペンオシロに記録させた。海浜流は、径 2 cm の木製の中空の球におもりを入れて比重をほぼ 1 とした球の移動を目測し測定した。

また、移動床の部分には、汀線方向には 50 m 間隔 (模型 25 cm 間隔) 汀線直角方向には水深 1 m (模型 2 cm) 間隔に径 4 mm の真鍮棒をさしてあり、それに実験開始時 ($t=0$) における海底地形のマークを入れておき、砂面調整に便なるようにした。

3.3 潮位

徳島空港付近の潮位は D.L. を基準にして次のようになっている。

$$H.W.L. +1.848\text{ m}$$

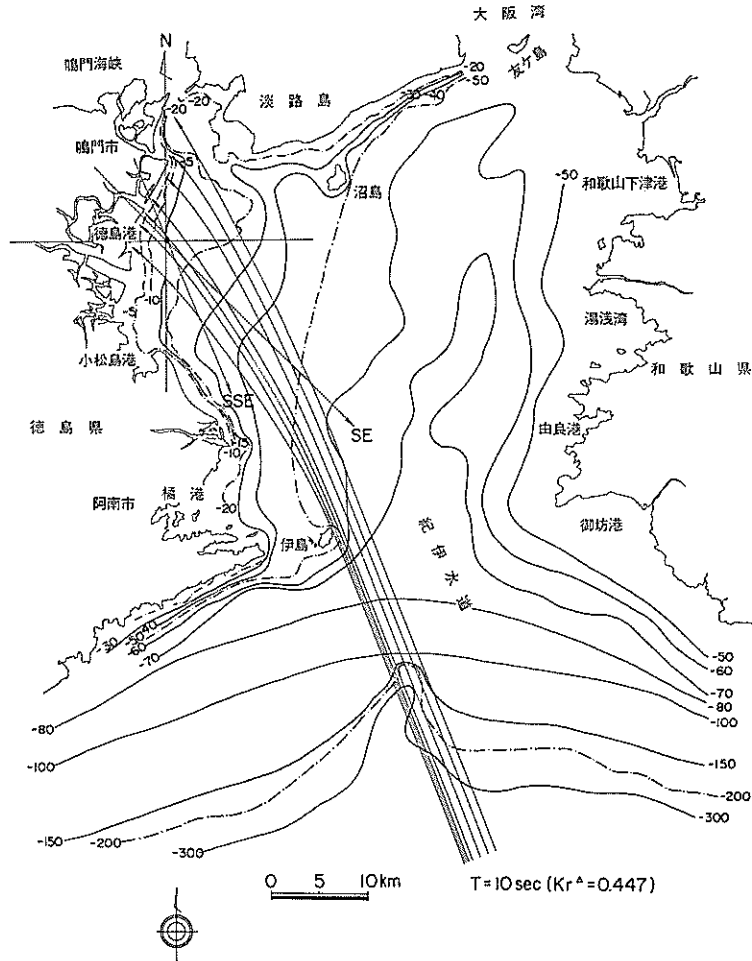


図-3.4 SSE 波屈折図

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

M.W.L. +1.008m

L.W.L. -0.010m

実験水位は M.W.L. をとり D.L. +1m の一定とした。

3.4 実験波

実験波の諸元は、次のように決定した。

- 1) 実験に先だっておこなわれた波浪推算の結果にもとづき、波向を決定するとともに波高周期の値のめやすをつける。
- 2) 予備実験により、どのような波高周期の波が現地の汀線変化を忠実に追跡するかを検討する。
- 3) さらに深浅予備実験をおこない、予備実験において汀線一致のよかったケースについて、砂の移動状況を検討し、実験波の波高と周期、また時間縮尺を決定する。

この節では、1) について述べる。

(1) 波 向

図-3.3 は、第三港湾建設局発行の徳島飛行場波浪調査

報告書³⁾による徳島空港沖合における方向別の吹送距離図である。また、前述した表-2.1 の同じ報告書による波浪エネルギーより、SSE が深海波の主たる波向であることがわかる。図-3.4 は、やはり同じ報告書による周期10秒で SSE 方向から来襲する波の屈折図である。これより、深海波向 SSE の波は、この実験における造波機設置位置水深すなわち -15m 付近では、屈折によりむしろ SE に近い波向になっていることがわかる。

以上の結果、造波機位置における実験波の波向を本実験に対して SE 方向と定めた。ただし、それより南寄りおよび北寄りの波の漂砂特性を知るために SSE および ENE の波についても追加実験をおこなうこととした。エネルギーが非常に小さいにもかかわらず ENE 波向についても追加実験をする理由は、冬季の季節風による北寄りの波の影響を知るためである。

(2) 波高と周期

波高と周期は、実験的に決定したが、そのめやすとし

表-3.1 S E波向波高周期発生確率 (49年4月~51年1月推算値)

注: () 内は $F=\infty$ とし $t=8h$ の場合の推算値

波高(m)	月別 周期(sec)	月別												回数	季節				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		春	夏	秋	冬	
0.4	2.4				1		1	1							3	1	2		
0.5	2.7																		
0.65	3.0					1								1	1				
0.8	3.3																		
0.9	3.6																		
1.1 (1.5)	3.8 (4.8)								1 (1)			1		2 (1)		1 (1)	1		
1.2	4.0																		
1.4	4.3																		
1.6	4.5																		
1.7	4.8																		
1.9	5.0																		
2.1 (3.0)	5.2 (6.5)							(1)						(1)		(1)			
2.1 (3.0)	5.2 (6.5)																		
2.3 (3.3)	5.3 (6.7)							1	1 (1)					2 (1)		2 (1)			
2.5	5.6																		
回 数					1	1	1	2 (1)	2 (1)			1		8 (3)	2	5 (3)	1		

表-3.2 SSE波向波高周期発生確率 (49年4月~51年1月 推算値)

注: () 内は $F=\infty$ とし $t=8h$ の場合の推算値

月別 周期 波高(m)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	回数	春	夏	秋	冬
0.3	2.1						6		1	2				9		7	2	
0.4	2.3					1	3	1	3	1				9	1	7	1	
0.45	2.4				1	1	1	2	2	1	1			9	2	5	2	
0.55	2.6						1	3	2	1				7		6	1	
0.65	2.7					1	1		1	2		1		6	1	2	3	
0.7 (1.5)	2.8 (4.8)				1	1 (1)		2						4 (1)	2 (1)	2		
0.75 (1.7)	3.0 (5.0)				1 (1)	1								2 (1)	2 (1)			
0.8 (1.9)	3.1 (5.3)											1 (1)		1 (1)			1 (1)	
0.9 (2.2)	3.2 (5.7)				1		(1)							1 (1)	1	(1)		
1.0 (2.4)	3.3 (5.9)			(1)			1		1 (1)			1		3 (2)	1 (1)	1 (2)	1	
1.1	3.4																	
1.2	3.5			1										1	1			
1.2 (3.0)	3.6 (6.5)									(1)				(1)			(1)	
1.3	3.7																	
1.4 (3.5)	3.8 (7.0)									1				1			1	
回数				1 (1)	4 (1)	5 (1)	13 (1)	8	10 (1)	8 (1)	1	3 (1)		53 (7)	10 (3)	31 (2)	12 (2)	

てはやはり前述の資料を用いた³⁾。表-3.1, 表-3.2 は、それぞれ深海波向 SE, SSE についての推算波高, 周期の発生確率回数を示したものである。

移動床模型実験においては、砂の粒径を模型の縮尺と同様に小さくすることができない。もし、小さくすれば粘土やシルトになってしまい、粒子間の吸着力が生じ、砂とは異なった性質になってしまうからである。そこでいくぶん大きめの波をかけなければ、砂が移動しなくなる。すなわち、漂砂の模型実験においては、波についての相似と砂の移動についての相似を同時に保つことは困難であるので、どのような波が現地に近い砂の移動をおこすかを実験的に定めなければならない。

以上の理由で、台風時の場合に相当する波高 2.5~4.5 m (模型 5~9 cm), 周期 8~12 秒 (模型 1.13~1.71 秒) を実験波のめやすとした。

4. 予備実験

4.1 予備実験の方法

上記のような理由で、実験波の波高と周期を定めるため、昭和 39 年から 44 年までの 5 年間の汀線変化を追跡する予備実験をおこなった。図-2.3 に示した航空写真からの解析の結果、現地においてはこの 5 年間に図-4.1 に示すような汀線変化がおこっている¹⁾。この間、粟津防波堤は 150 m から 550 m に、400 m 延長されている。

この予備実験をおこなうには、昭和 39 年の海底地形がわかっていなければならないが、昭和 39 年の深淺図がなかったので、図-4.2 のような方法で昭和 39 年の海底地形を推定した。すなわち昭和 39 年の航空写真から求めた汀線位置を昭和 50 年の汀線直角方向各断面に記入し、昭和 50 年の汀線付近の断面形状を平行移動し、これを昭和 39 年の海底地形とした。また、予備実験における防波堤などの構造物配置は、昭和 44 年の航空写

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

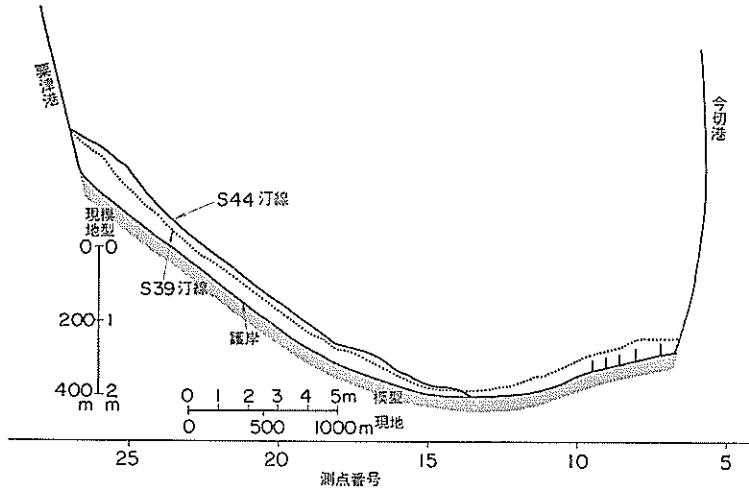


図-4.1 昭和39年から44年の汀線変化

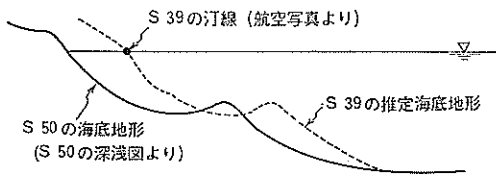
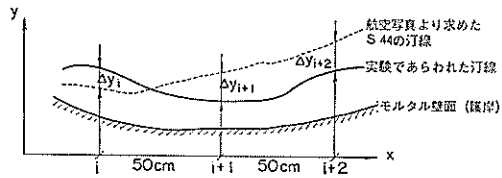


図-4.2 昭和39年海底地形の推定法



$$\text{標準偏差} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum(\Delta y_i^2)} \quad (n \text{ は測線数})$$

図-4.3 汀線一致の調べ方

真に従った。

実験は、表-4.1 に示す6ケースについておこなった。波作用によって変化した汀線が昭和44年の汀線にどれだけ近づいたかを知るため、図-4.3 に示すような方法で、各測定時ごとに昭和44年の汀線からのずれの標準偏差を求めた。すなわち、汀線方向50cm間隔ごとに昭和44年の汀線位置との差を求め、その差の自乗平均を求めた。

実験波の波高周期の換算には、フルード相似を用いた。

表-4.1 予備実験ケース

ケース	現地波高 (模型)	現地周期 (模型)
1	4.3m (8.5cm)	10sec (1.41sec)
2	3.1 (6.2)	12 (1.71)
3	2.9 (5.8)	10 (1.41)
4	3.4 (6.8)	10 (1.41)
5	2.7 (5.3)	8 (1.13)
6	3.7 (7.4)	8 (1.13)

すなわち、

$$H_m/H_p = h_m/h_p = 1/50$$

$$T_m/T_p = (h_m/h_p)^{1/2} = 1/\sqrt{50}$$

ここで T_m/T_p を鉛直方向縮尺の平方根としたのは、この実験では回折より屈折の方が重要だからである。

4.2 予備実験の結果

図-4.4 は、実験をおこなった6ケースについて、波の作用時間を横軸にとり、図-4.3 に示した標準偏差を縦軸にとったものである。大部分のケースがはじめの間は時間の経過とともに標準偏差が小さくなっていく。やがてある時間たつと標準偏差は極小値を示し、その後は多少大きくなっていく。すなわち上方に凹の曲線になっている。これらの中でケース5がもっとも小さい極小値をとり、次によいのがケース1であることがわかる。

図-4.5 は、実験値の換算沖波形成勾配 H_0/L_0 と沖波波高と底質粒径の比 H_0/d_{50} との関係を示したものである。図中の曲線は岩垣・野田による沿岸砂州発生限界を示したものであり、この曲線より上方が暴風型海浜、下方が

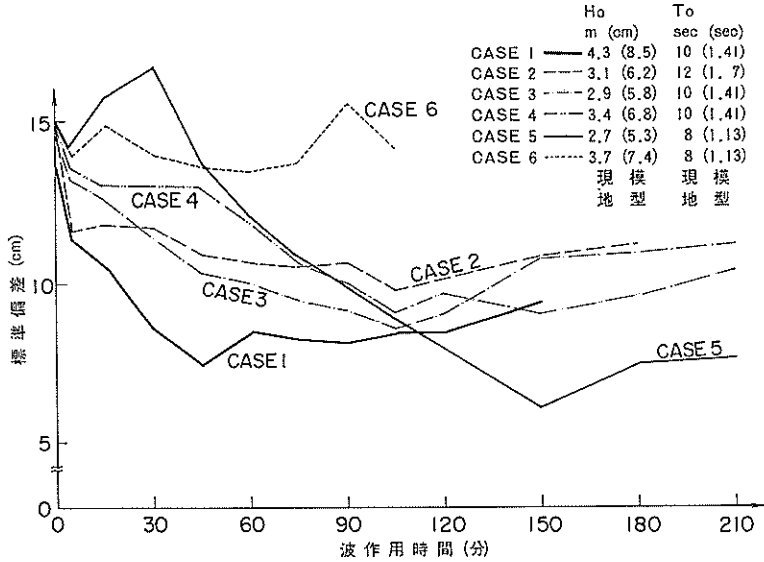


図-4.4 予備実験 S44 汀線への近づき方

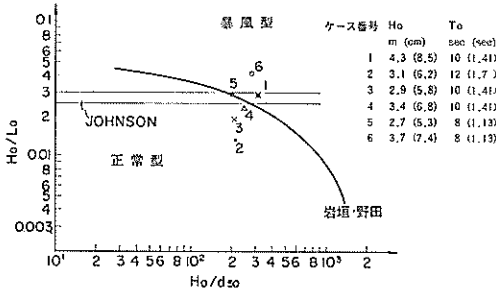


図-4.5 沿岸砂州発生限界との関連

正常型海浜の領域である。また Johnson による限界、すなわち $H_0/L_0=0.025\sim 0.03$ も示してある。これらの線と予備実験の各ケースとを比較すると、現地の汀線変化とよい一致を示したケース 1 と 5 は、沿岸砂州の発生限界上にあることがわかる。そして、比較的一致が悪かったケース 2 と 6 は、それぞれ境界上から大きく正常型、暴風型へずれている。正常型の波が来襲するときには汀線は前進する傾向を示し、暴風型のときには後退する傾向を示すことが、知られている⁶⁾。

図-4.6 は、ケース 1, 2, 5, 6 について標準偏差が最小のとき、すなわち昭和 44 年の汀線にもっとも近づいたときの汀線を示す。ケース 1 と 5 は、昭和 44 年の汀線と比較的よく一致したが、暴風型のケース 6 では汀線は後退し、正常型のケース 2 では汀線は前進している。

4.3 深浅予備実験

以上のように、汀線の一致ではケース 5 が一番よかったが、ケース 5 は波が小さすぎるため十分に砂が移動しているのかという疑問が残る。

そこで、移動限界水深について考察する⁵⁾。佐藤・田中の完全移動限界水深は、次式から得られる。

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

式中の h_i が完全移動限界水深、 d は底質粒径である。これにより模型底質 $d=0.29\text{ mm}$ として実験波の h_i を求めると、ケース 1 では 5.6 cm (現地 2.8 m)、ケース 5 では 3.2 cm (現地 1.6 m) となる。現地の沿岸砂州は 2. で述べたように $-2\sim -3\text{ m}$ のところに位置している。沿岸漂砂の多くが沿岸砂州で浅であることを考えあわせると、ケース 5 では十分に現地の沿岸漂砂を再現していないのではないかという疑問が生ずる。

以上のようなわけで、沿岸砂州付近の砂の移動を見るため、深浅測量を含めた予備実験をケース 1 と 5 についておこなった。図-4.7 は、それぞれのケースに対して波作用 105 分間にどれだけ海底地形に変化が生じたかを示したものである。これによると、ケース 5 は沿岸砂州付近およびその沖で砂があまり動いていないことがわかる。また、ケース 5 は沖浜帯でのリップルの発生も弱かったので、SE 波向の本実験ではケース 1 を採用することにした。

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

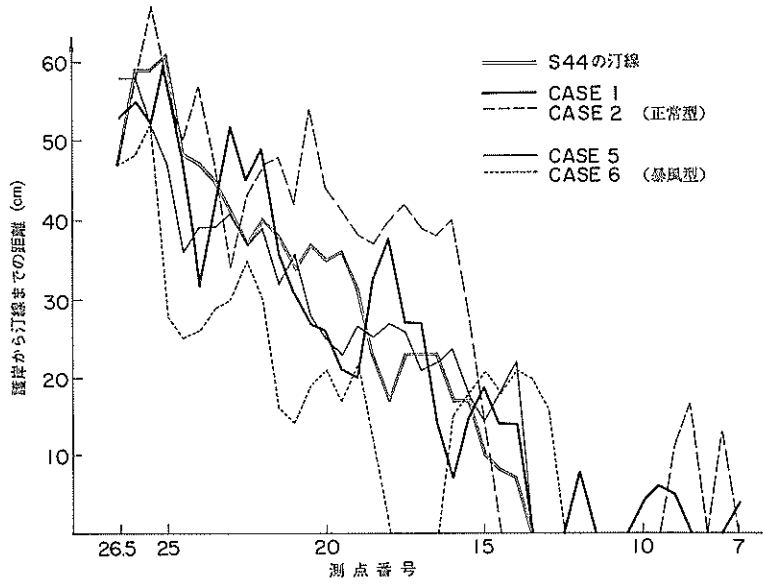


図-4.6 S44 にもっとも近づいたときの汀線

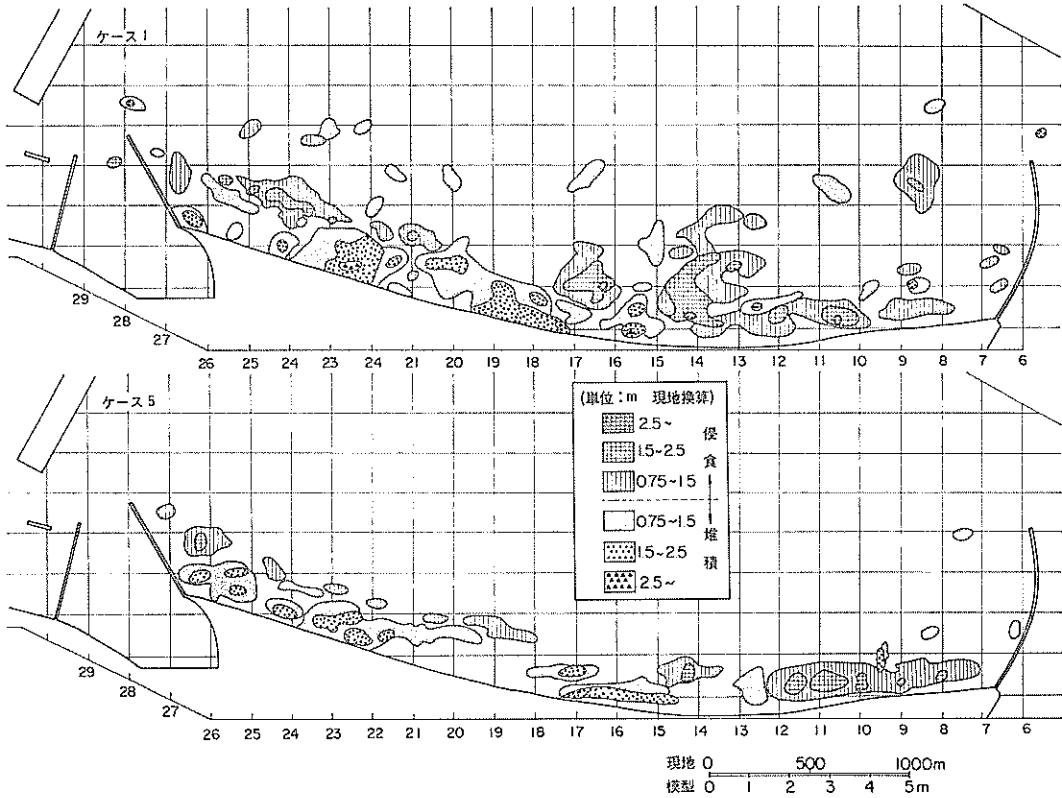


図-4.7 深浅差分図 0-105分

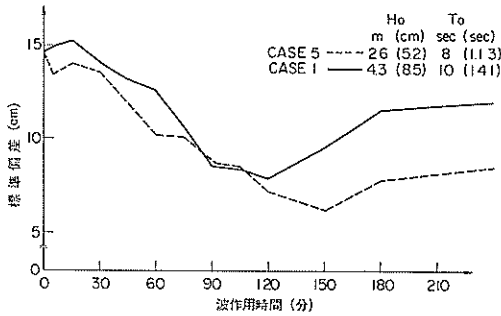


図-4.8 深浅予備実験 S 44 汀線への近づき方

また、図-4.8 は図-4.4 と同様な深浅予備実験における標準偏差を示す。偏差が最小となる波の作用時間は、ケース 5 では図-4.6 と同様に 150 分であるが、ケース 1 では 120 分となった。この原因は、ケース 1 は最初の実験であり、実験砂が波により十分締め固まっていなかったためと思われる。したがって、汀線変化に対する時間縮尺としては、図-4.8 を採用した。すなわち 120 分を昭和 39 年から 44 年までの 5 年間に対応する波の作用時間とした。

