

2.2 キリダ海岸の自然条件

この節では、スリ・ランカ国南東部、キリダ地域の自然条件を、主として今回行った自然条件調査の結果に基づいて述べる。

2.2.1 海浜および海底地形

(1) 海底地形

キリダ地域における深浅測量は、本調査で実施した1988年5月および1989年3月の他、キリダ漁港築造以前の1983年2月およびキリダ漁港が埋没した後の1986年11月に実施されている。(今回調査で得られた深浅測量図を付録-Cに示す)

これらの深浅測量結果を立体的に、図-2.2.1(1)-(6)に示す。これら各図においては、測量時期の異なる2枚の立体図を並べ、これら2つの時期の間の水深変化を、堆積部分と侵食部分に分けて各々立体的に示している。

(1)図は、キリダ漁港築造前後である1983年2月と1986年11月の海底地形の比較であり、測量年次は異なるが、時期的には、SWモンスーン期における地形変化の特徴を示していると考えられる。堆積地域の分布を示す水深変化図によると、この間、キリダ岬の北側岸沿い、キリダ岬沖合いの岩礁地帯沖側とキリダ漁港港口とを結ぶ線上、およびキリダ漁港港内に著しい堆積が見られ、キリダ漁港の北海岸で侵食が見られる。キリダ岬沖合いの岩礁地帯沖側とキリダ漁港港口を結ぶ線上には、両深浅図共に堤状の浅瀬地形が認められ、この浅瀬が、この期間に一層浅くなっていることになる。

(2)図は、キリダ漁港建設以前の1983年2月と1988年5月の地形を比較したもので、両者共にNEモンスーン後の地形である。前述した通り、漁港建設後の地形には、2本の堤状の浅瀬が見られ、それに沿って堆積が生じ、一方漁港の北側の海浜で侵食が生じている。

(3)図は、漁港建設前の1983年2月と最新の1989年3月との比較であり、共にNEモンスーン後の地形である。堆積域と侵食域の分布は、(1)図に良く似ているが、漁港港口部から沖に向かって伸びる堆積は、(1)図の1983年と1986年の比較には見られない。

(4)図は、キリダ漁港が埋没後とその2ヶ年経過後の1986年11月と1988年5月の海底地形の比較であり、測量年次は異なるが、NEモンスーン期における地形変化の特徴を示しているものと考えられる。1988年5月の海底地形の特徴は、海底における堤状の浅瀬が、2本存在する点である。これらの内南側の浅瀬は、それ以前の2回の測

量にも見られ、キリンダ岬沖合いの岩礁沖側につながるものであるが、この期間の間に相当洗掘されている。北側の浅瀬は、キリンダ漁港北防波堤の北側から沖に向かって伸びている。同じくNEモンスーン後の1988年2月の深浅図には、この北側の浅瀬は見られない。

(5)図は、漁港が埋没した後の1986年11月と最新の1989年3月の深浅図を比較したもので、NEモンスーン期を経た地形変化である。堆積地域は、漁港北側海浜から漁港港口部を経て沖向きに伸びている。一方、侵食域は、漁港主防波堤の前面において生じている。

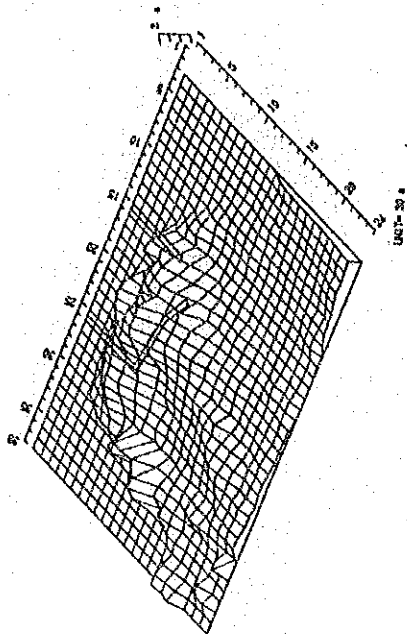
(6)図は、今回の調査において測量した1988年5月と1989年3月の結果の比較である。最後の測量が、NEモンスーン期の終わりに行われているためか、漁港の北側海岸、キリンダ岬縁沿いおよび漁港の港口部から沖に向かう線上に顕著な堆積が見られ、その他の部分で侵食が広く見られる。

これら各深浅測量の比較において見られる顕著な堆積及び侵食箇所を取りまとめると、表-2.2.1の通りである。この表から、以下の事項が指摘出来る。すなわち、

- ①キリンダ岬先端から漁港港口部へ向かって、堤状の浅瀬が常にみられる。しかし、この浅瀬は、1983年から1986年の間には発達しているが、その後は殆ど変化していない。後述する水理模型実験結果でも、この浅瀬の位置に沿って強い流れが見られ、ここが定常的な漂砂の経路になっているものと考えられる。
- ②漁港港口から沖合いに伸びる堤状の浅瀬は、1988年の深浅図から現れ、以降成長している。
- ③漁港主防波堤沿いおよびポケット・ビーチでは、漁港建設後急速に堆積するが、1986年以降はほとんど変化していない。漁港主防波堤沿いでは、近年むしろ侵食気味である。
- ④北側海浜は、SWモンスーン期に侵食し、NEモンスーン期に堆積する傾向を示すが、長期的にも侵食傾向にある。
- ⑤キリンダ岬沿いの箇所は、季節に係わらず堆積し、また、侵食することがある。

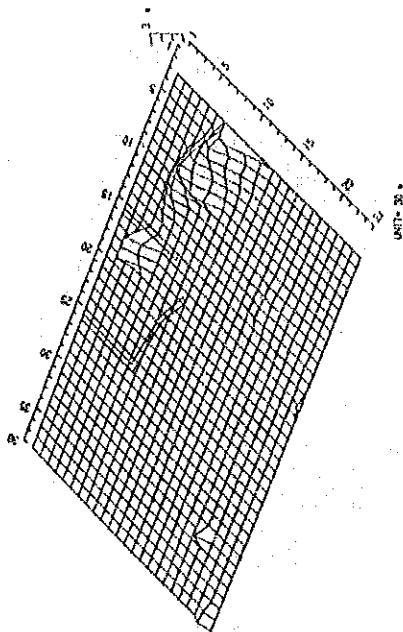
堆積

UNIT = 30

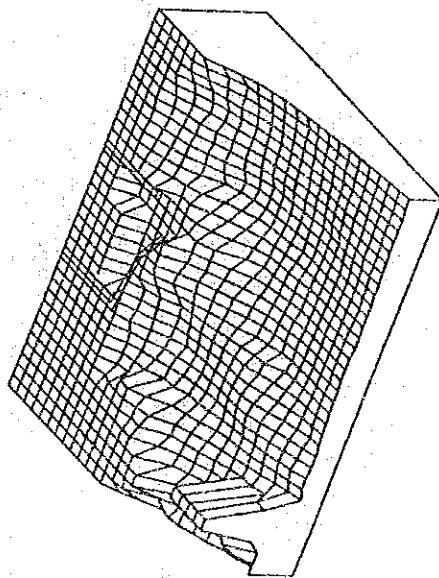


侵食

UNIT = 30



86年11月



83年2月

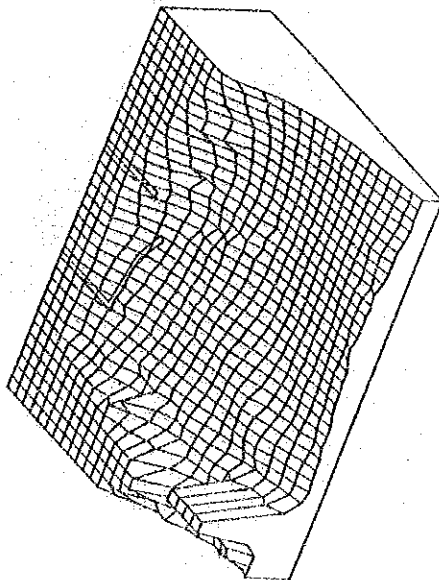
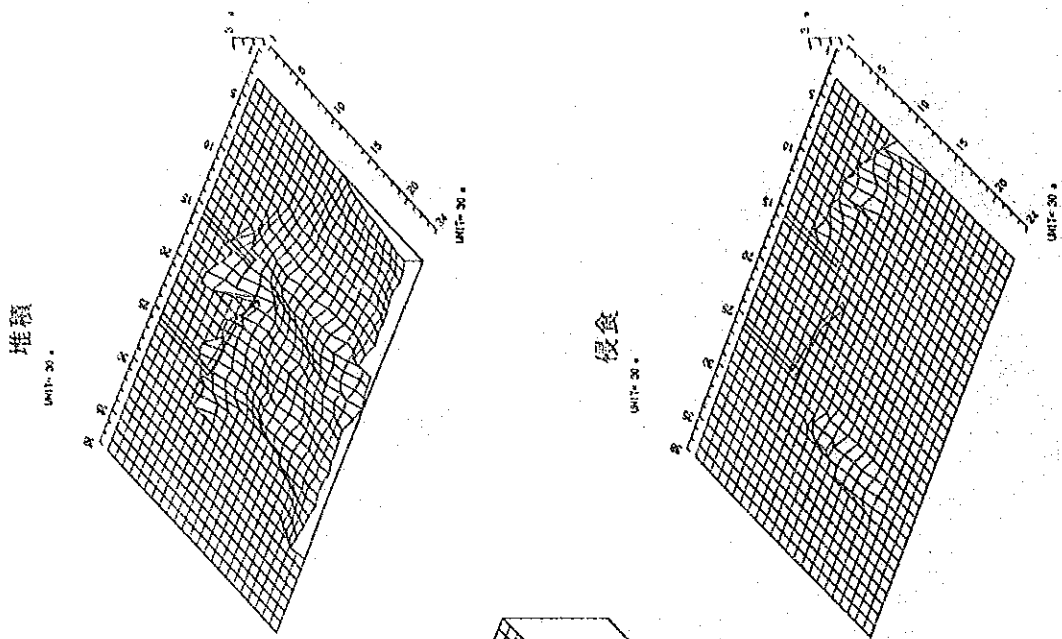
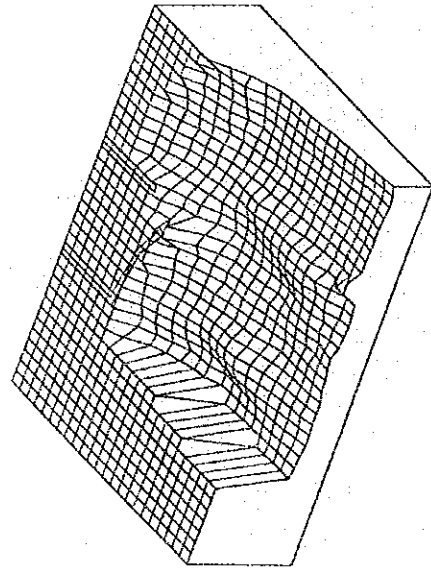