最終的に決定した実験波の諸元は次の通りである。

- ・ S E 波向 (本実験)
 - $H_0=8.5$ cm (現地 4.3 m)
 - $T_0=1.41$ 秒 (現地 10 秒)
- ・ S S E 波向 (追加実験)
 - H_0 および T_0 は S E と同じ
- ・ E N E 波向 (追加実験)
 - $H_0=5.3$ cm (現地 2.7 m)
 - $T_0=1.13$ 秒 (現地 8 秒)

E N E 波向において、砂の移動が少なかったケース 5 の波を採用した理由は、前述したように冬季節節風による波は、S E や S S E の波にくらべて小さいからである。

なお、先に述べたように本実験で用いる $H_0=8.5$ cm, $T_0=1.41$ 秒の波の模型内での完全移動限界水深は 5.6 cm (現地換算 2.8 m) である。この現地水深 2.8 m で完全移動限界水深となる現地波高を、周期 10 sec, 底質粒径 $d=0.2$ mm として同様に佐藤・田中の式から求めると約 1.2 m となる。この波は、前述した表-2.2, 3.1 および 3.2 から判るようにこの海岸における通常の時化時の波に相当する。

5. 本 実 験

5.1 実験ケース

実験は昭和 50 年海底地形を現況とし下記の 6 ケースの構造物配置についておこなった。

- ・ ケース 1 (現況)
- ・ ケース 2 (現況+空港)
- ・ ケース 3 (現況+空港+対策工 1)
- ・ ケース 4 (現況+空港+対策工 2)
- ・ ケース 5 (現況+空港+対策工 3)

ケース 5 は空港・粟津間のみについて実験

- ・ ケース 6 (現況+対策工 4)

これらのケースに対する構造物配置は後述する図-5.1 から図-5.6 に示す。

ケース 1 では、現況のまま放置すればこの海岸がどのように変化するかを求めた。他のケースをこのケース 1 と比較することにより、空港や対策構造物の影響をぬきだすことができる。

ケース 2 では、現況に空港のみを加えて空港の影響を調べた。

ケース 3 では、空港に加えて現在建設省が計画している離岸堤案の一部を対策工 1 として設置した (建設省案 16 基中 9 基)。さらに、今切港付近では、現在考えられている離岸堤のかさあげ案を付加した。また、空港粟津間の海水浴場沖には、護岸から 250 m の距離に長さ 240 m の護岸堤を設置した。

ケース 4 では、空港今切間の侵食対策をより確実なものとするため、空港のために建設不要となる建設省案離岸堤 8 基を追加した二重離岸堤を提案した。あわせて、今切港付近は、離岸堤かさあげのかわりに、汀線近くに 3 基、小型離岸堤を設けた。また、空港粟津間には護岸から 200 m の距離に長さ 160 m の離岸堤を設置した。

ケース 5 では、空港粟津間の対策工案として、護岸から 200 m の距離に長さ 160 m の離岸堤を 3 基連続配置した。

ケース 6 では、空港を延長しないときの現在の建設省海岸保全計画 (離岸堤一列) について検討した。

なお、いずれの離岸堤も金あみ枠の中に小砂利をつめた模型を用いた。天端は +4 m 高とした。実際の天端高は +2.5 m であるが、次のような理由で若干天端を高くした。

- 1) 波をかけることにより小砂利がしまつて、離岸堤上部に少しすきまができる。

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

2) 前述したように、実際よりも大きめの波を使用した
ので、実際通りの天端では越波量が大きくなりすぎる。
また、実験中に前浜が欠壊し護岸に波が直接作用する
ようになった個所には、護岸前面に小砂利による消波工
を設けた。このような消波工を設けないと、護岸による
反射率が大きくなり、実情と相異なるからである。現地
でもこのような状態になれば消波工を設けるわけである
し、もし消波工を設けなければ、やがて護岸は欠壊し反
射率も小さくなる。

5.2 汀線変化

前述した図-5.1から図-5.6に、各ケースの波作用前と

波作用後 360 分の +1m の汀線が示してある。ただし、
これらの図は縦方向の縮尺は横方向の縮尺の 2.5 倍にと
って汀線変化を強調している。これらの図から、本海岸
の汀線変化について次のように考えることができる。

(1) 空港今切間について

ケース 1 の結果をみてわかるように、このままに放置
しておけば欠壊が著しい海岸である。すなわち 360 分間
(15 年間に、更に約 1000m の長さにおわたって砂浜が
消失する。しかし、図-5.2 のケース 2 のように空港を延
長すると海岸欠壊は弱まる。同じ時間の砂浜の消失は、
ケース 1 の半分の約 500m となっている。さらに図-5.3

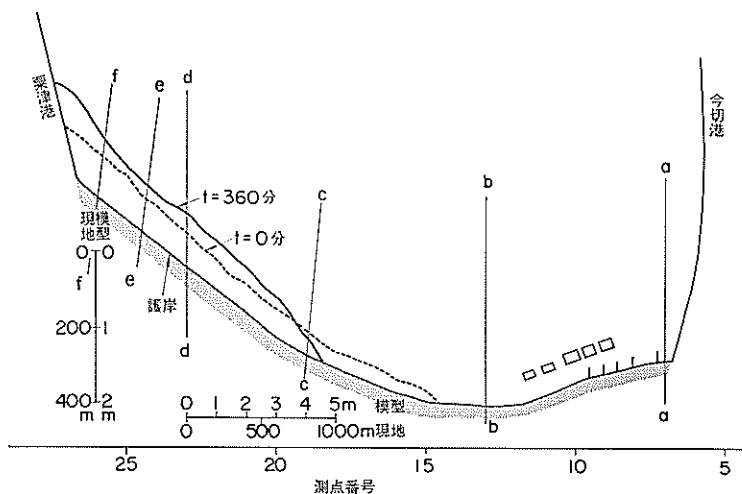


図-5.1 汀線変化ケース 1

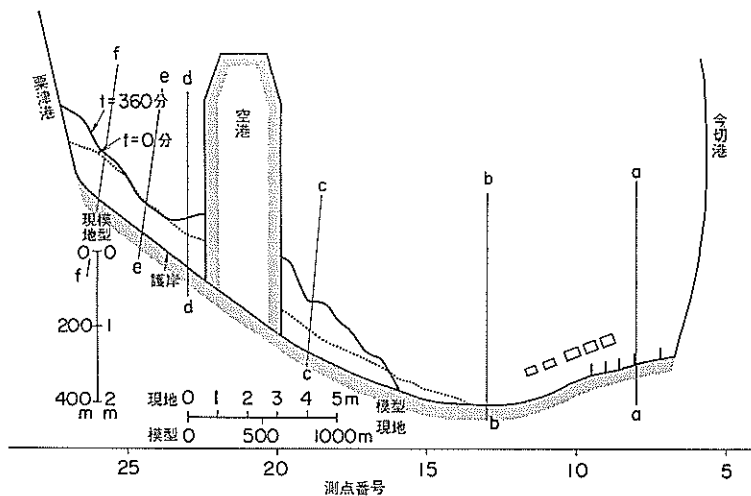


図-5.2 汀線変化ケース 2

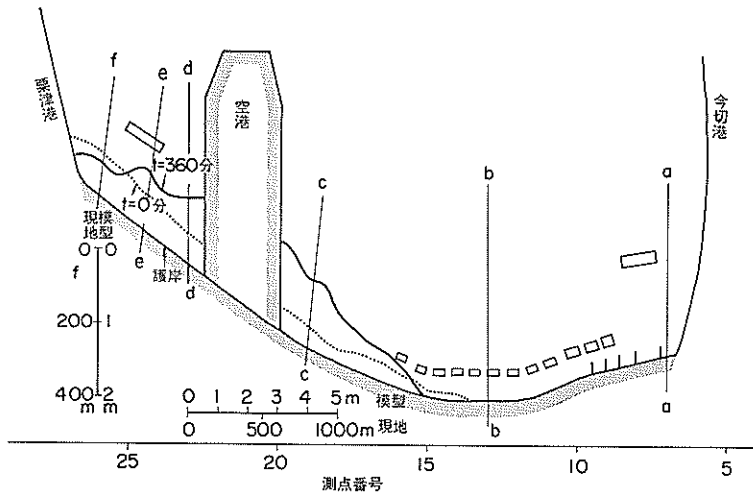


図-5.3 汀線変化ケース3

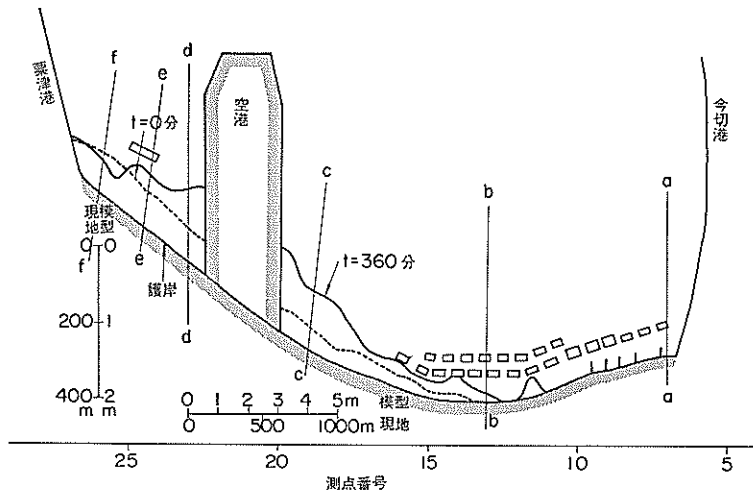


図-5.4 汀線変化ケース4

のケース3のように離岸堤を設置すれば砂浜の消失は300mとなり、図-5.4のケース4のように二重離岸堤にすれば、現状より南側にも砂浜が形成される。空港を延長せずに離岸堤を一列設けたケース6では、現状とほぼ同じ程度の砂浜が維持されるが、ケース4には及ばない。ケース4が汀線維持上もっとも好ましいと考えられる。

(2) 空港粟津間について

ケース1の結果より、空港を延長しなければ汀線が一般的に前進することがわかる。空港を延長したケース2の場合でも、空港と粟津防波堤の元付け付近では汀線が

大きく前進するが、中央部はわずかながら汀線の後退を示す。すなわち、空港の延長により空港粟津間に凹状の弓形の浜が形成される。

護岸に平行な汀線にくらべ弓状の汀線形状をした砂浜は海水浴場として特別に不都合であるとは思われないが、ケース3,4,5において汀線を護岸と平行にするための対策工について検討した。ケース3,4のように沖に一基の離岸堤を設けると、離岸堤背後には汀線の前進がおこるが、離岸堤と粟津防波堤との間に汀線の後退がおきる。そこで、図-5.5のケース5のように沖に三基連続して離岸堤を設けたら、汀線はほぼ護岸に平行に全般的

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

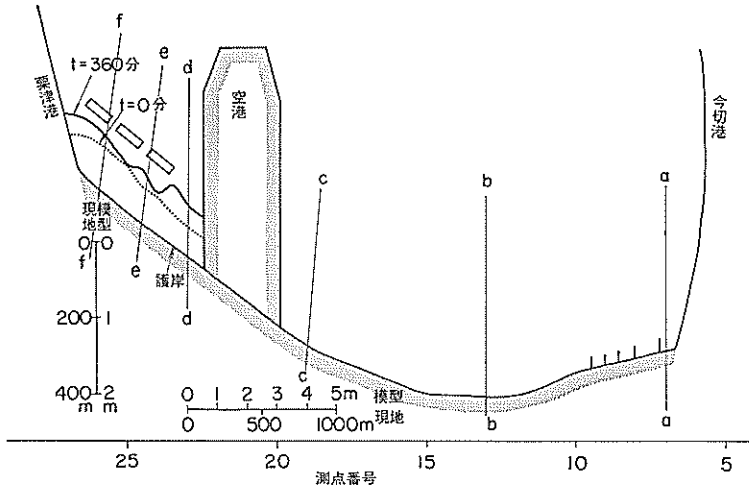


図-5.5 汀線変化ケース5

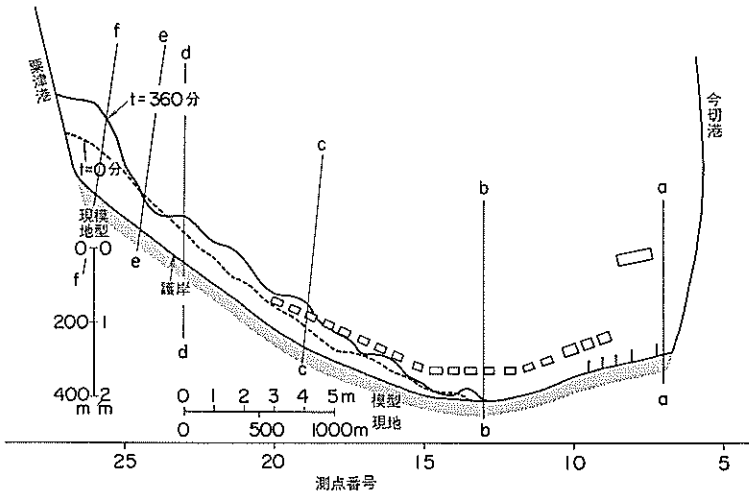


図-5.6 汀線変化ケース6

に前進した。しかし、汀線の前進により、離岸堤と汀線との間隔が短くなりそれが 40m ほどになってしまった。

ケース6の汀線は、ケース1と同様に築津港寄りで堆積今切港寄りで欠損を示すが、その変化は全般的にケース1より小さい。これは言うまでもなく離岸堤の効果であろう。

5.3 海底地形変化

(1) ケース1

波作用前の深淺図を図-5.7、波作用後 120 分および 360 分のそれを図-5.8、図-5.9 に示す。また、0 分と 360 分の深淺差分図を図-5.10 に示し、断面変化を図-5.11

に示す。図-5.11 に示した a~f は断面の位置を示し、その位置は、前述した図-5.1 から図-5.6 まで、あるいは図-5.7、図-5.9 に示す a~f に対応している。

図-5.7 は昭和 50 年の海底地形を模型上に再現したものである。-5m の等深線と護岸との距離を見ると、今切付近では約 800m であるが、築津に近づくにつれ次第に短くなり、中央付近では約 300m となる。その後は、わずかながら距離が増加し、築津付近では約 400m となる。このため、-1~-5m 間の平均海底勾配は今切付近で 1/200、中央部で 1/50、築津付近で 1/60 程度となっている。砂浜は今切寄りの約 1600m の間には存