図-2.2.1(1) 1983年2月と1986年11月の海底地形の比較



88年5月



83年2月

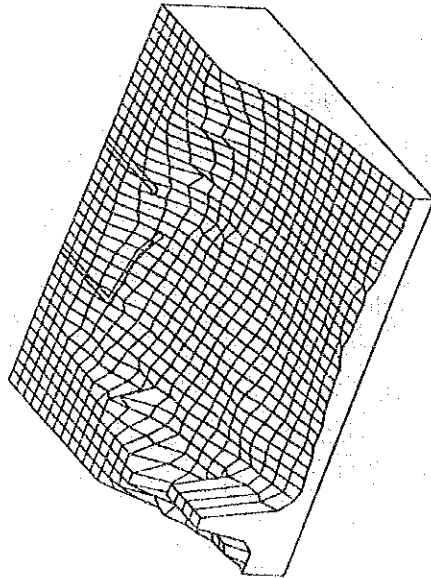
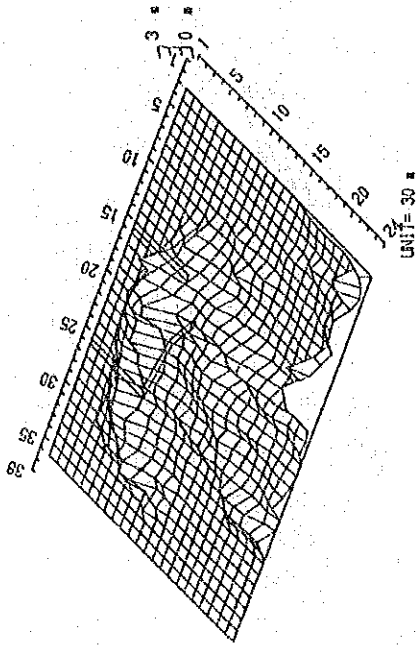
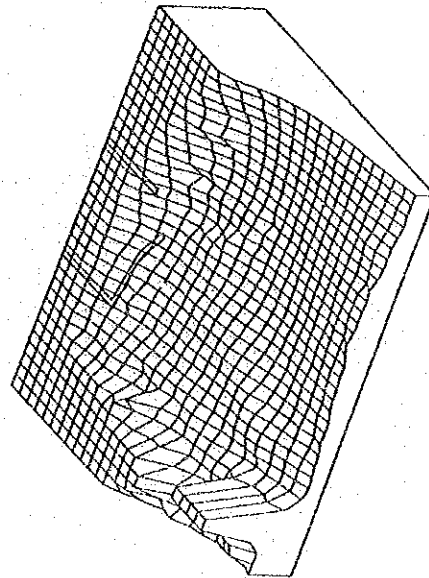


図-2.2.1(2) 1983年2月と1988年5月の海底地形の比較

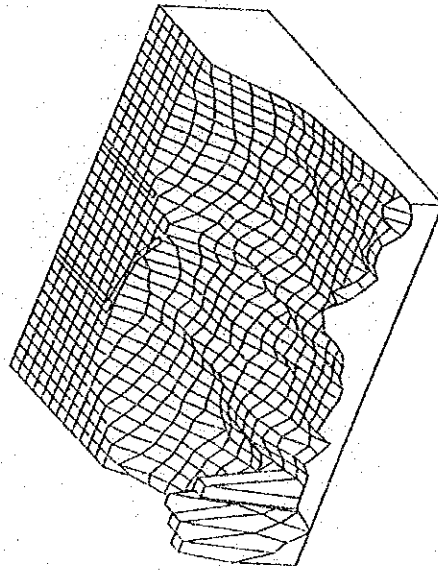
堆積
UNIT=30 m



83年2月



89年3月



侵食
UNIT=30 m

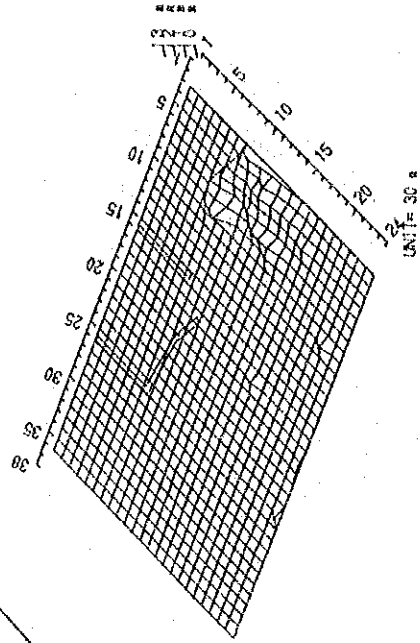
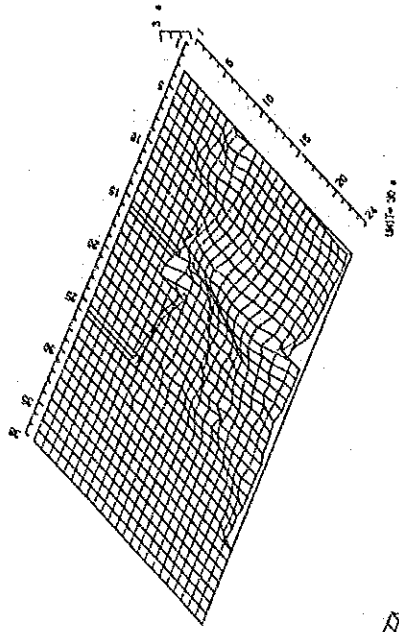
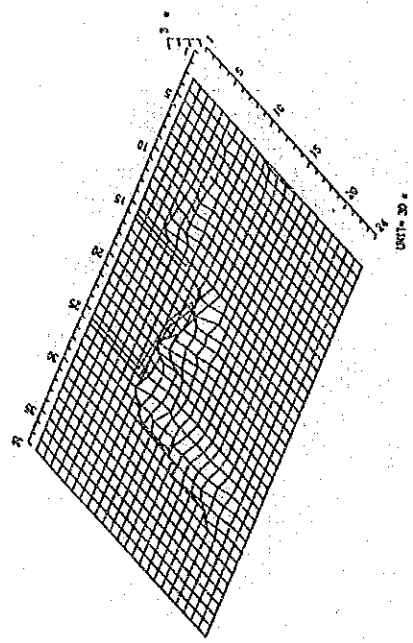