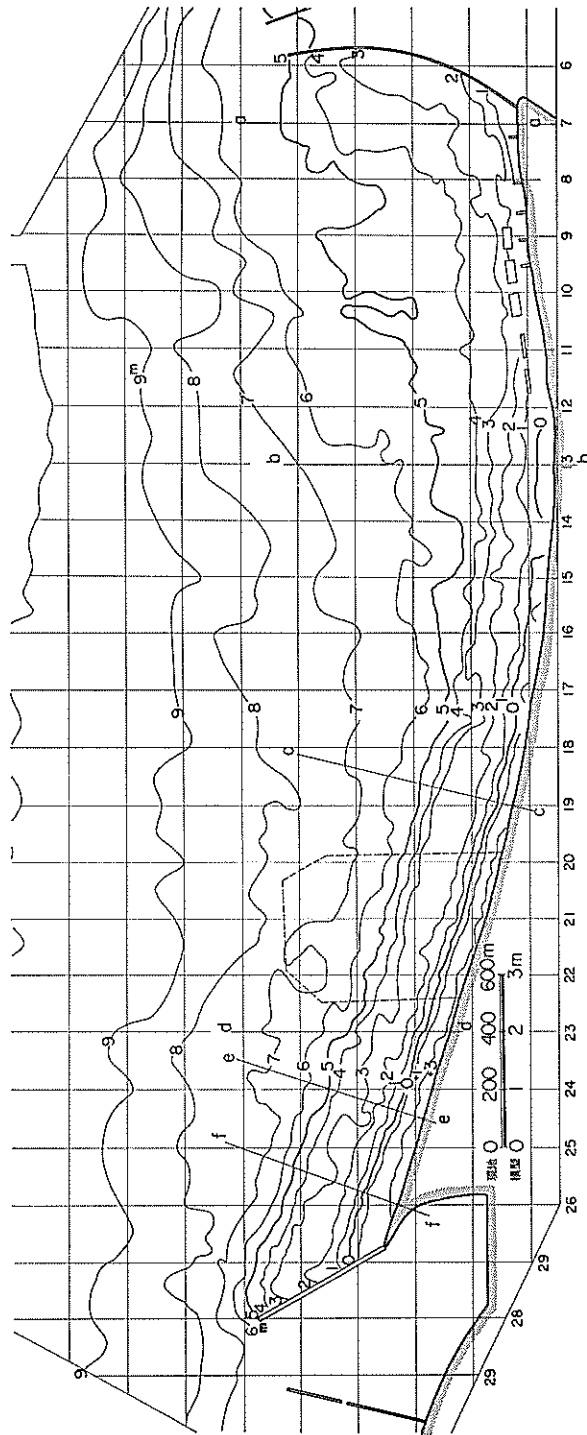


図-5.7 深淺図 ケース1 $t=0$ 分

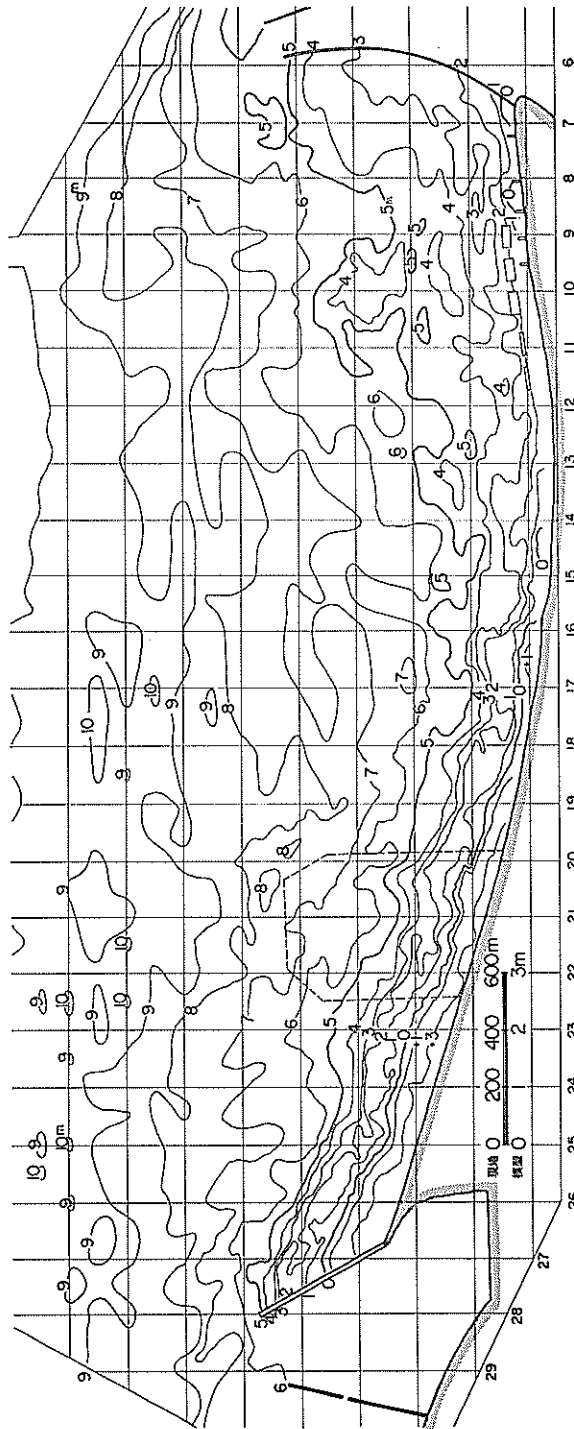


図-5.8 深浅図 ケース1 $t=120$ 分

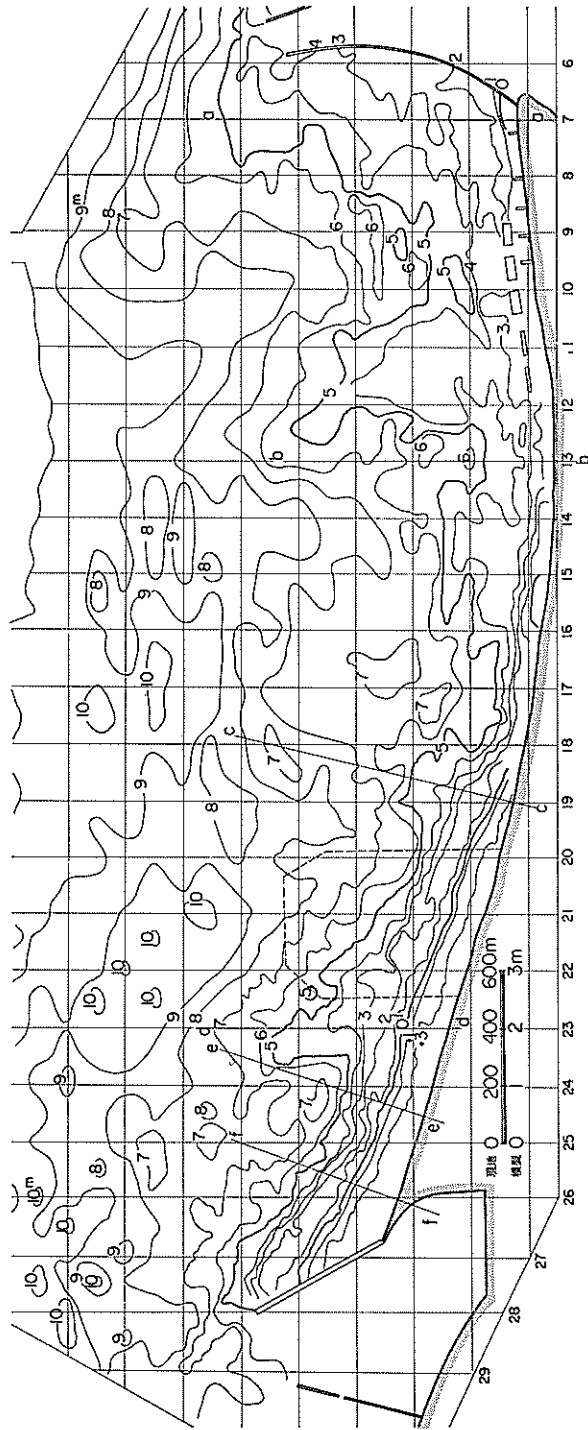


図-5.9 深淺図 ケース 1 $t=360$ 分

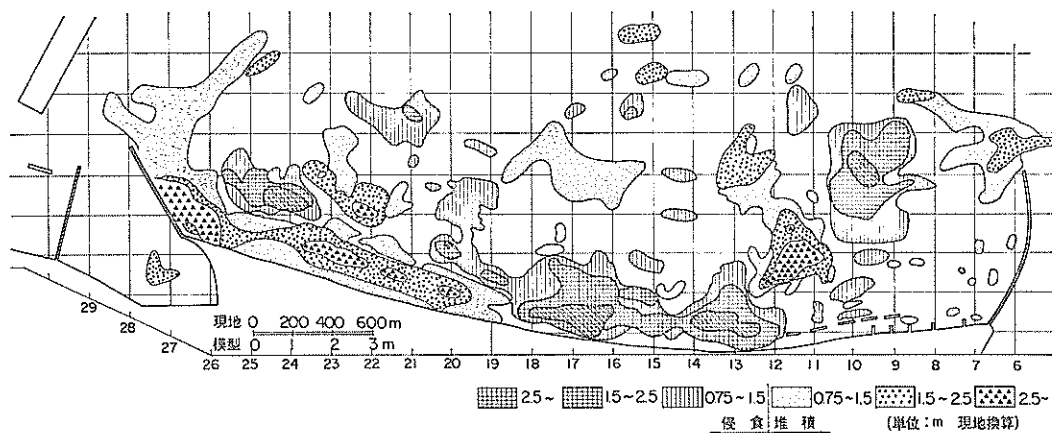


図-5.10 深浅差分図 ケース 1 0-360 分

在せず、粟津寄りでは +1m 以上の砂浜が幅約 100m となり、今切寄りでは侵食性、粟津寄りでは堆積性の地形となっている。このような地形に波を作用させると、図-5.8、図-5.9 のような地形に変化した。

-5m の等深線は、今切寄りの測線 No. 9~10, No. 13 および中央部の No. 16~18 で著しく護岸に近づき、No. 11~12 および No. 22~23 で著しく沖に前進している。さらに、今切栗津の両防波堤の先端でも、前進をしている。汀線付近では、今切側欠壊、粟津側堆積のパターンがはっきりとあらわれ、360 分後には、今切から約 2400m の間で前浜が見られなくなるが、粟津付近では +1m 以上の砂浜が幅 200m にもなっている。

図-5.10 の差分図は、以上のことに対応し、No. 9~10 の沖側、No. 13 から 18 の汀線を含めた比較的浅いところにおいて、著しい欠壊を示している。前者の欠壊砂は、波によって汀線近くに運ばれ、その一部が今切防波堤にそって沖側に動かされ、防波堤先端付近に堆積したものである。後者の欠壊砂は、主として粟津よりに移動したのであろう。No. 24~25 の沖側にも欠壊が見られるが、これは付近に移動堆積したものと考えられる。

図-5.11 の断面図も以上のことに対応し、b 断面 (No. 13) の大きな欠壊、d, e, f における堆積が、はっきりあらわれている。

(2) ケース 2

ケース 1 と同様に、波作用前、作用後 120 分と 360 分、の深浅図、0 分と 360 分の深浅差分図、断面図を図-5.12 から図-5.16 に示す。

波作用前後の深浅図すなわち図-5.12、図-5.13 および 5.14 を比較すると次のようになる。空港今切間に注目

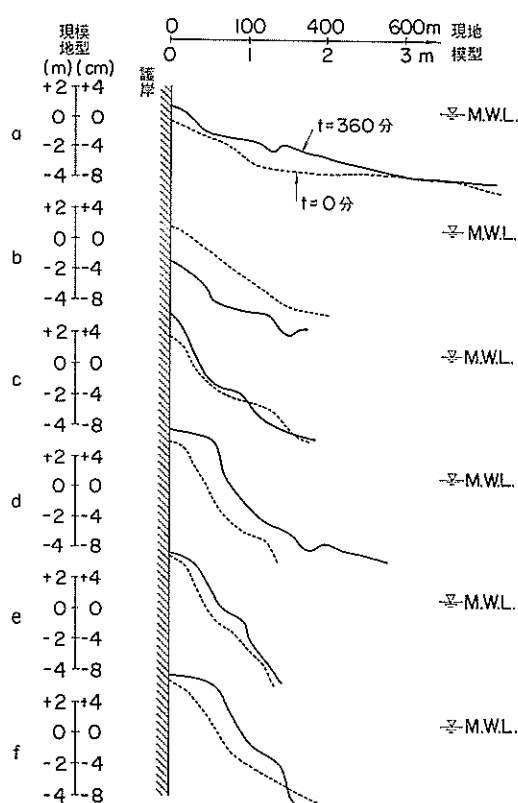


図-5.11 断面変化 ケース 1

し、-5m 等深線を見ると、測線 No. 9~10 ではケース 1 と同様著しく後退しているが、ケース 1 で著しく後退を示した中央部の No. 13~18 にかけては No. 14~16 の間で多少後退したのみで、No. 17~18 では反対に

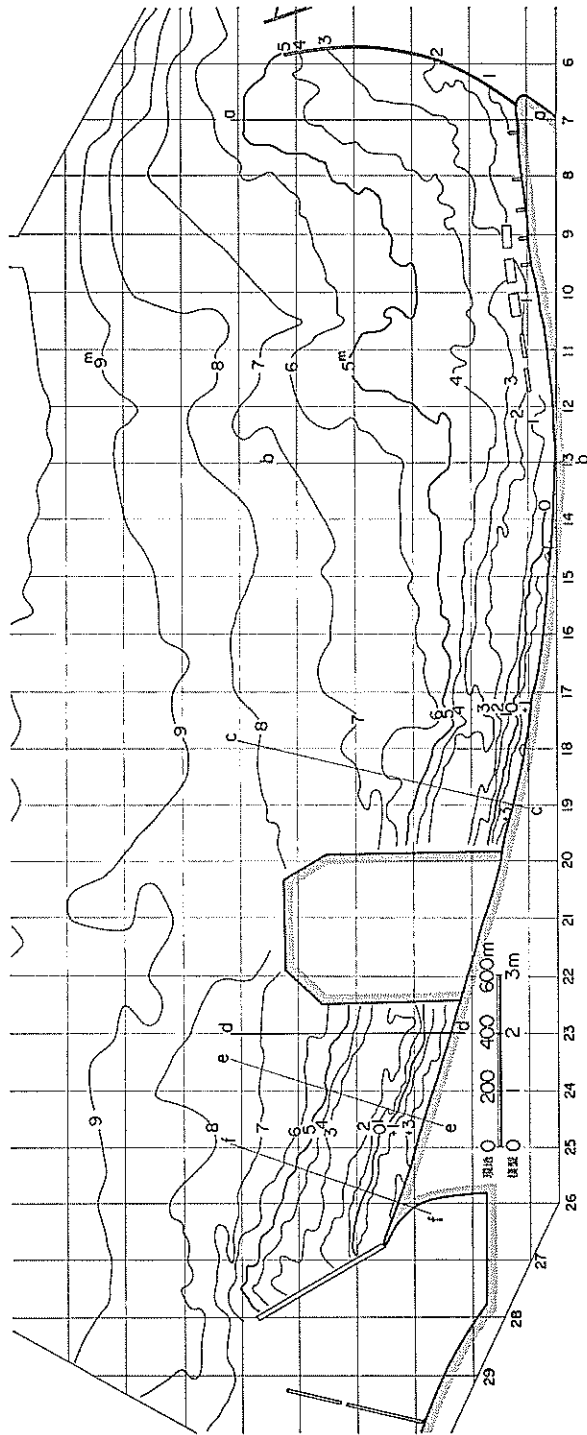


図-5.12 深淺図 ケース 2 $t=0$ 分

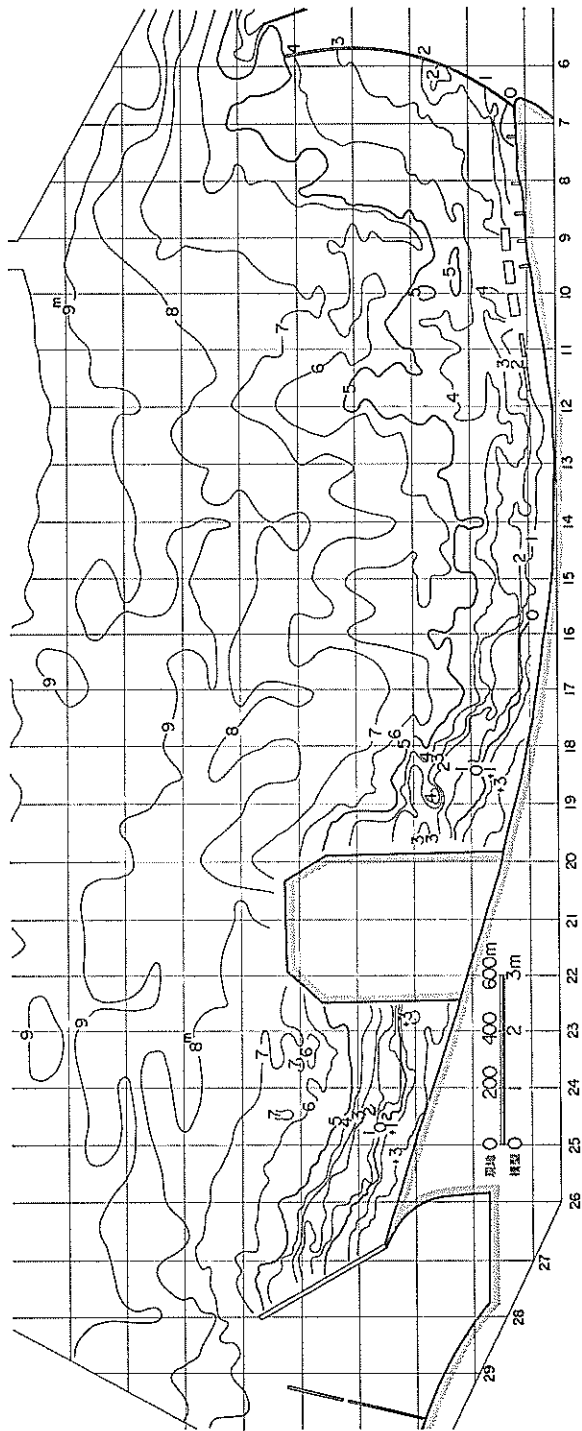


図-5.13 深淺図 ケース 2 $t=120$ 分

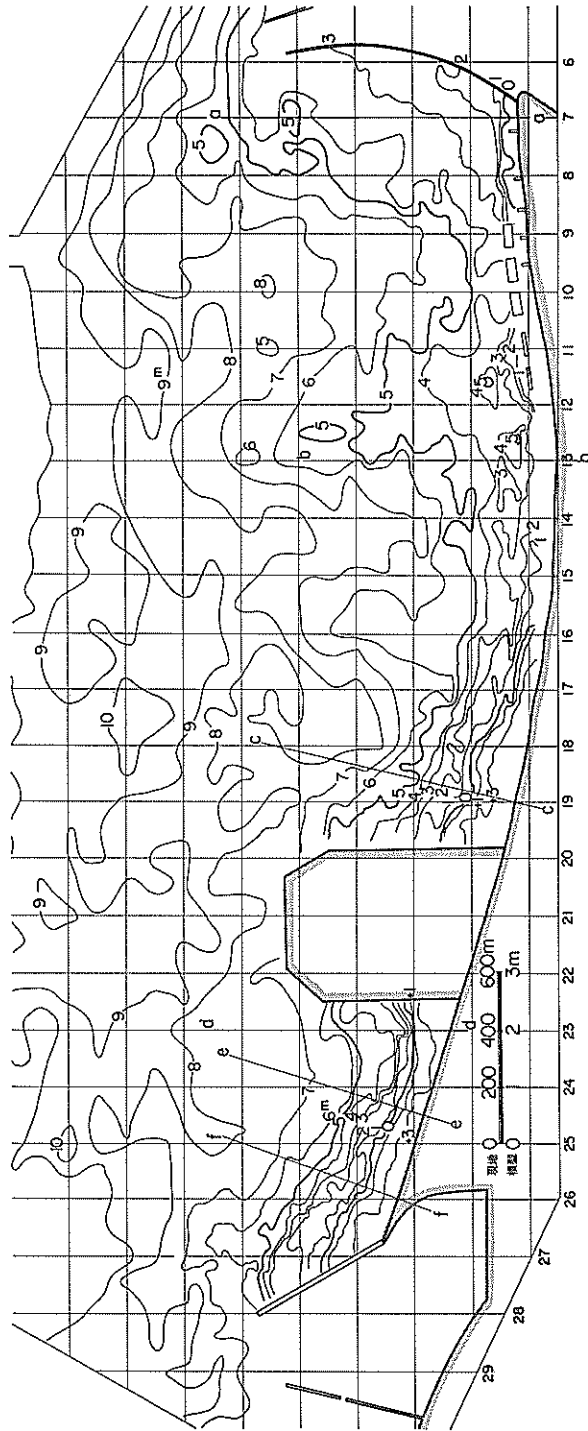


図-5.14 深浅図 ケース 2 $t=360$ 分

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

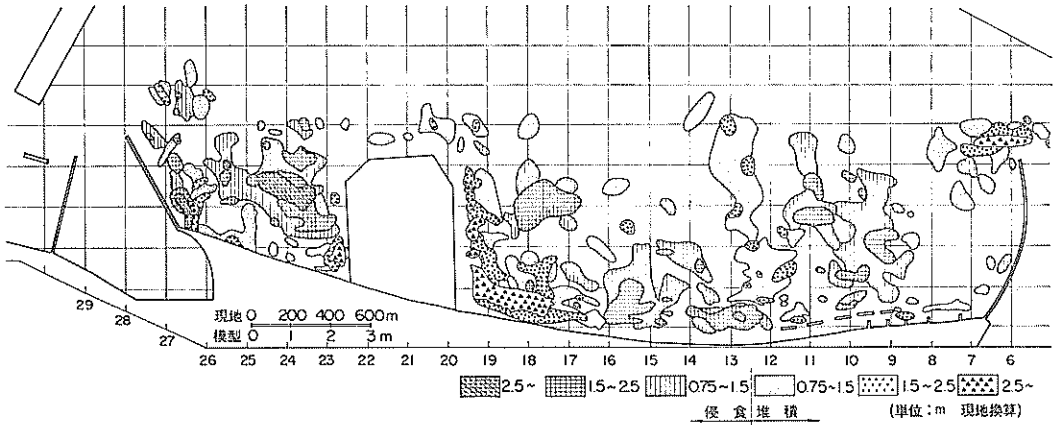


図-5.15 深浅差分図 ケース 2 0-360 分

前進し、それから空港までの間は、著しい前進を示している。汀線を見ると、ケース 1 では 360 分間で No. 18 以南が消失したが、ケース 2 では No. 15 以南が消失したのみで、No. 17 から空港までの前進が顕著に見られる。空港栗津間に注目すると、-5m の等深線は No. 24~25 の中央部が後退し、その両側で多少前進した。ケース 1 で見られたような栗津防波堤先端での前進は見られなかった。これは、栗津防波堤を越え栗津港内に流入する漂砂量の減少を意味すると考えられる。汀線については前述したように -5m 等深線とともに凹形に変わった。