図-2.2.1(3) 1988年2月と1989年3月の海底地形の比較

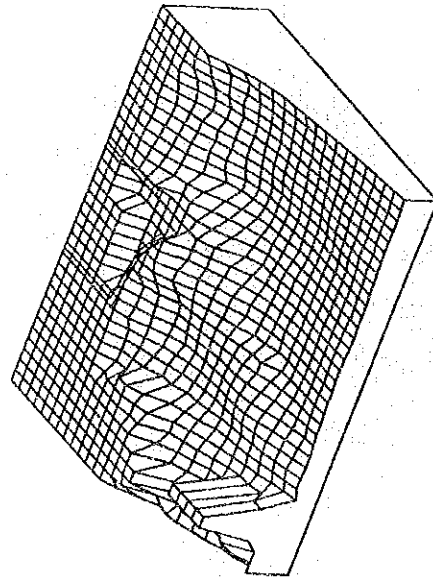
堆積
UNIT: 30m



侵食
UNIT: 30m



86年11月



88年5月

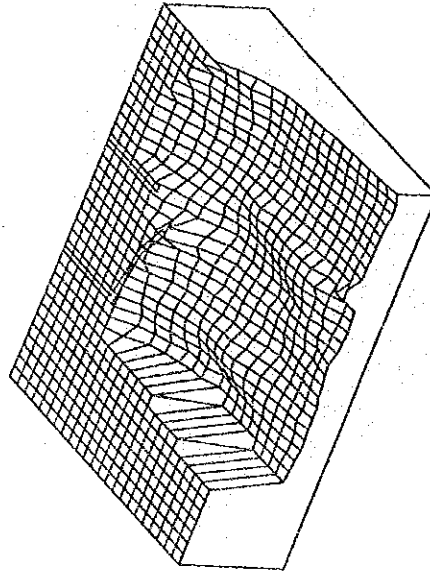
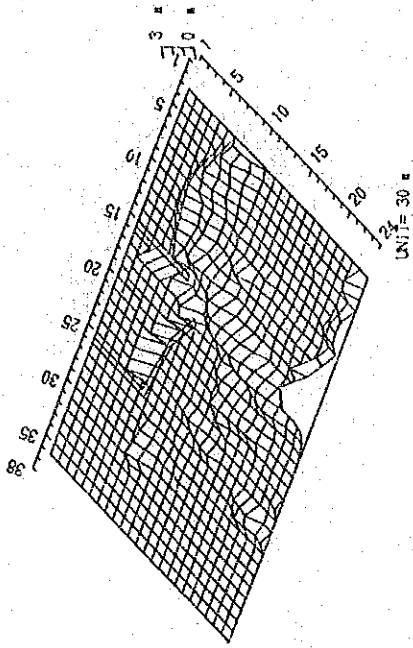


図-2.2.1(4) 1986年11月と1988年5月の海底地形の比較

堆積

UNIT= 30 m



86年11月

89年3月

侵食

UNIT= 30 m

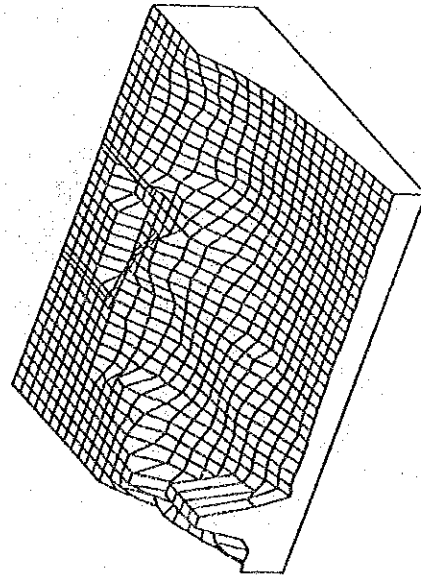
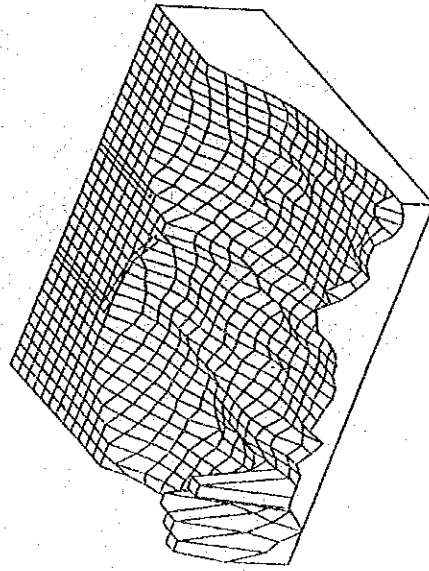
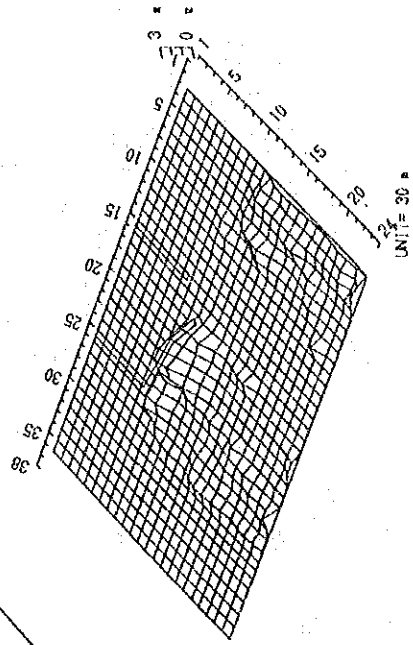
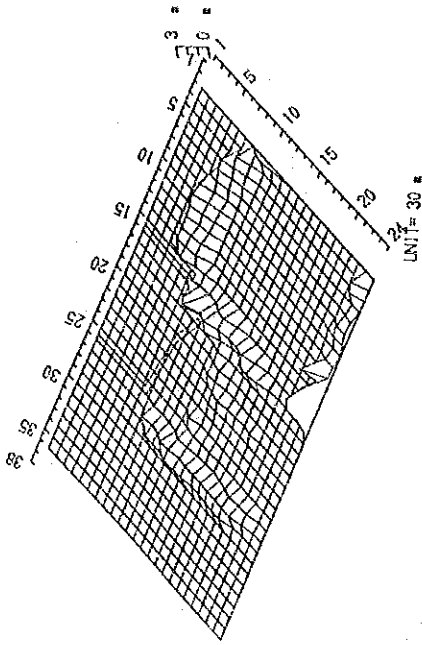
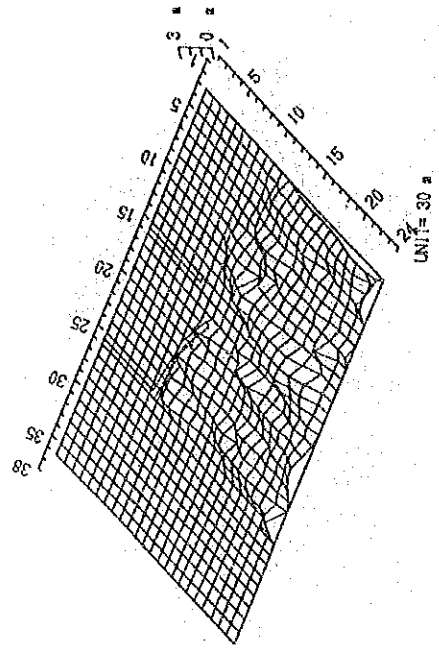


図-2.2.1(5) 1986年11月と1989年3月の海底地形の比較

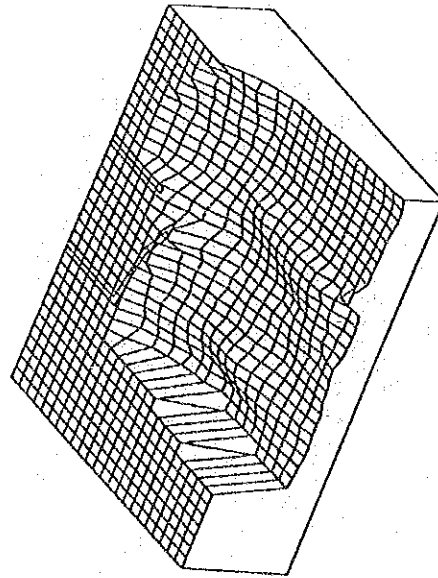
堆積
UNIT=30 m



侵食
UNIT=30 m



88年5月



89年3月

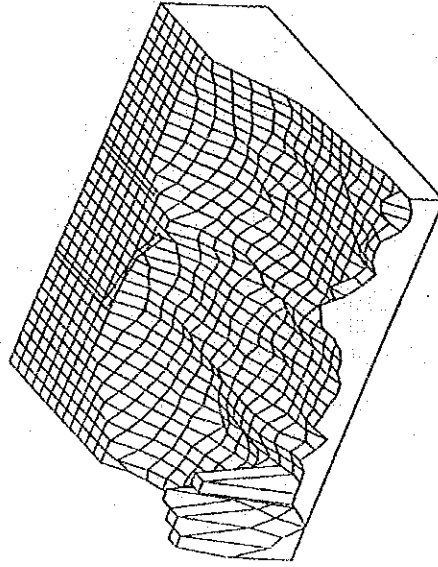


図-2.2.1(6) 1988年5月と1989年3月の海底地形の比較

表-2.2.1 各測量期間における主要な堆積および侵食の発生か所

	Feb. ' 83	Nov. ' 86	May. ' 88	Mar. ' 89	
Feb. ' 83		*キリダ岬縁沿い *キリダ岬先端- 漁港港口 *漁港主防波堤沿い	*キリダ岬先端- 漁港港口 *漁港港口-沖向き *漁港主防波堤沿い	*ポケット・ビーチ *港内 *キリダ岬先端- 漁港港口 *漁港港口-沖向き	堆積箇所
Nov. ' 86	*北側海浜		*漁港港口-沖合い	*漁港港口-沖合い *北側海浜	
May. ' 88	北側海浜 *キリダ岬縁沿い	*キリダ岬沿い *漁港主防波堤沿い *北側海浜		*キリダ岬縁沿い *漁港港口-沖合い *北側海浜	
Mar. ' 89	*北側海浜	*漁港主防波堤沿い *北側海浜沖合い	*漁港主防波堤沿い *沖合い広域		
	侵	食	箇	所	

凡例

SW モンスーン期

NE モンスーン期

(2) 海浜地形

1988年5,8,11月および1989年3月の4回に渡って、図-2.2.2 に示す測線において海浜の断面測量を実施した。代表的な測線を選定し測量結果を図-2.2.3 に示す。さらに、各測線について、各測量期間毎の変化を、顕著な堆積、堆積、安定、顕著な侵食及び侵食の5段階に分類し、その分布を図-2.2.4 に示した。これによると、

- ①1988年5月から1988年8月にかけては、全般に侵食傾向が強く、逆に、1988年11月から1989年3月にかけては堆積傾向が強い。また、1988年8月から1988年11月にかけては海浜は比較的安定していた。
- ②北海浜は、SWモンスーン期に侵食し、NEモンスーン期に堆積する傾向を明瞭に示すが、この傾向を示す範囲は、漁港副防波堤の北600から1,000mの区域である。
- ③北海浜において、漁港副防波堤から1,000m以北の海浜は、調査期間を通じて侵食気味である。
- ④ポケット・ビーチ部分においては、SWモンスーン期において侵食気味であり、NEモンスーン期において堆積気味である。
- ⑤ドラバ・ポイントの北側海浜においても、SWモンスーン期において侵食気味であり、NEモンスーン期において堆積気味である。