図-5.15 の差分図も以上のことに対応し、測線 No. 9~10 の沖ではケース 1 と同様広く侵食区域が存在するが、中央部の侵食箇所は No. 13~16 の間に縮小され侵食深も浅くなった。No. 18 の沖にも侵食が生じたが、この侵食された砂は中央部の侵食された砂と同様、空港南部の堆積部分にもっていかれたものと思われる。また、空港栗津間では、汀線近くでは両端の部分に堆積が生じるが、中央部沖側で広く侵食されている。

図-5.16 の断面図も以上のことに対応し、b 断面での侵食はケース 1 よりも小さくなった。空港南部の c 断面で大きな堆積を示した。空港栗津間の d, e, f 断面では、汀線は若干前進したが沖の方は侵食されている。

(3) ケース 3

波作用前、作用後 120 分と 360 分の深浅図、0 分と 360 分の深浅差分図、断面図を、図-5.17 から図-5.21 に示す。

空港今切間を見ると、全体的な傾向はケース 2 と同じであるが、測線 No. 7~8 の沖に離岸堤を設けた影響として、その背後の護岸前面により多くの砂が堆積し、±0

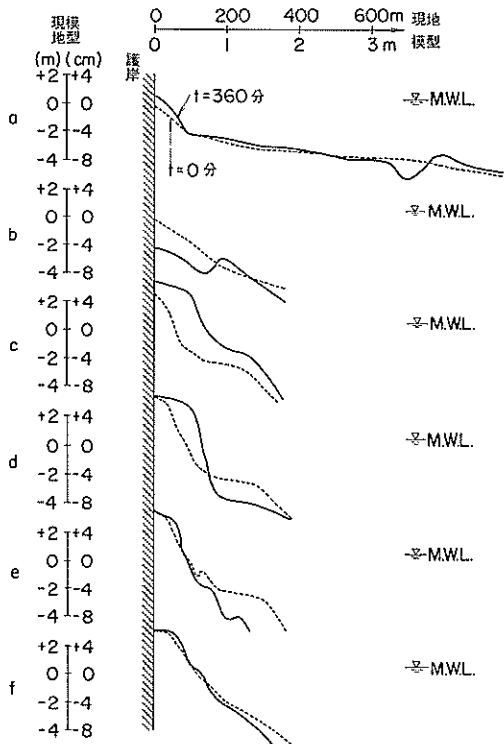


図-5.16 断面変化 ケース 2

m 線の出現範囲がより広がったことがあげられる。また離岸堤群を建設省案に従って測線 No. 16 まで延長したことの影響としては、これら離岸堤の背後に砂が堆積し No. 12~16 の間にも ±0 線が出現したことである。しかし、沖の -5m 線が後退している No. 13~15 については、離岸堤設置にもかかわらず汀線が見られない。

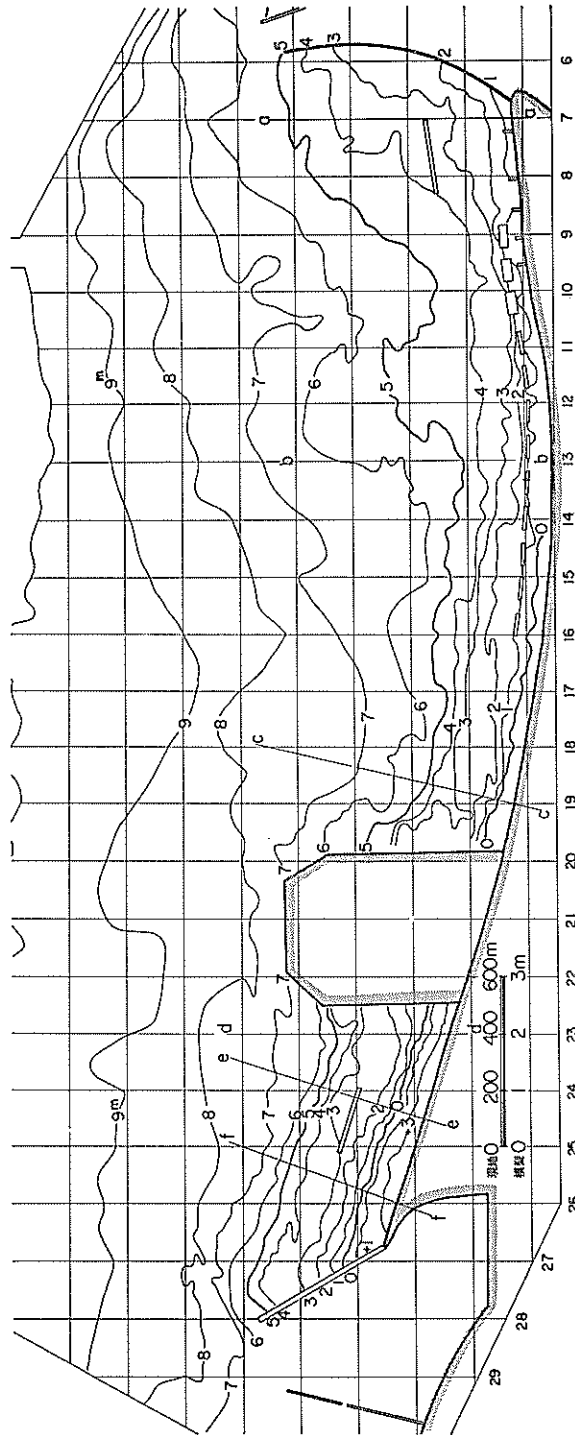


図-5.17 深浅図 ケース 3 $t=0$ 分



図-5.18 深浅図 ケース 3 $t=120$ 分

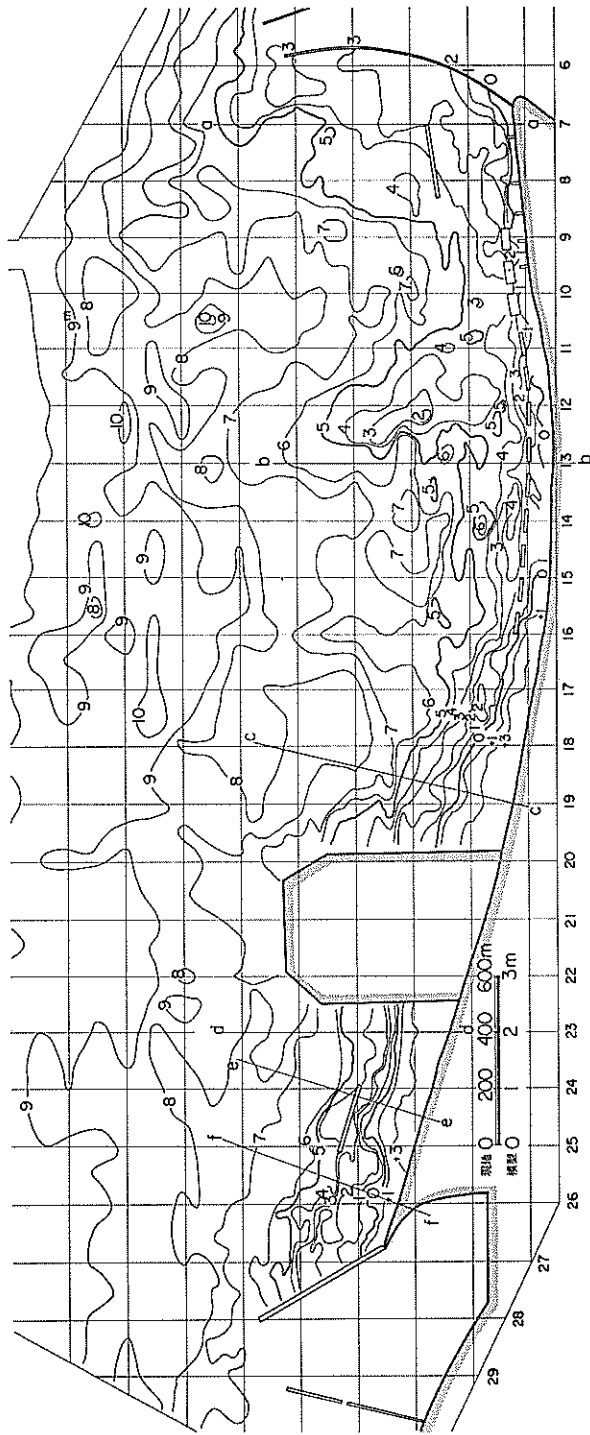


図-5.19 深淺図 ケース 3 $t=360$ 分

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

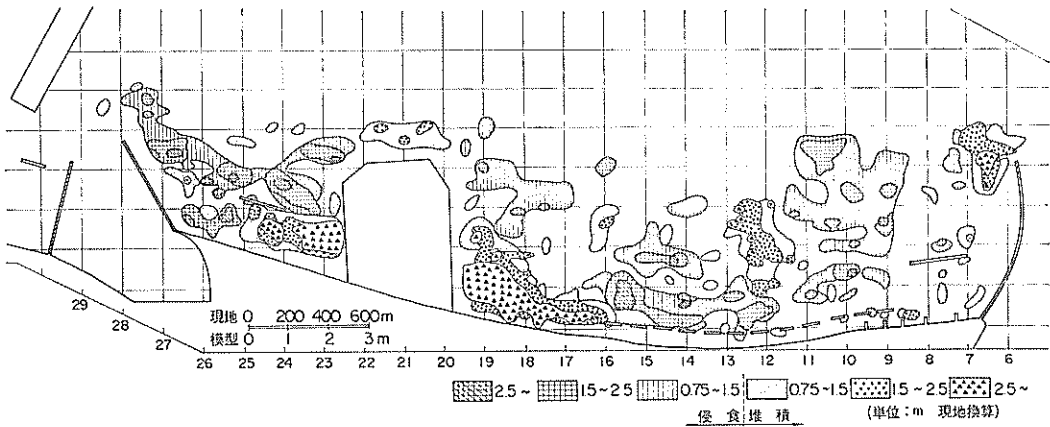


図-5.20 深浅差分図 ケース 3 0-360 分

空港栗津間では、離岸堤の設置によって -5m 線はそれほど変化しなかったが、汀線は空港から離岸堤背後にかけて一様に前進したかわりに栗津防波堤よりで後退した。

差分図の図-5.20 を見ると、空港今切間ではケース 2 と大差ないが、空港栗津間ではケース 2 と明確な相異が見られる。すなわち、離岸堤背後から空港にかけての幅広い堆積部分と、栗津寄りの著しい侵食、および沖全体にわたる一層の侵食が特徴としてあげられる。

図-5.21 の断面図を見ると、離岸堤の効果としての b 断面の汀線付近の堆積や、空港栗津間の離岸堤の効果としての e 断面の離岸堤の背後の堆積と前面の洗掘、断面の若干の侵食などが特徴としてあげられる。

(4) ケース 4

ケース 1~3 と同様な図面を、図-5.22 から図-5.26 に示す、

図-5.22 と図-5.24 を比較し、空港今切間の -5m 線を見ると、No. 9~10 で大きな後退、No. 10~18 にかけて弱い後退を示し、No. 19 から空港にかけて若干前進をしている。±0m 線は、図-5.22 では No. 14 までしか見られないが図-5.24 では全域にわたって出現するようになった。空港栗津間の -5m 線は、No. 24 付近で後退し凹形になった。±0m 線は、No. 23~25 ではほぼ護岸に平行なまま前進をしたが、No. 25~26 で後退し、No. 26~27 ではあまり変化していない。

このようなケース 4 の海底地形変化は、ケース 2 や 3 と比較して次のような特徴がある。空港今切間では、-5m 線の変化が小さく、とくに No. 11~13 付近の沖側への前進、No. 13~16 の後退が小さくなっている。

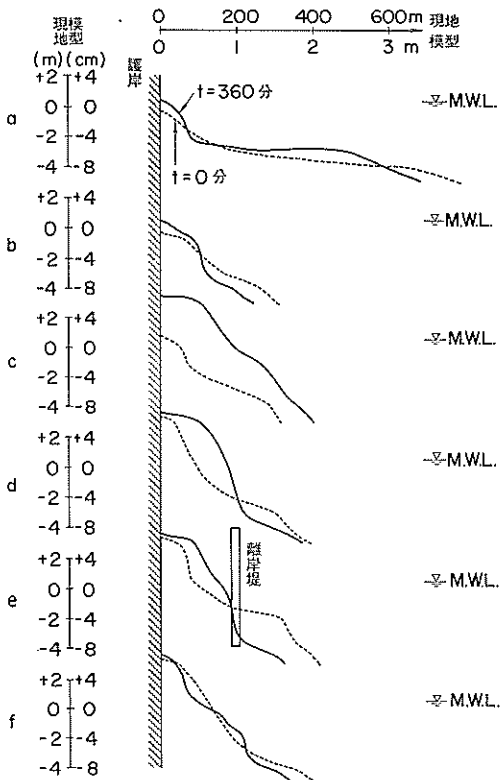


図-5.21 断面変化 ケース 3

そして、二重離岸堤の著しい効果としては、離岸堤背後は全域にわたって砂が堆積し 360 分後には ±0 線がほとんど全域にわたって見られることがあげられる。離岸堤群の北端から空港の間の汀線前進量は、ケース 3 よりも減少したが、これは砂が二重離岸堤群にとらえられたた