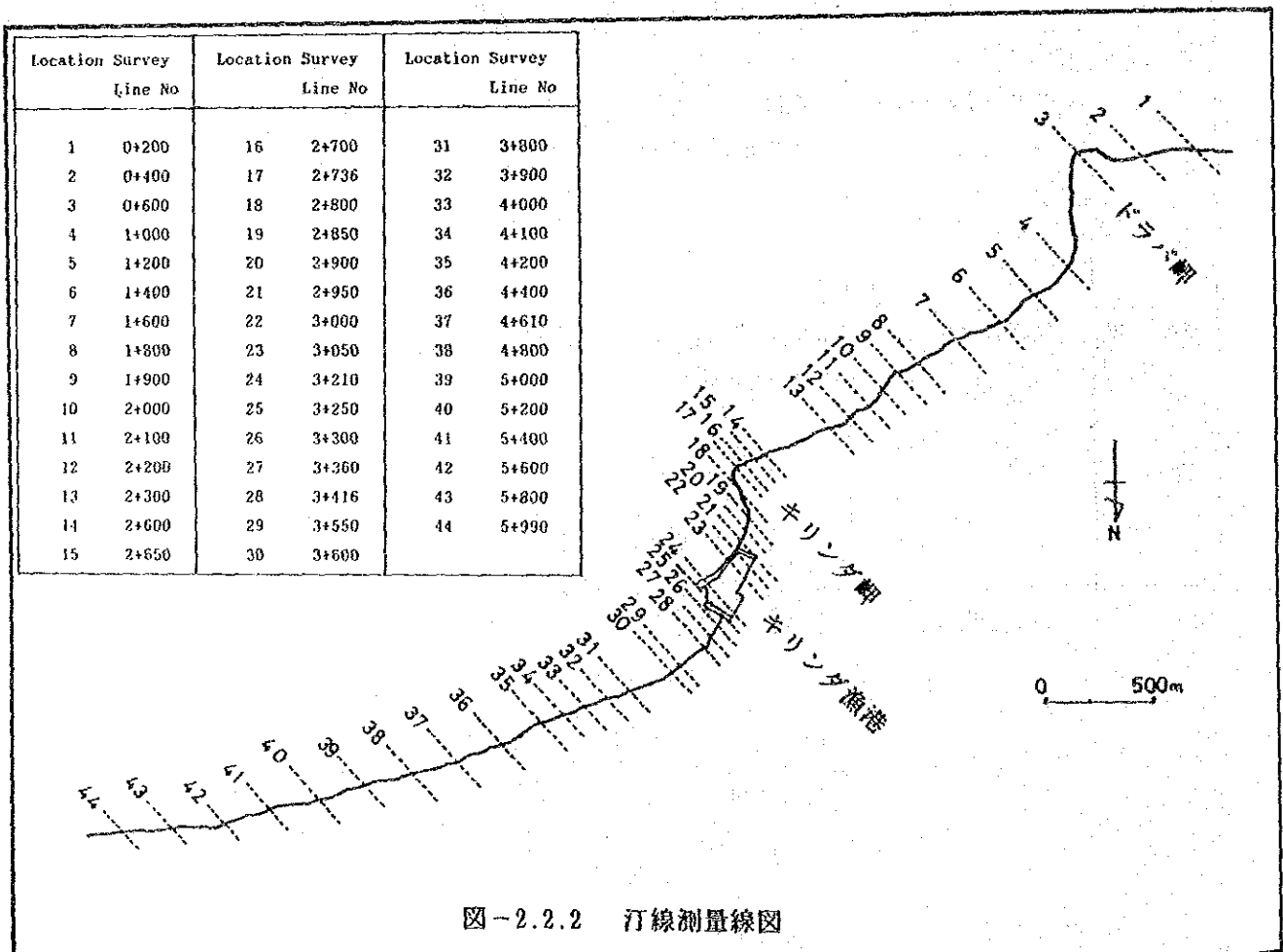


図-2.2.2 汀線測量線図

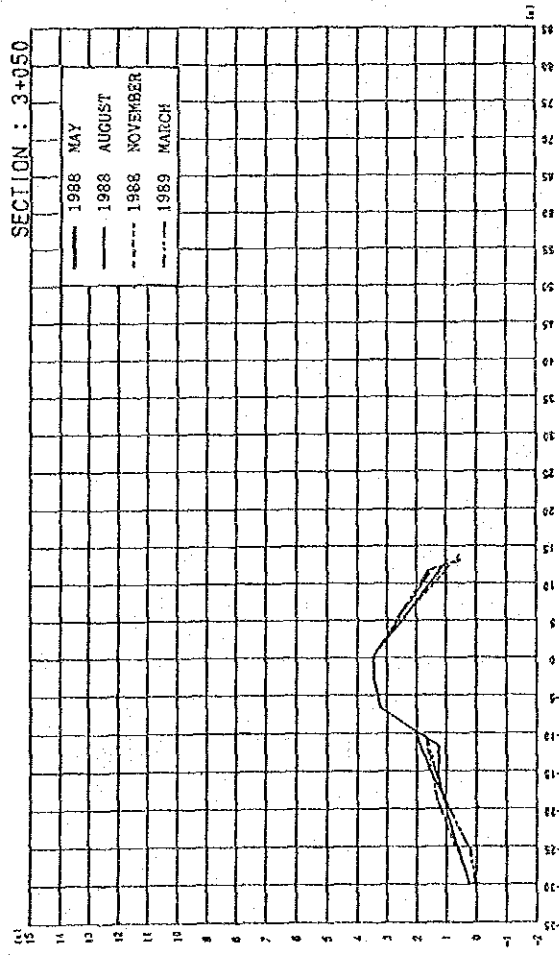