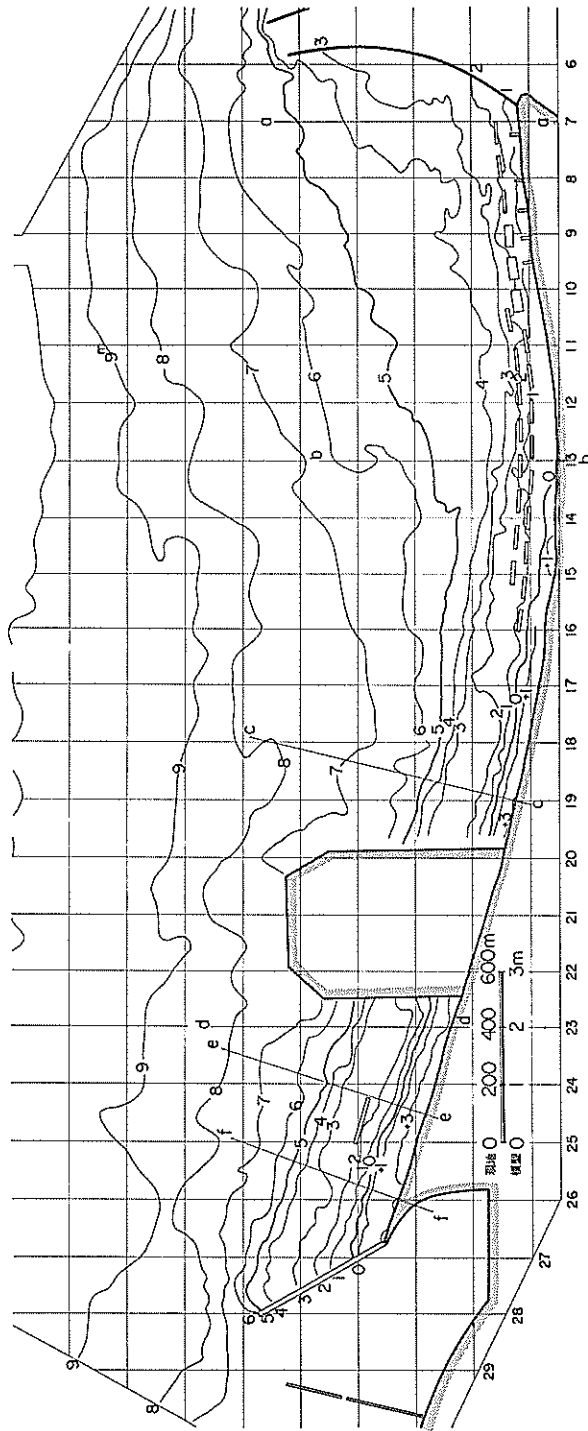


図-5.22 深浅図 ケース 4 $t=0$ 分

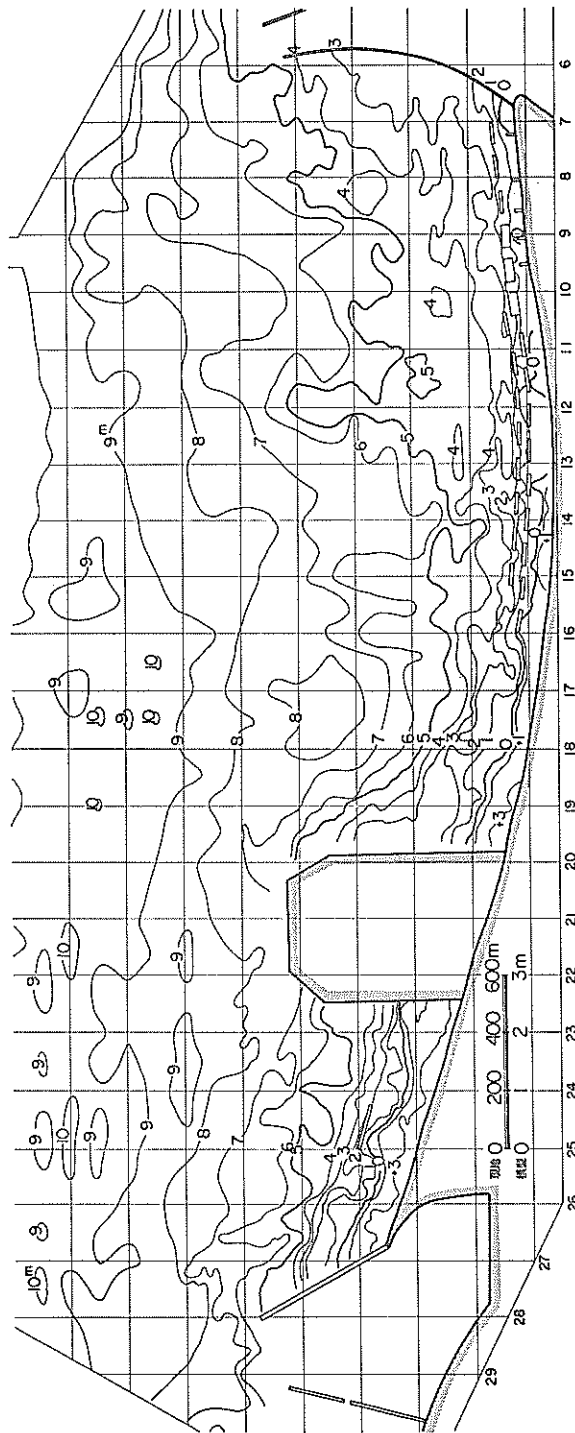


図-5.23 深淺図 ケース 4 $t=120$ 分

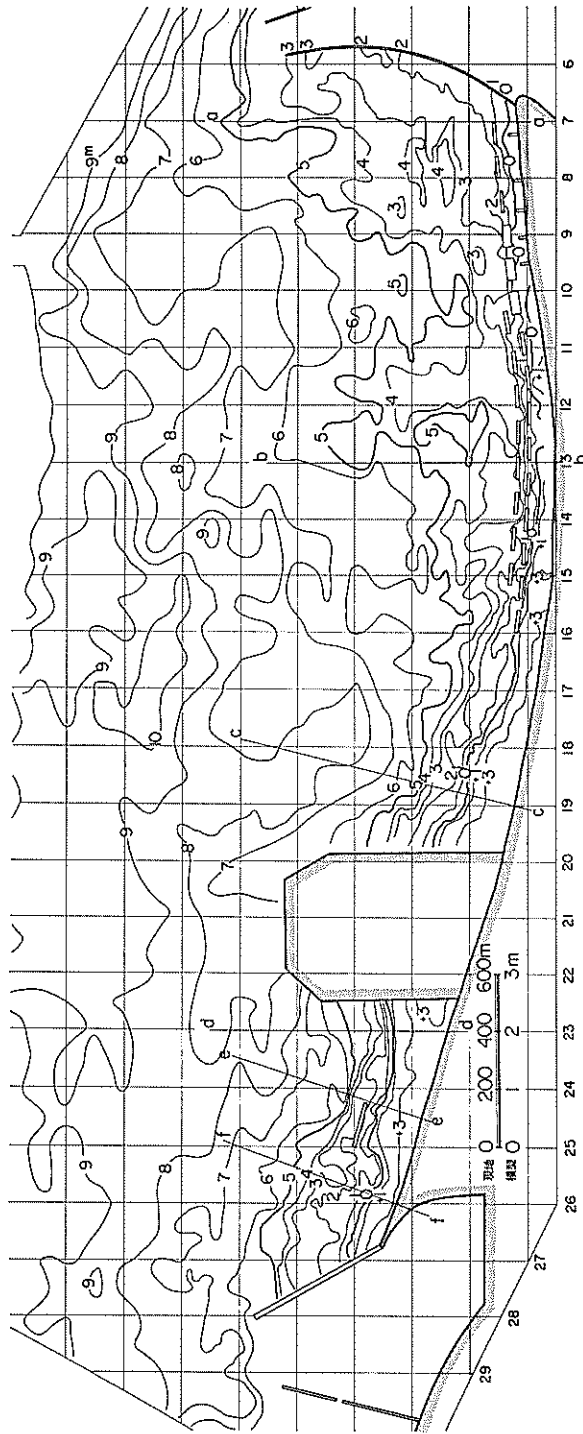


図-5.24 深浅図 ケース4 $t=360$ 分

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

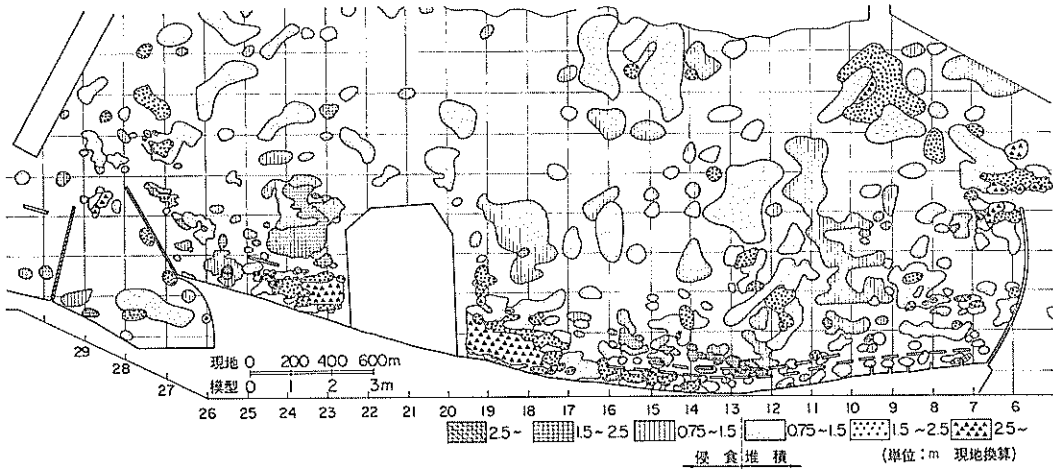


図-5.25 深浅差分図 ケース4 0-360分

めである。空港栗津間の離岸堤は、ケース3より80m短く護岸からの距離も50m小さくしたことにより、離岸堤のすぐ北側での汀線欠壊は多少大きくなったが、栗津港付近の汀線欠壊および離岸堤背後の汀線前進がより小さくなったので、ケース3よりは好ましい変化であると考えられよう。

深浅差分図の図-6.25も、上述したこととよく対応し全体的に水深変化がケース3より平均化されている。たとえば、No. 10の沖側およびNo. 12~16の離岸堤外側の侵食範囲と侵食深は小さくなり、No. 12~13沖の堆積高も小さくなっている。また二重離岸堤群の背後ではほとんど全域にわたって堆積を示している。空港と栗津の間では、ケース3と比較して離岸堤の沖側では空港寄りに侵食箇所が集中しており、汀線近くでは侵食範囲が離岸堤のすぐ北側に集中し防波堤付近には及んでいない。

図-5.26の断面図を見ても、一部の砂が二重離岸堤の背後にとどまったために、c断面の堆積が小さくなったことがわかる。d, e, f断面の変化も、空港栗津間についての上述の現象を示している。

(5) ケース5

同様の図面を、図-5.27から図-5.31に示す。これは空港栗津間に離岸堤を三基設置したときの実験であり、空港今切間はケース4と同じであるので測定しなかった。汀線は前述したようにほぼ直線的に全般的に前進したが-5m線は、ケース2, 3, 4と同様に後退を示している。

差分図の図-5.30を見ると、離岸堤より内側は一樣に堆積を示し、その外側では侵食範囲が広く存在する。断

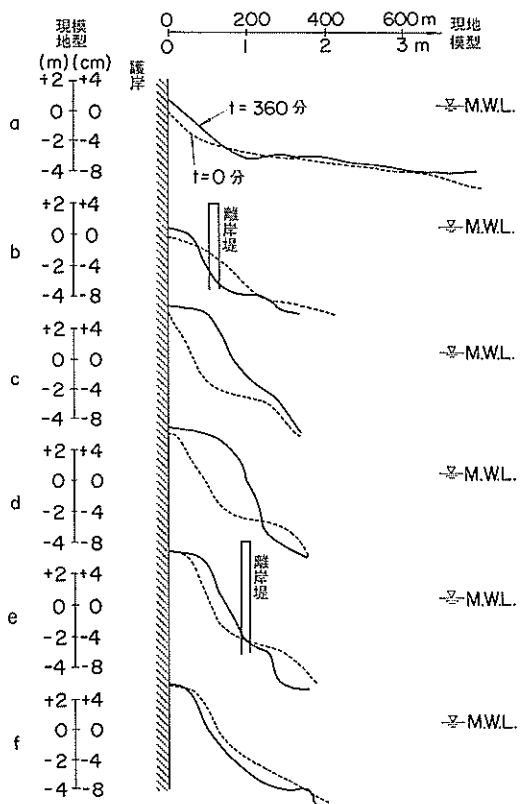


図-5.26 断面変化 ケース4

面図の図-5.31を見ても、離岸堤背後の汀線は前進、沖は洗掘のパターンがはっきりしている。しかし、汀線と離岸堤の間がいっそう狭くなり海水浴水面が縮小されて

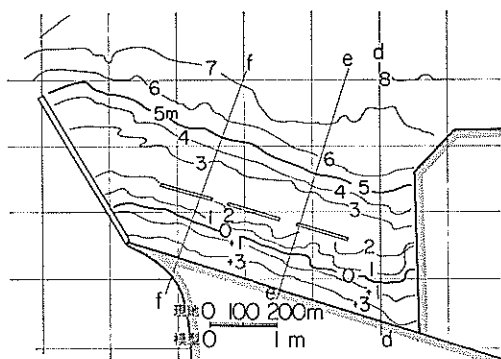


図-5.27 深浅図 ケース 5 $t=0$ 分

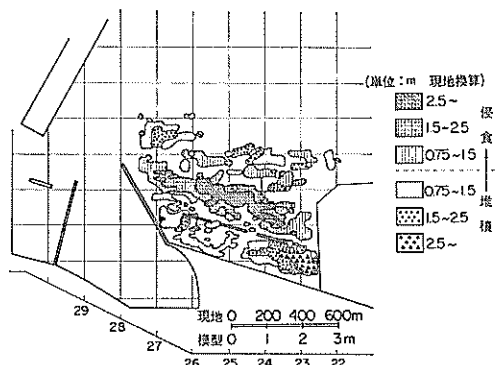


図-5.30 深浅差分図 ケース 5 0-360 分

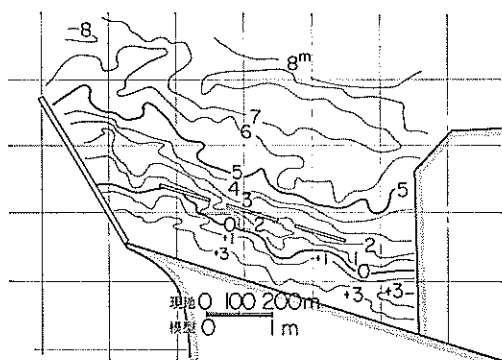


図-5.28 深浅図 ケース 5 $t=120$ 分

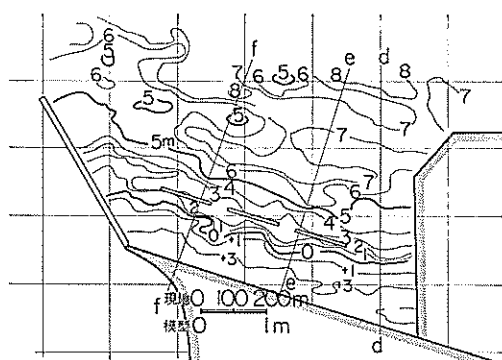


図-5.29 深浅図 ケース 5 $t=360$ 分

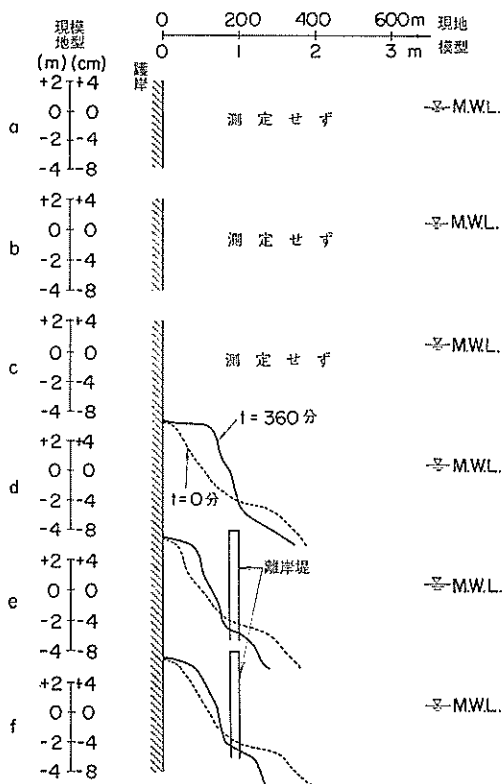


図-5.31 断面変化 ケース 5

いるのは問題として残るであろう。

(6) ケース 6

同様の図面を、図-5.32 から図-5.36 に示す。これは空港を延長せずに、現在建設省で計画している離岸堤群を完全実施した場合のケースである。-5m の等深線は No. 14~15, No. 17~18, No. 20 で少し後退するが、

ケース 1 とくらべるとその変化は小さい。汀線は前述したように全般的に前進の傾向を示す。

図-5.35 の差分図を見ると、以上のことに対応し、No. 14~15, No. 17~18, No. 20~21 の沖で侵食が見られる。全体的な傾向としてはケース 1 と同様に今切側侵食、累津側堆積であるが、変化量はケース 1 ほどではな

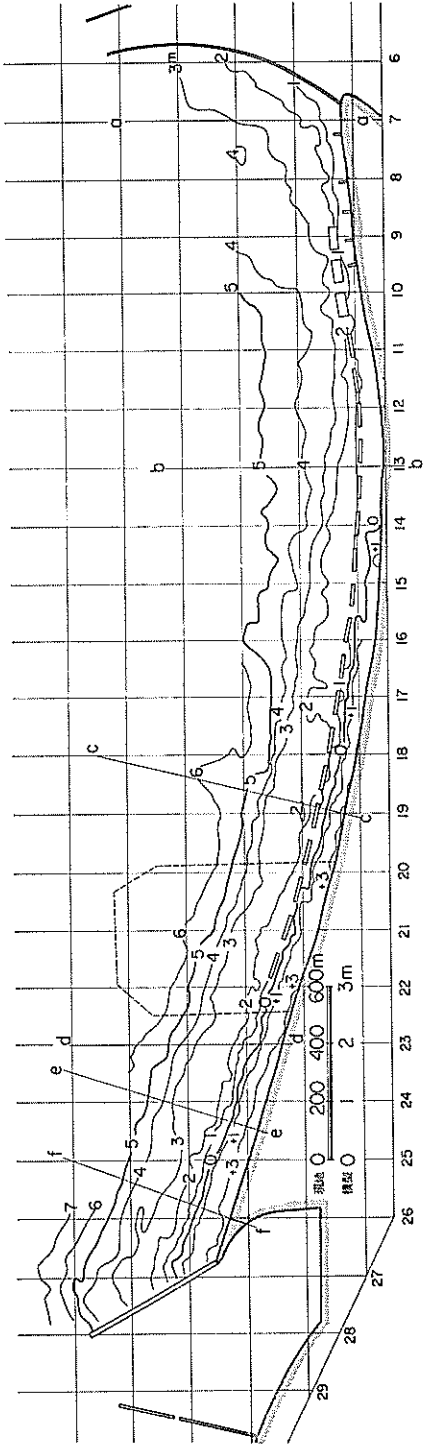


図-5.32 深浅図 ケース 6 $t=0$ 分

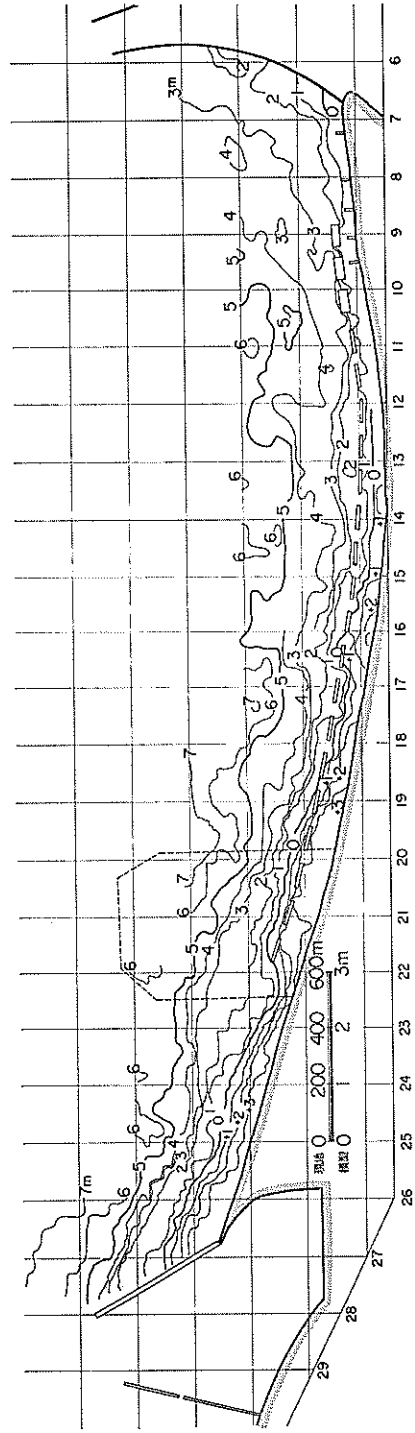


図-5.33 深浅図 ケース 6 $t=120$ 分

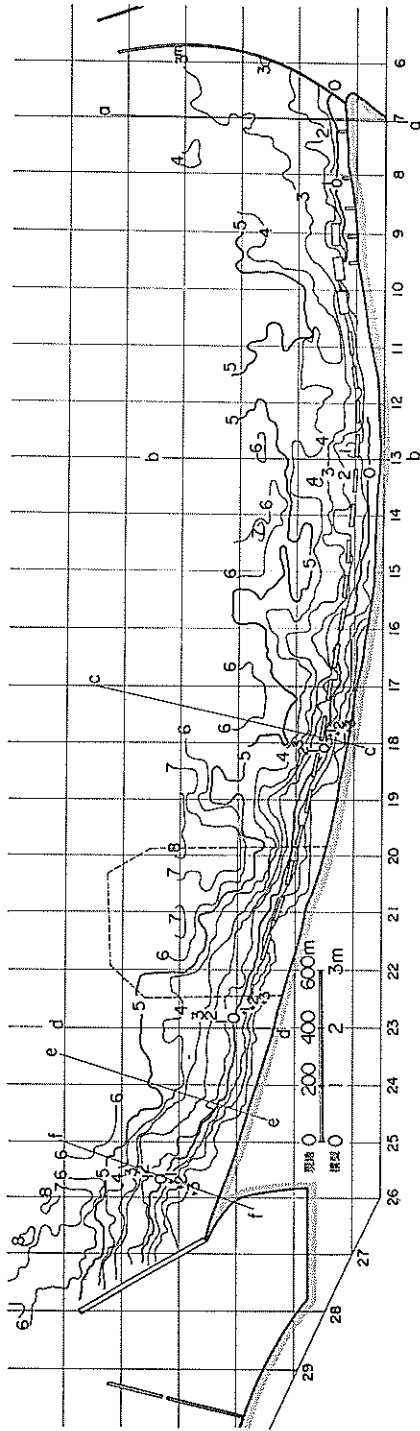


図-5.34 深浅図 ケース 6 $t=360$ 分

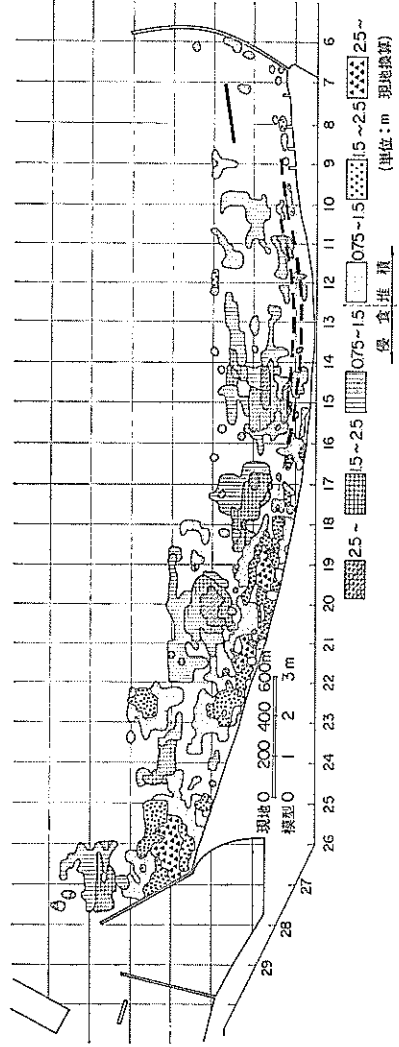


図-5.35 深浅差分図 ケース 6 0-360 分

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

い。断面図の図-5.36 を見ても、f 断面の堆積を除いて断面変化は少なかった。

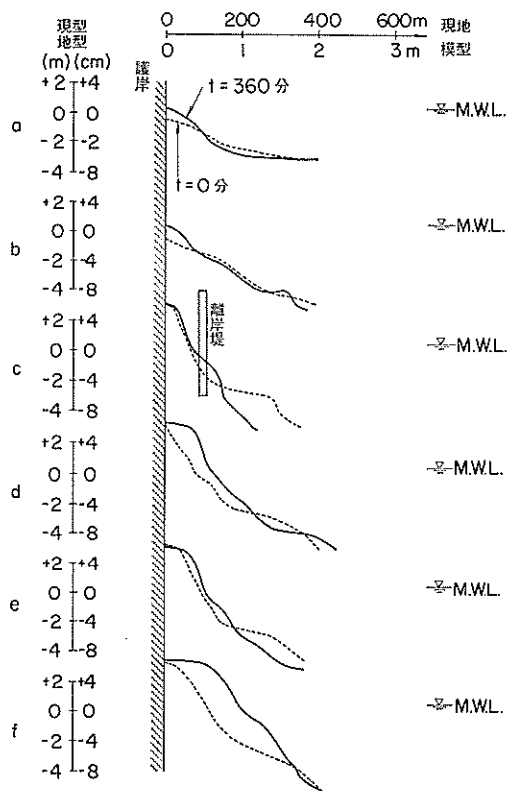


図-5.36 断面変化 ケース 6

5.4 沿岸漂砂量

ケース 1 とケース 2 において沿岸漂砂量の測定をおこなった。この結果をまとめたのが図-5.37 である。

ケース 1 では、波作用時間 120 分から 130 分までの 10 分間、空港延長予定位置すなわち測線 No. 20 に沿って護岸から沖向きに図-5.37 に示すように水深約 7m まで、ステンレス製トラップを設置した。その結果が、図-5.37 の下に示す折れ線グラフである。これより沿岸漂砂量の大部分は、沿岸砂州付近に集中していることがわかる。現地における沿岸漂砂の多くは沿岸砂州付近でおこっているであろうと考えれば、この水深方向の沿岸漂砂量分布は現地とよく一致していると考えられる。一番沖側のトラップで 1 つのピークがあらわれているが、これは沖からかなりの砂が流入したためなので棄却して考えるべきであろう。水深 -5m 以深の沿岸漂砂量はきわめて小さいことがわかる。

ケース 2 では、波作用時間 200 分から 210 分までの 10 分間、ケース 1 と同様に測線 No. 20 に沿って空港の先端から沖に向かってやはり図-5.37 に示すようにトラップを設置した。その結果はやはり図-5.37 の下の折れ線で示している。両端で沿岸漂砂量が特に大きくなっているのは、沿岸直角方向からの砂の流入であろう。しかし、最も空港よりのピークは空港に沿った沿岸漂砂であるとも考えられる。

そこで空港のないときの沿岸漂砂量は、ケース 1 の 11800g/10 分から沖側端のピークを差し引いた直に、ケース 2 の値から空港端のピークを差し引いた値を加えた

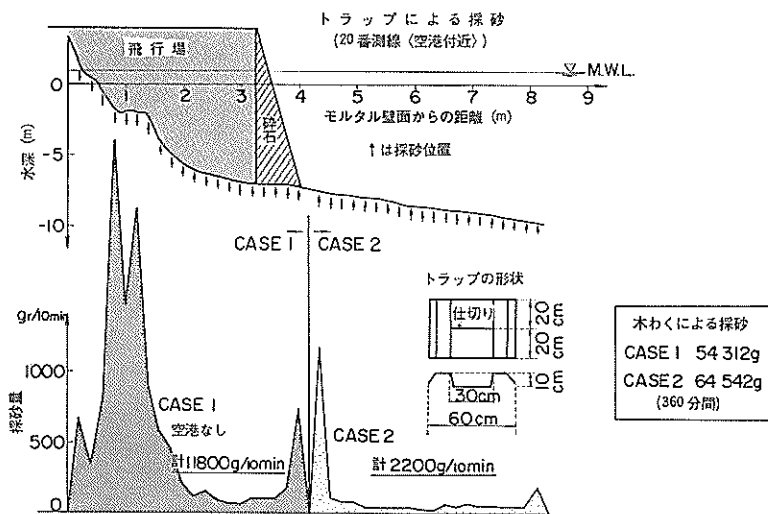


図-5.37 沿岸漂砂量

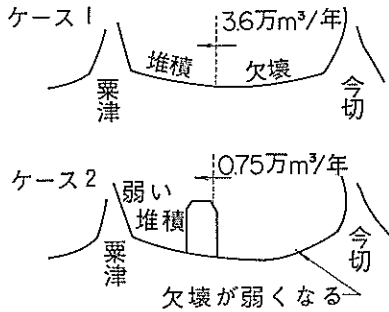


図-5.38 現地換算した年間沿岸漂砂量

ものと考えられ、空港があるときの沿岸漂砂量はケース2の 2200g/10 分をそのままの値と考え、前者に対しては 1200g/分、後者に対しては 220g/分となる。

図-5.38 は、以上のように求められた沿岸漂砂量の値を1年当りの漂砂量に現地換算してみたものである。時間の換算に当たっては、120分を5年とし、土砂の容積比重を 1.6、模型の現地に対する容積縮尺比を $200^2 \times 50$ とした。すなわち、それぞれ 3.6 万 m^3 /年、および 0.75 万 m^3 /年である。これは沿岸漂砂量の多くが空港で止められるという上述した汀線深浅の各測定結果と一致して

いる。

次に計算により現地の沿岸漂砂量を求めることにする。第三港湾建設局発行の徳島飛行場波浪調査報告書³⁾によると、南から北への昭和46年から51年までの5年間の波による沿岸方向エネルギー輸送量は、約 9×10^5 t·m/m であると推算されている。この値を沿岸漂砂量を推定する佐藤・田中の式⁷⁾

$$Q_i = 0.3E_i$$

$$Q_i: m^3, E_i: t \cdot m/m$$

に代入すると、5.4 万 m^3 /年となる。この値は、オーダー的には実験値と一致している。

すなわち、この実験で測定された沿岸漂砂量は、ピーク水深の位置でも量的なオーダーでも、現地を再現したものである。

トラップによる採砂の他、図-3.1に示した模型の粟津側端部で360分間の漂砂量を木枠で測定した。図-5.37にその結果も記入したが、これはあまり参考にならないと思われる。導波板や粟津港防波堤、離岸堤のために、粟津港北部のごく狭い部分の漂砂しか採られていないと考えられるからである。

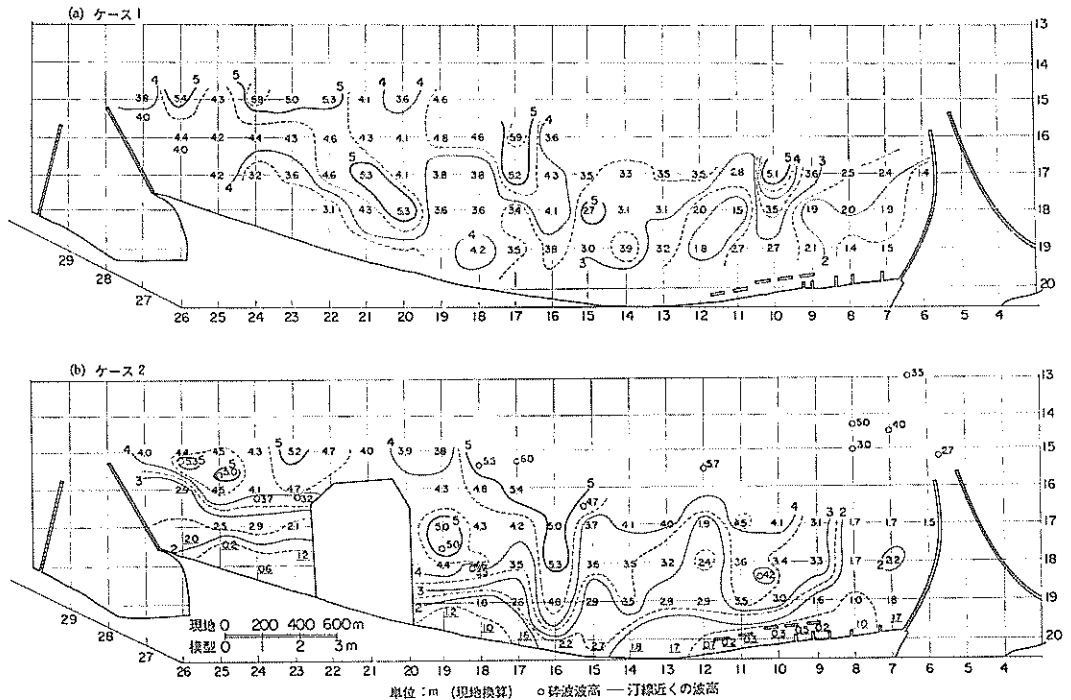


図-5.39 波高分布

5.5 波と流れ

図-5.39 に波高分布測定結果を示す。実線および点線は等波高線である。記入されている数値は現地換算した波高の値である。白丸は砕波点、下線は汀線近くの波高を示す。

ケース1では、全体として今切側の波高が小さく栗津側の波高が大きくなっている。これは、今切防波堤は波の遮蔽効果を示し、栗津防波堤は波の集中効果を示すからである。また、沿岸方向にかなりの波高の振動がある。これは模型固有の振動による定常波や造波機の不均一にもよるが、防波堤や海岸からの反射によるものが大きいと考えられる。模型では歪のため勾配が急になっているので現地よりも多少反射率が高くなっていること、規則波を用いているため常に同じところが腹や節になっていることがその原因であろう。したがって海底地形にあらわれた起伏も、現地よりも若干強調されているであろう

と考えられる。

ケース2をケース1と比較すると、空港による遮蔽のため空港栗津間の海水浴場では波高が小さくなったことがわかる。空港今切間では空港近くで多少波高が大きくなっている程度で目立つ変化はない。これは空港護岸に十分消波工を設けたからである。

海浜流の測定結果を図-5.40 に示す。図中の矢印が流れの方向、大きさを示している。数字は現地換算した流速である。流速の現地換算にあたっては、フルード相似にもとづき鉛直縮尺の平方根 $\sqrt{50}$ を乗じた。

全ケースに共通して今切空港間に南から北へ向うかなり強い沿岸流がある。この流れは、空港を延長した場合には、空港近くで沖向きの離岸流となり空港先端から北側へ流れ出る弱い流れとなる。そして空港栗津間は波高が小さくなり、沿岸流も弱くなる傾向が見られる。このことは海水浴場としても、海浜維持上からも好ましい。

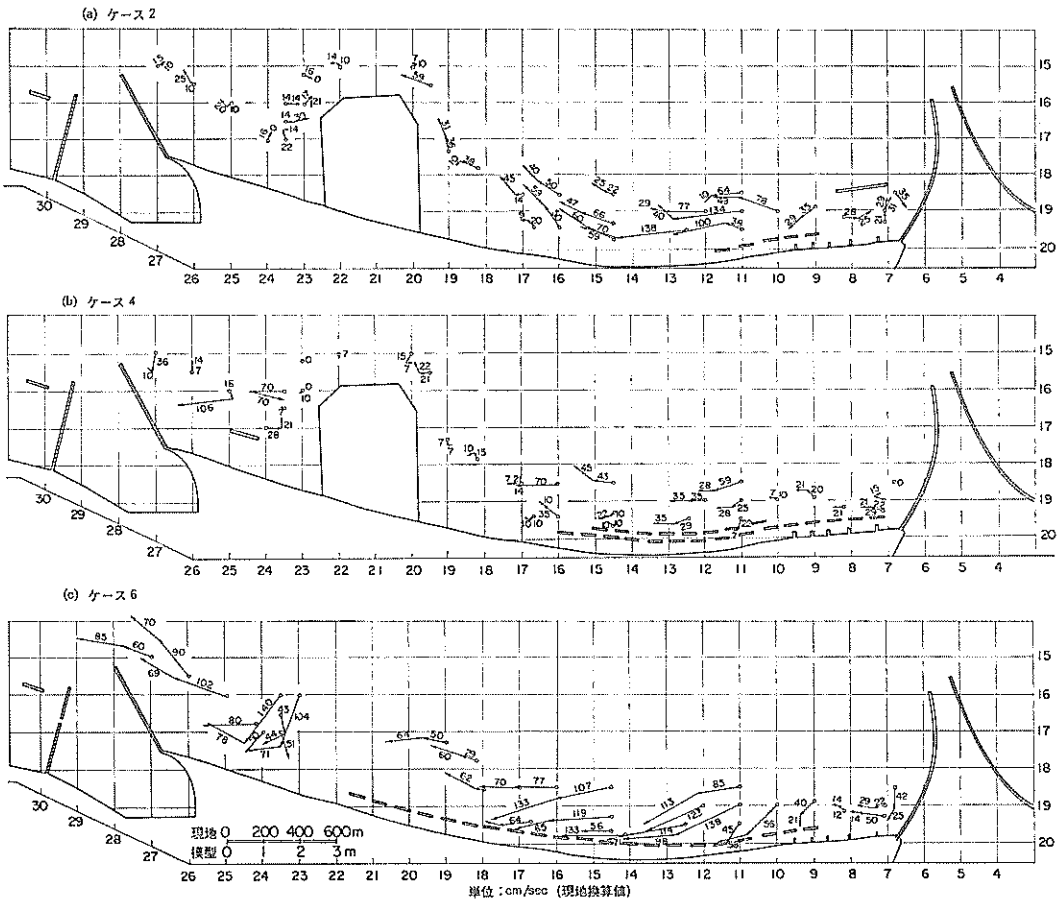


図-5.40 海浜流分布

空港を延長しない場合には、強い沿岸流のまま粟津防波堤端部近くまで流れ、そこから防波堤をまわり、さらに北へ向って流れていく。これらの沿岸流分布は上述した地形変化と合理的な対応をなしている。

6. SSE, ENE 波向追加実験

6.1 実験ケース

本実験の終了後、SSE と ENE の波向について追加実験をおこなった。この章ではこれらの追加実験の結果を述べる。本実験によって松茂海岸の漂砂特性を明らかにし空港延長の与える影響を把握したが、この追加実験

の目的は、SE 以外の波による漂砂特性を考慮に入れたとき、上述の本実験によって得られた空港延長の影響およびそれに対する対策工法を修正する必要があるかどうかを明らかにするためである。

そこで、SSE, ENE とも次の2ケースについて実験をおこなった。

- ・ケース1 現況
- ・ケース2 現況+空港+対策工

それぞれのケースの構造物配置は、後述する図-6.1, 図-6.2 あるいは図-6.8, 図-6.9 に示してある。

ケース1では、現況地形に対して SSE, ENE の波が

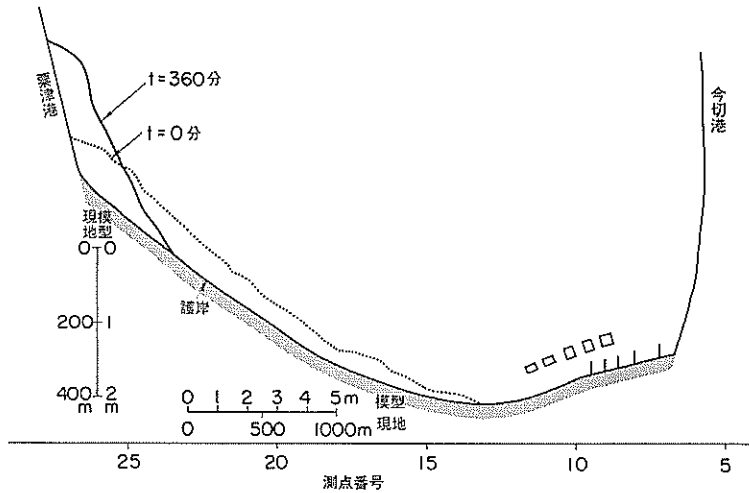


図-6.1 汀線変化 SSE ケース 1

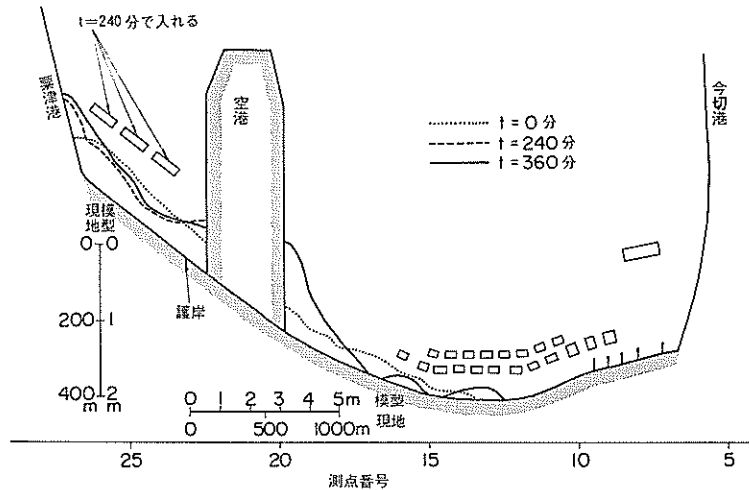


図-6.2 汀線変化 SSE ケース 2

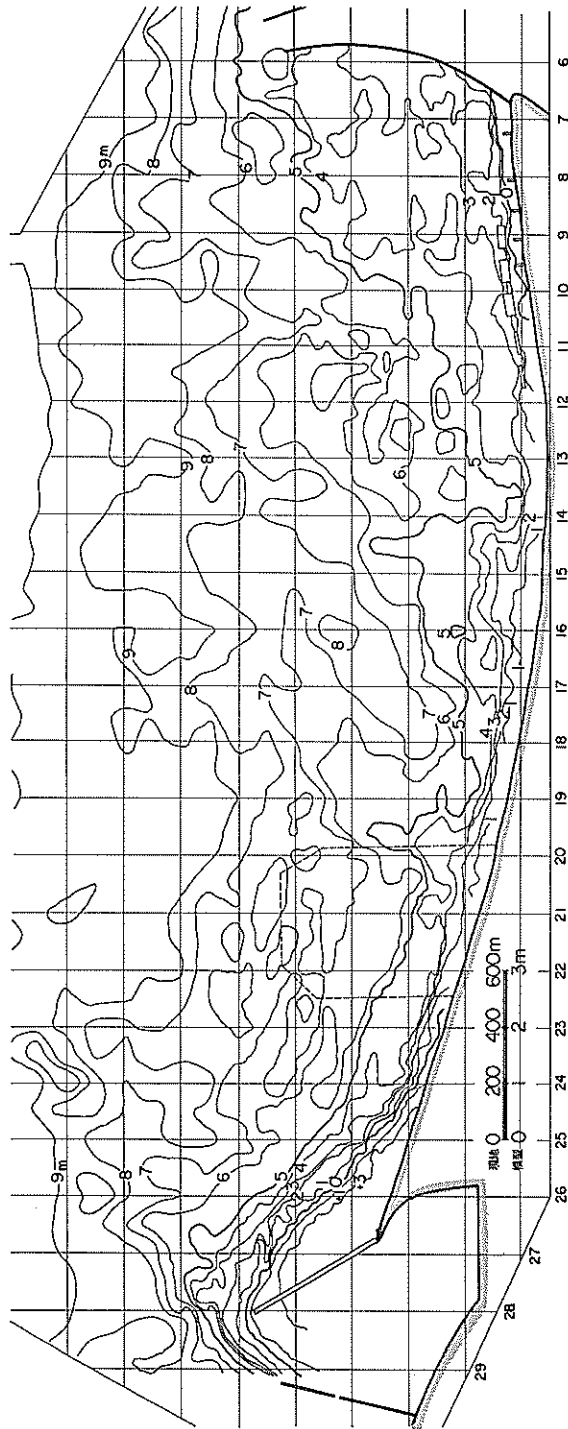


図-6.3 深浅図 SSE ケース 1 $t=360$ 分

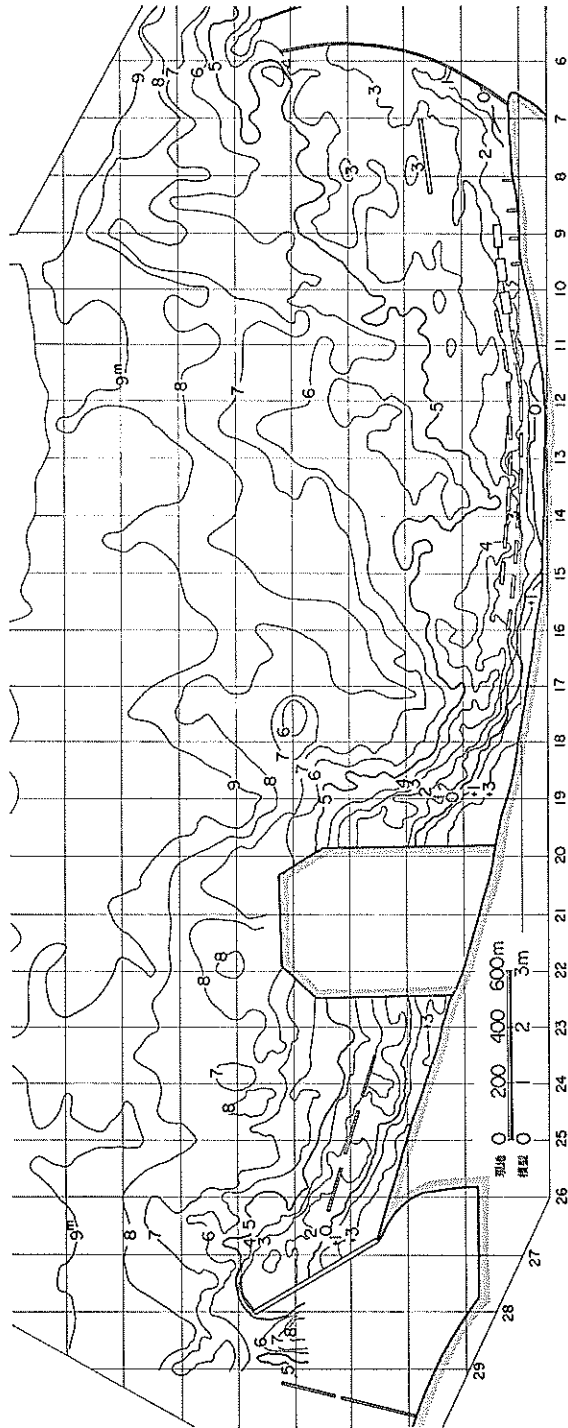


図-6.4 深浅図 SSE ケース 2 $t=360$ 分

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

来襲したとき、どのような変化がおこるのかを調べた。ケース2では、空港を延長し、本実験でもっとも好ましいと考えられた二重離岸堤を空港今切間に設置した。空港栗津間については、対策工のない場合と三基の離岸堤がある場合との両方を検討しなかったため、実験の途中($t=240$ 分)で離岸堤を設置した。各ケースとも360分間波を作用させた。波高と周期は4.1で述べた通りである。

6.2 SSE 波向実験結果

(1) 汀線変化

図-6.1, 図-6.2 に示すような汀線変化が測定された。ケース1の結果をみてわかるように、SSEはSEよりも入射角が急なので、SEの場合よりも今切側で砂浜の消失がより著しく、そして栗津港南側でより大きな前進を示す。図-6.2のケース2の結果をみると、空港延長のため砂の移動が止められ、空港南部に著しい前進がおこったのがわかる。二重離岸堤群の効果として現況より南側にも砂浜があらわれたが、SEの場合より沿岸漂砂が強いので、離岸堤のための汀線の著しい前進は見られなかった。空港栗津間は、SEのときと同様に凹型の汀線と

なった。三基の離岸堤の効果が顕著でないのは、 $t=240$ 分というのは時期が遅すぎてすでに地形が安定してしまったためと思われる。しかし、360分では240分より少しは汀線が前進しているのがわかる。

(2) 海底地形変化

図-6.3 および図-6.4 はそれぞれのケースの360分後の深浅図である。初期地形はSEの場合、すなわち図-5.7や図-5.22と同じなのでここでは省略する。また、図-6.5は各ケースの0分から360分までの深浅差分図である。

ケース1の海底地形を示した図-6.3を見ると、-5mの等深線が測線 No. 10 から No. 25 までかなり護岸に近づいているのがわかる。とくに No. 13 と No. 19 での後退は著しい。そして No. 25 から No. 27 にかけて大きく前進し、栗津南防波堤を大きくまわりこんでいる。差分図も以上のことに対応し、No. 12~25 にかけて広く深い侵食を受け、その大量の砂が No. 25 以北、栗津港内にまで堆積しているのがわかる。全体的に考えて、ケース1の地形変化は、SSEのケース1の地形変化をさらに強めたものと考えられるであろう。

図-6.4のケース2の深浅図を見て、-5m線をケース

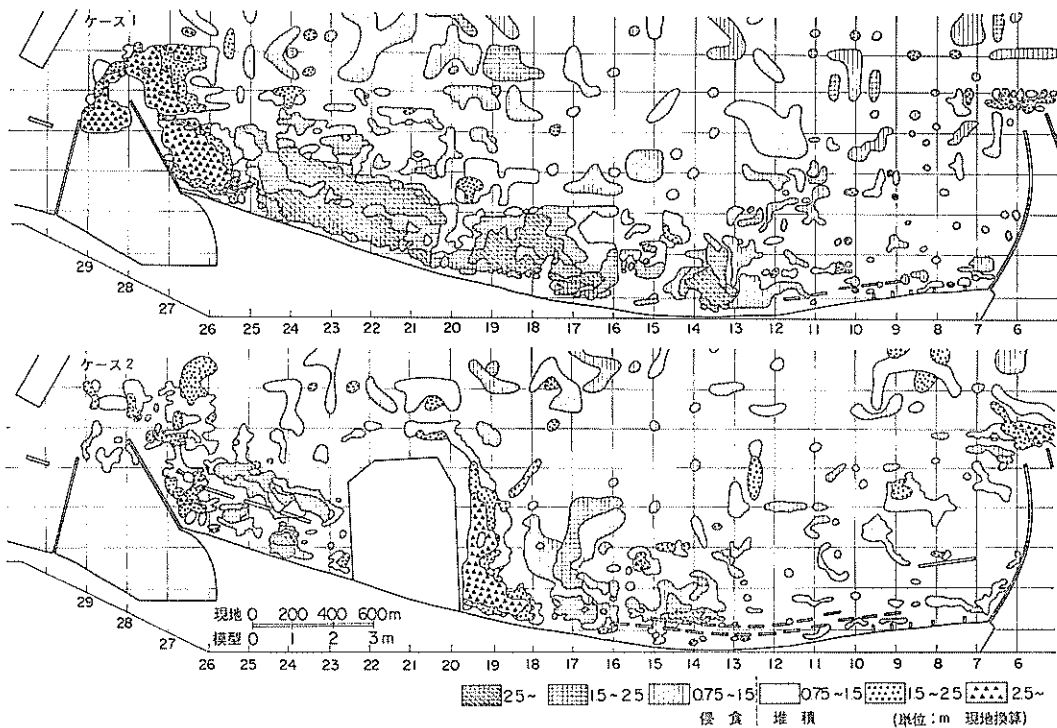


図-6.5 深浅差分図 SSE 0-360分

1と比較すると、No. 7~17 はほぼ同じような傾向を示しているが、No. 18 から空港にかけては大きく前進している。空港粟津間では、ケース1よりも護岸に平行に近くなり、No. 25~27 の前進、粟津港内へのまわりこ

みはかなり弱くなっている。図-6.5 の差分図もそれに対応し、ケース1の場合より侵食の区域がせまくなり、侵食深も浅くなっている。空港南部における堆積、粟津防波堤付近の堆積とその港内への砂の流入の減少などが、

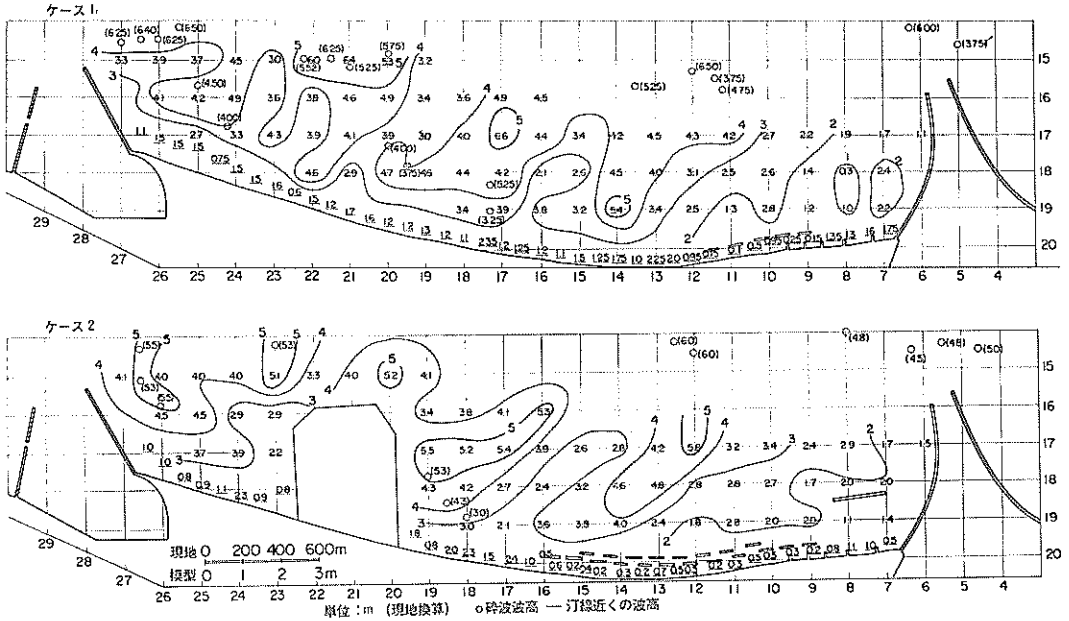


図-6.6 波高分布 SSE

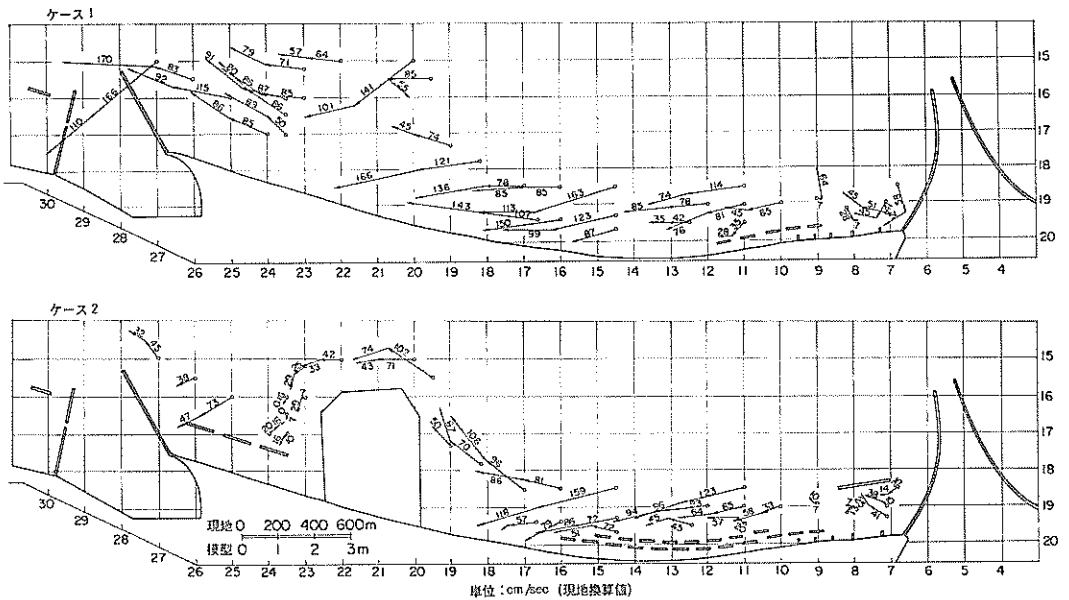


図-6.7 海浜流分布 SSE

徳島空港延長に関する漂砂模型実験

ケース1との主な相異である。

(3) 波と流れ

図-6.6は本実験のところで述べた図-5.39と同様な波高分布図である。粟津側が今切側よりも全体として波高が大きいこと、空港の延長により空港粟津間の波高が小さくなったこと、沿岸方向に波高の振動があることなどSEと同じ傾向がより強くあらわれているのがわかる。

図-6.7は、本実験の図-5.40と同様な海浜流測定結果である。空港が延長されない場合は、今切から粟津にかけて強い沿岸流が見られること、空港の延長により沿岸流が空港をまわるようになり空港粟津間の流れが弱くな

っていることなどは、SEの場合と同じである。ただ入射角が大きいため、沿岸流速は全般にSEより速くなっている。

以上の波と流れの測定結果は前述した地形変化とよい対応をなしている。

6.3 ENE 波向実験結果

(1) 汀線変化

ケース1の結果を示した図-6.8からわかるように、SEやSSEのときは異なり、粟津側汀線後退、今切側前進という逆の傾向を示す。これは波の入射角度の関係で、反対方向に沿岸方向のエネルギー輸送がおこるから

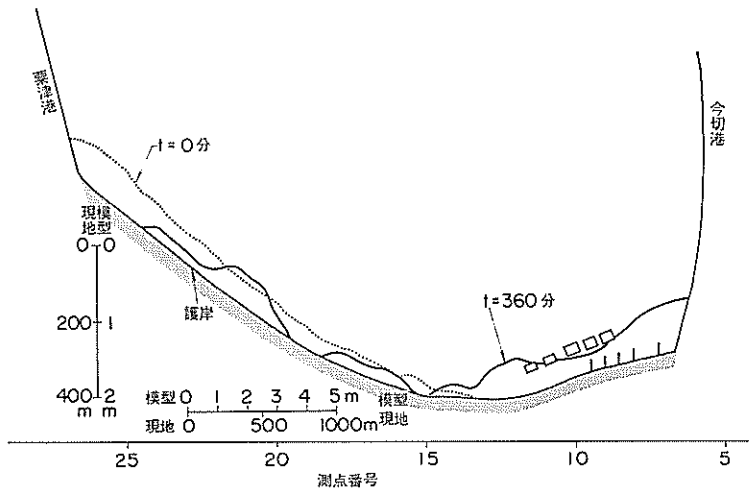


図-6.8 汀線変化 ENE ケース 1

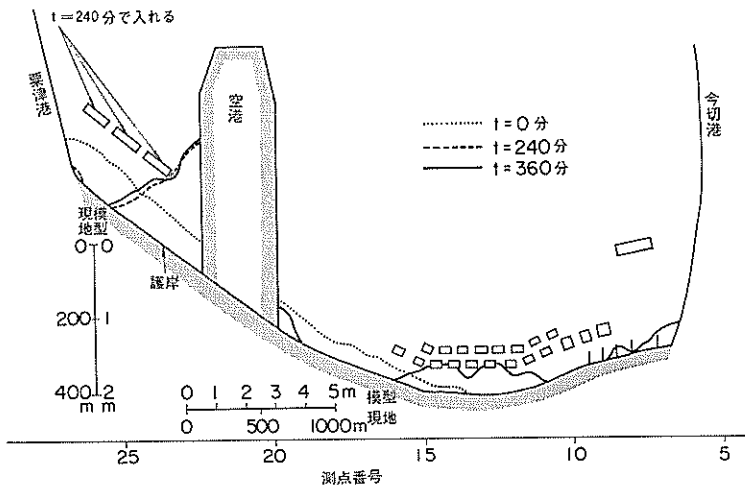


図-6.9 汀線変化 ENE ケース 2

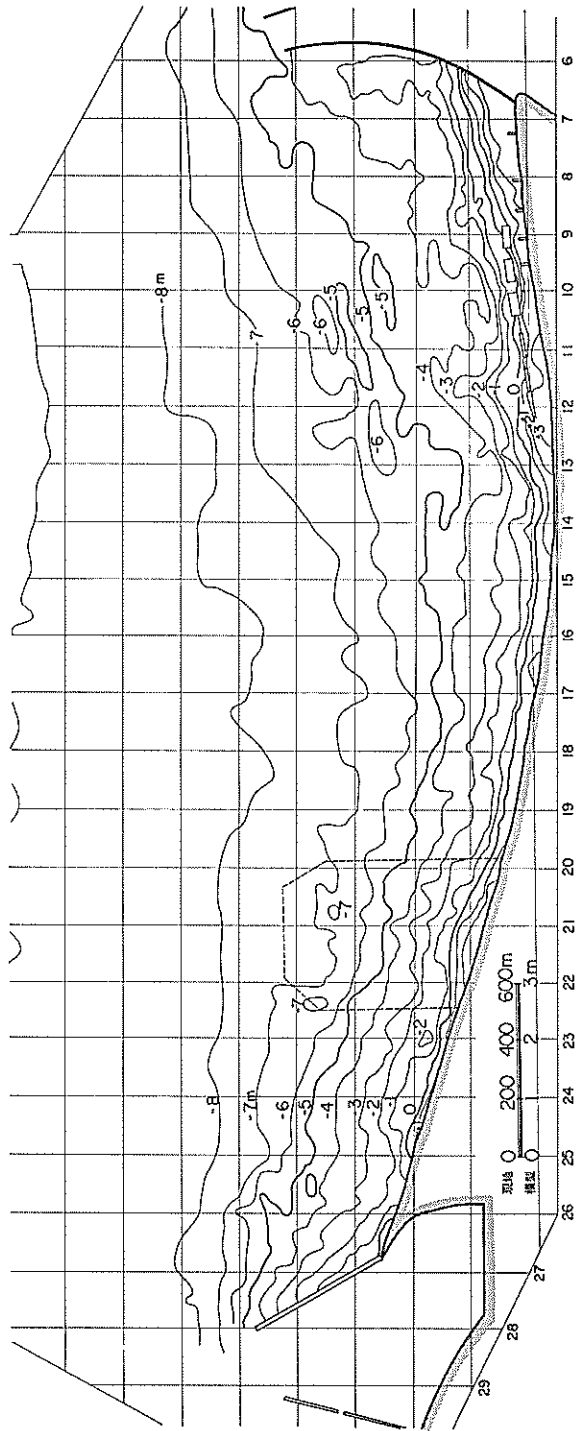


図-6.10 深淺圖 ENE ケース 1 $t=360$ 分

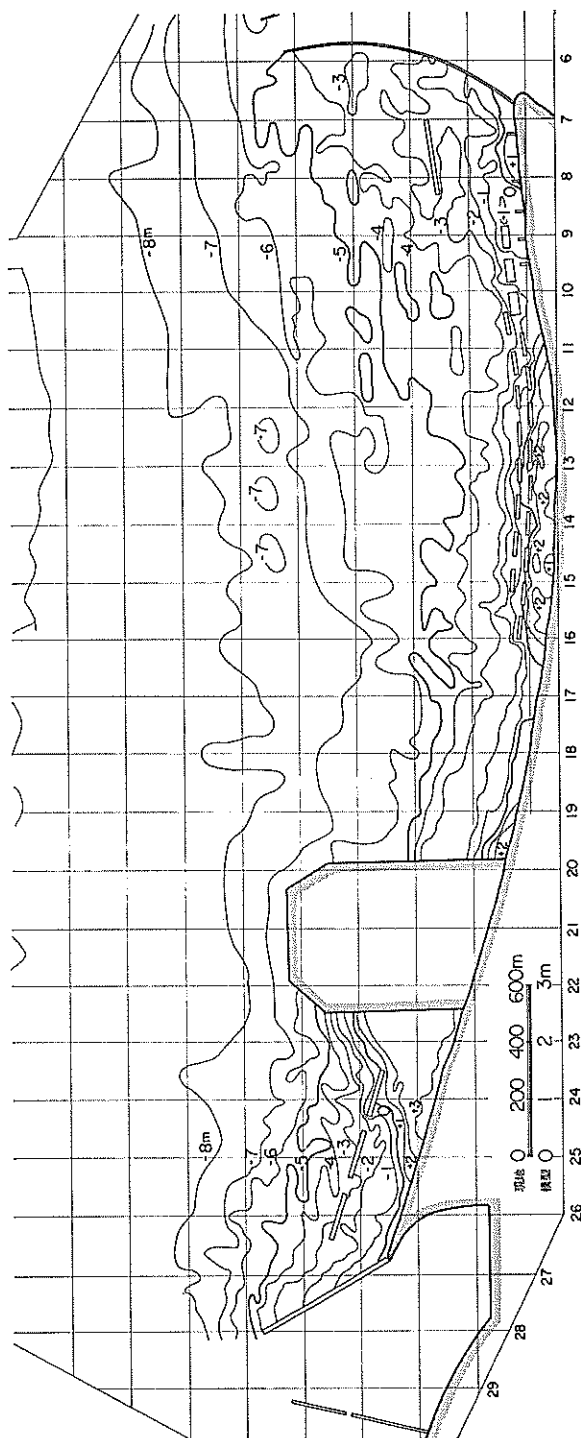


図-6.11 深浅図 ENE ケース 2 $t=360$ 分

である。

ケース 2 の結果を示した図-6.9 を見ると、空港今切間の砂浜が、ケース 1 に比べて全体に少なくなっている。これは空港栗津間の汀線形状からわかるように、空港によって沿岸漂砂が止められたためである。すなわち空港の延長は波向 ENE のときは北から南への沿岸漂砂を止める作用をもつわけである。空港今切間の二重離岸堤は、ENE 波向に対してもその効力を発揮し背後に砂浜を形成させている。空港栗津間の三基の離岸堤の効果については、SSE のときと同様に設置が遅すぎたため顕著ではないが、離岸堤背後に砂が移動する傾向はあらわれている。

(2) 海底地形変化

図-6.10 および図-6.11 はそれぞれのケースの 360 分後の深浅図である。また、図-6.12 は各ケースの 0 分と 360 分との深浅差分図である。

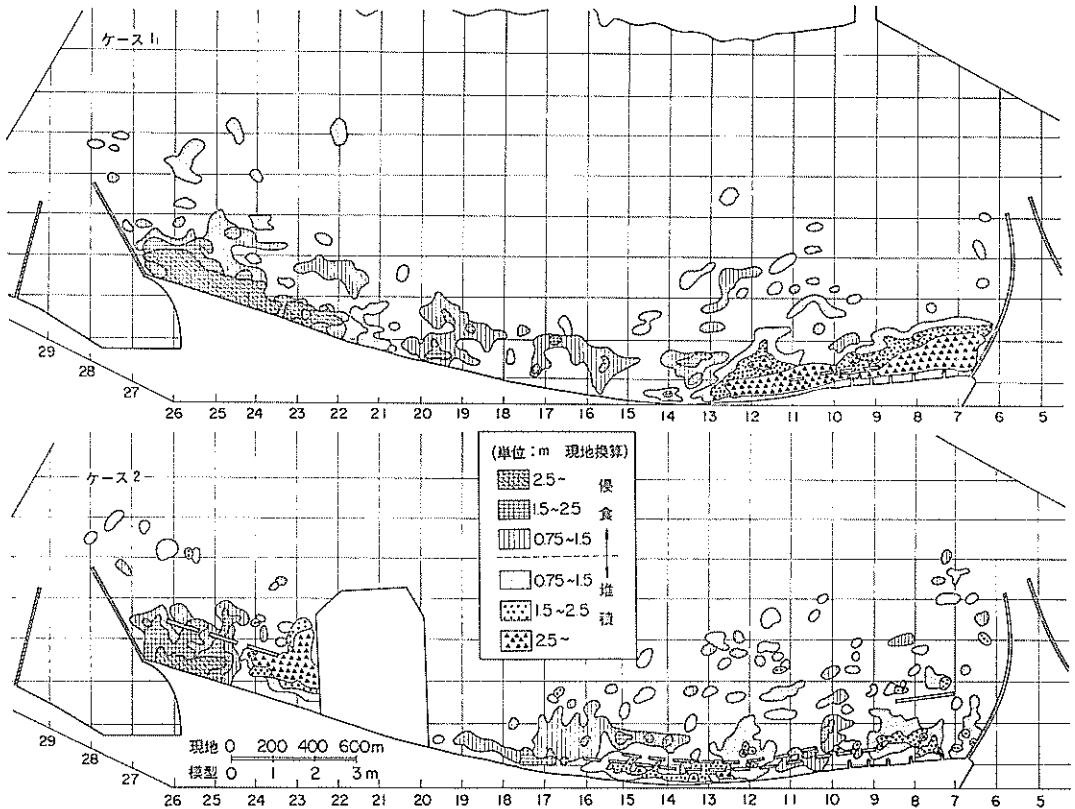
ケース 1 の -5m の等深線を見ると、昭和 50 年のそれとあまり変化していないのがわかる。これは、予備実

験で述べたように、ENE 実験波の完全移動限界水深が 1.6m しかないことに対応している。したがって海底地形の変化は、ほとんど汀線付近に限られている。深浅差分図もこれに対応し、汀線付近では No. 22~27 にかけて大きな侵食が、No. 7~13 にかけて大きな堆積がおこっているが、沖はあまり動いていない。

ケース 2 の深浅図の -5m 線を見ても、あまり変化をしていないのがわかる。深浅差分図でも、地形変化はやはり汀線付近に限られている。汀線付近の地形変化については、汀線変化のところで述べたことに対応した地形変化を示している。すなわち、空港の北側に堆積がおこり、ケース 1 と比較して空港今切間の堆積が弱くなっている。

(3) 波と流れ

図-6.13 は波高分布図である。ENE 波向の場合は、波高の分布も SE や SSE のときとはかなり異なっているのがわかる。ケース 1 を見るとわずかではあるが今切間が栗津側よりも波高が大きくなっている。これは、波の



徳島空港延長に関する漂砂模型実験

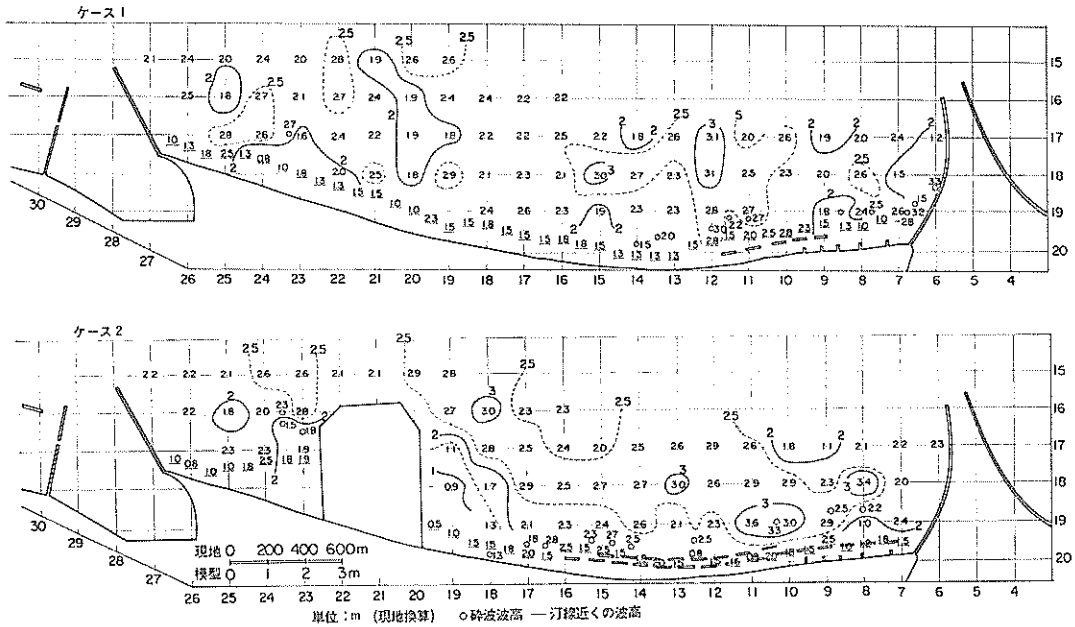


図-6.13 波高分布 ENE

集中と遮蔽の役割が今切繁津兩防波堤で SE や SSE 波と逆になったからである。ケース 1 とケース 2 を比較すると、空港の延長により、空港の両端で若干波高が小さくなったこと、沿岸方向の波高振動の腹と節が少しずれ

たことが確認される。しかし、SE や SSE のときと比較して空港延長による波高分布の変化は少ない。これは波高がより小さかったためであろう。

図-6.14 は海浜流分布図である。SE や SSE のときに

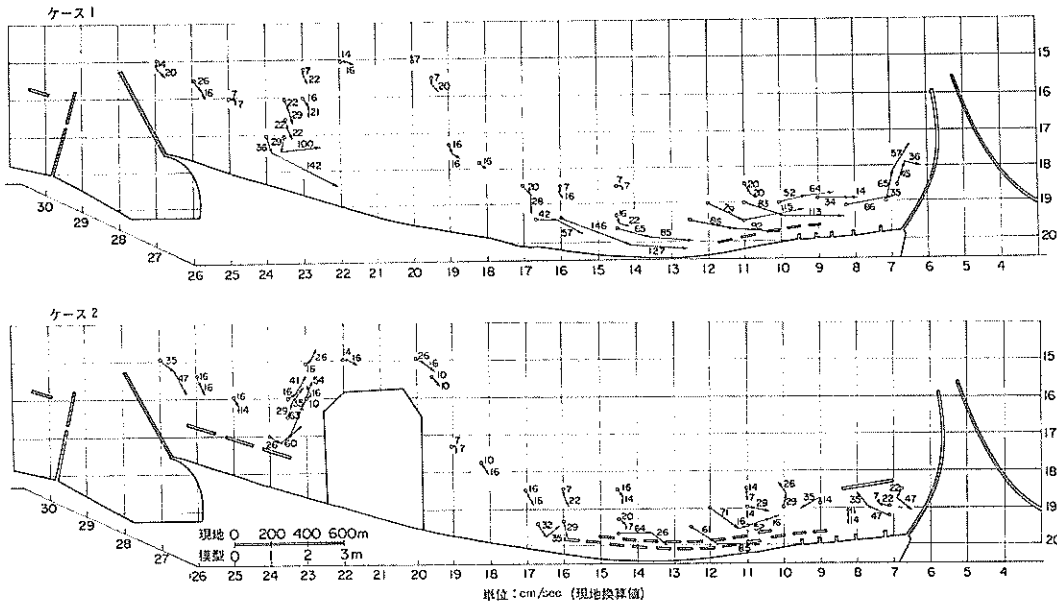


図-6.14 海浜流分布 ENE

くらべて流れの方向が逆になっていることがわかる。波高が小さいため、流速も少し遅くなったようである。

以上の波と流れも、他の波向のときと同様に地形変化とよく対応している。

7. 結果の考察

以上の実験結果の考察に入る前に、もう一度本海岸の漂砂特性を概説する。

本実験の対象とした松茂海岸は、今切港北防波堤と粟津港南防波堤にはさまれた南北にのびる約 4000m の弓形状の海岸であり、今切港から 2km 南側に河口をもつ吉野川の三角州上の一部をなしている。この海岸では、SE または SSE 方向から来襲する太平洋からのうねりが主たる来襲波なので、沿岸漂砂の主方向は南から北へ向っている。しかし、近年の吉野川からの排出土砂の減少に加え今切粟津両防波堤の延長のために、今切防波堤を越えてこの海岸に流入する漂砂も、粟津防波堤を越えてこの海岸から流出する漂砂もきわめて少ないと考えられる。このことは、現地における沿岸砂州は $-2\text{m} \sim -3\text{m}$ の等深線の中に存在すること、年に 2~3 回来襲する波高 2m の沖波に対する完全移動限界水深を計算すると 5.2m となり、両防波堤先端水深とほぼ等しくなっていることなどからも証明できる。すなわち、本海岸は通常は隣接海岸からはほとんど漂砂が独立しているのである。

このような本海岸の漂砂特性をもととして、この実験の結果について考察する。

(1) 予備実験について

航空写真による昭和 39 年の汀線から昭和 44 年の汀線へ変化させるのに適する波として、SE 方向、波高 4.3m、周期 10 秒を決定した。この模型波は波高 8.5cm、周期 1.41 秒であり底質粒径 0.29mm に対する完全移動限界からは本海岸の通常の時化時の波に相当する。そして、その 5 年間の変化を、模型では 120 分間で再現することができた。しかしながら 39 年から 44 年の汀線変化を完全に模型内に再現しえたわけではない。というのは、現地ではこの実験のように 39 年の防波堤を急に昭和 44 年のように延長したわけではないからである。したがって、この意味では 120 分は 5 年よりも短い期間に相当すると思うのが妥当であろう。このような問題はあっても、汀線変化の特性は模型上に再現しえたものと思われる。

(2) 本実験について

波高分布に平面的な不規則性が見られた。これは、実験施設によるものもあるが、模型ひずみのために反射率が少し増加したことが主たる原因であろう。それに加えて実験波が一定の規則波であったために海底地形の変化、すなわち欠壊と堆積が現地よりも強調されて出現したことはたしかである。また沿岸流の分布においても特性が強調されているであろう。さらに、本実験は SE 波向の波のみによるものであり、北寄りの波の影響は入っていないので、本海岸の特性がこの面からも強調されて現われたこともたしかである。

しかしながら本実験によって次のような定性的結果を明らかにすることができた。

- a) 本海岸を現状のまま放置すれば、砂浜の消失区間はしだいに粟津方向に広がっていくであろう。
- b) 本海岸の年間漂砂量は特に大きい台風がなければ、数万立米の北向きと考えられる。
- c) 空港を 600m 海側に延長することによって、空港の南側に堆積がおこり、空港を延長しない場合と比較して砂浜の消失区間は減少する。また、空港粟津間については、中間部が現状より多少後退し凹型状の海岸になる。しかし、粟津南防波堤先端をまわって北側へ流出する漂砂は減少するであろう。
- すなわち、空港の延長は両防波堤とほとんど長さの同じ防波堤を延長したと同じになり、海浜の安定に役立つと考えてよい。ただし、空港埋立部護岸の消波工は十分に余裕をもった構造にすることが必要である。このようにすれば、付近への波の反射も問題とならない。
- d) 空港今切間の中央付近は、空港を延長したとしても汀線の侵食は続くものと考えられる。したがってこの間は、現在の計画のように離岸堤を建設していく必要が残るが、本実験で述べたように二重離岸堤にしなければ十分でないであろう。
- e) 空港粟津間の海浜は、中央部で多少汀線が後退するおそれがあるが、現在この部分には幅 100m もの砂浜があるのでこのことは問題とするに至らない。離岸堤を三基設けるとこの後退は防ぐことができるが、離岸堤の形状と離岸距離が適当でなければ、離岸堤背後のトンボロ発生が著しくなって海水浴水面が減少するおそれがある。したがって多少の汀線後退であれば放置の方がよいのかもしれない。いずれにしても、空港建設後の汀線変化状況を見た上で対策をたてるべき

である。

f) 空港を延長したことによる隣接海岸への影響はほとんどない。それは空港埋立延長が今切粟津両防波堤先端を結ぶ線より内側であるので、それ以深における台風の波や潮流などによる浮遊砂を阻止することはないからである。

(3) 追加実験について

上述の SE 波による本実験から得られた空港延長の影響についての漂砂特性およびその対策工法が、他方向の波による漂砂特性を考慮したとき修正する必要があるかどうかを明らかにするために、SSE 波および ENE 波についても実験を行った。それによって得られた結果は次の通りである。

SSE 波向の場合は、SE のときにあらわれた特性がより強くあらわれる。すなわち、砂浜の消失区間がより広がっていく。しかし、この場合も空港の延長により沿岸漂砂を止めることができるため海岸欠陥が弱まる。また、二重離岸堤の効果があらわれること、空港粟津間の汀線が凹型になることも、SE の場合と同様である。

ENE 波向の場合は反対方向の沿岸漂砂がおこる。SE や SSE のときに比して小さい波を用いたので海底地形はあまり変化しなかったが、汀線付近は今切側堆積、粟津側欠陥のパターンが強くあらわれた。現地においても、北寄りの波はエネルギー的には大きくないが、汀線形状にはある程度の影響を与えているのではないかと考えられる。空港により沿岸漂砂がさまたげられること、二重離岸堤の効果があらわれたことは、SE や SSE の場合と同様であった。

上述の SSE 波および ENE 波における実験においても、やはり、空港延長は海浜の欠陥防止に役立つことが明らかであり、本実験で得られた空港延長による影響を修正する必要がないことがわかる。

8. あとがき

漂砂に関する模型実験においては、模型内に再現されるすべての水理現象を現地と相似にすることは一般に不可能である。従って、何を重点的に相似させるかということから始まる。本研究においては、空港延長に伴う付近環境に与える影響として長期的な汀線変化が重要であると考え、それをできるだけ現地と相似させることに主眼をおいた。すなわち、過去の航空写真から汀線変化を読みとり、その変化が再現できるような波浪を予備実験で決定した。この意味においては、本実験の汀線変化に

ついては比較的良好に再現できたと思われる。また、沖浜帯の地形変化についての再現性はよくなかったと思われるが、実験に用いた波は底質の移動限界水深の観点からは本海岸の通常の時に相当するものなので、さほど現地とかけ離れたものでもないと思われる。これについては検討すべき過去のデータがないので明らかでない。

一方、波浪変形については、模型がひずんでおりかつ規則波を用いているので水理学的な意味での相似性は完全には成り立たない。しかし、現地の波は時間的に、季節的に、また年ごとにも変化するものであるので、たとえばある種の波について水理学的相似性を満足させたとしても十分ではない。したがって、このような長期的地形変化を対象とする漂砂実験で用いる波は、ある仮想的な波であるにすぎない。仮想的な波であるなら、その選択の良否は目的とする海底地形変化の再現性にあるといえよう。このような観点からすれば、本実験における波浪変形の再現の不確かさは本質的な問題とはならないと思われる。

以上のようなわけで、本実験で得られた汀線変化についての特性は定性的には十分信頼し得るものと思われる。定量的にはそのまま信頼するわけにはいかないが、模型内での沿岸漂砂量がエネルギーによって計算された沿岸漂砂量とオーダー的に一致していることを考慮すると、得られた数値はさほど現地とかけ離れたものではないと思われる。

なお、この実験は第三港湾建設局の依頼により行ったものであり、貴重な現地資料を御提供ください、また種々御協力下さった神戸調査設計事務所および小松島港工事事務所の方々に感謝いたします。また、この実験についての貴重な御意見と御助言をしてくださった本研究所田中則男漂砂研究室長にも感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 田中則男・小笹博昭：海浜変形調査資料（第2報）、港湾技研資料、No. 192、1974年、pp. 77~84
- 2) 運輸省第三港湾建設局小松島港工事事務所：徳島海浜底質調査報告書、1975年
- 3) 運輸省第三港湾建設局：徳島飛行場波浪調査報告書、1976年
- 4) 運輸省第三港湾建設局小松島港工事事務所：波高計記録紙読取解析整理報告書、1977年
- 5) 佐藤昭二・合田良實：海岸・港湾（わかりやすい土木講座 17）、彰国社、1976年、pp. 156~160
- 6) 5) の文献の pp. 185~194
- 7) 5) の文献の pp. 185~194
- 8) 佐藤昭二・田中則男・入江 功・平原淳次：港湾埋

佐藤昭二・小笹博昭・永井紀彦

没に関する移動床模型の再現性——鹿島港の場合——，港湾技術研究所報告，第9巻第1号，昭和45年3月

9) 佐藤昭二・田中則男・佐々木克博：清水港三保防波堤の漂砂に関する実験的検討，港湾技研資料，No. 154，1973年3月