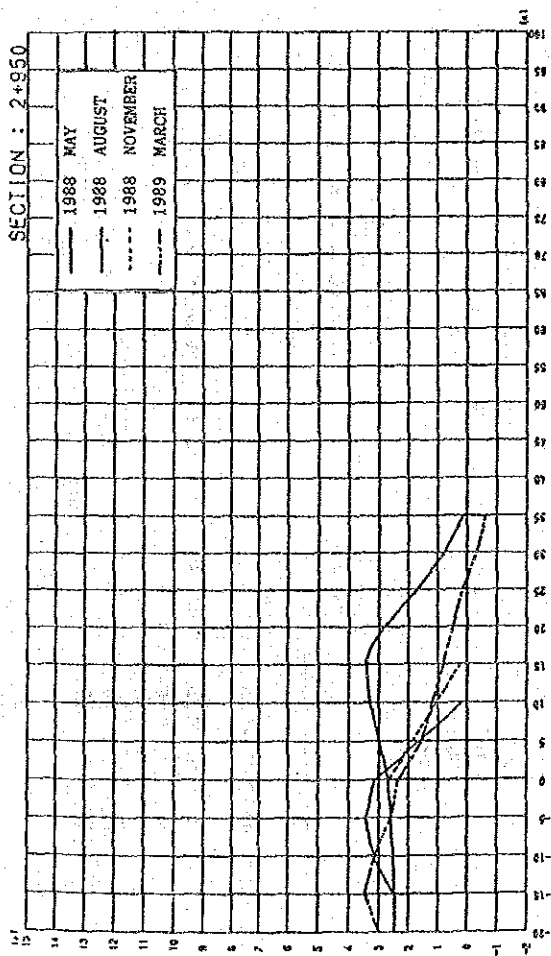
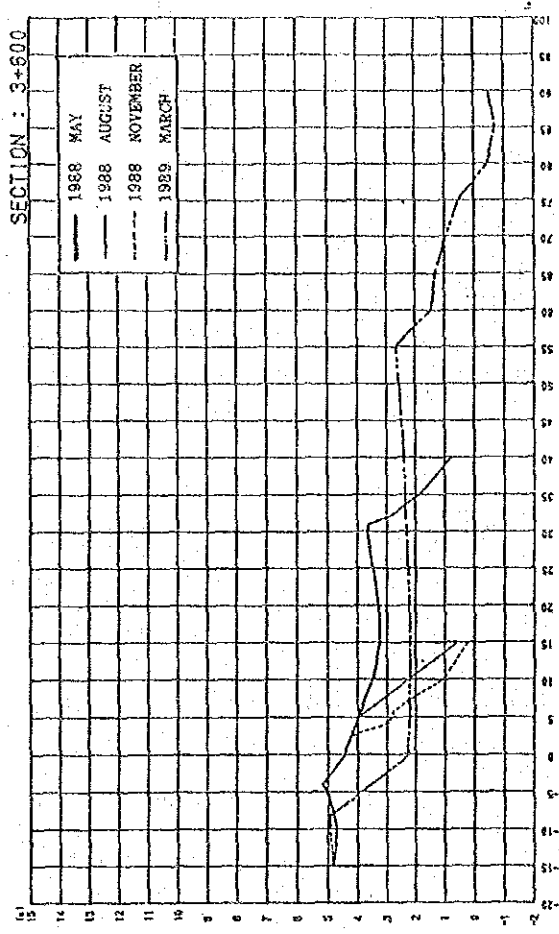
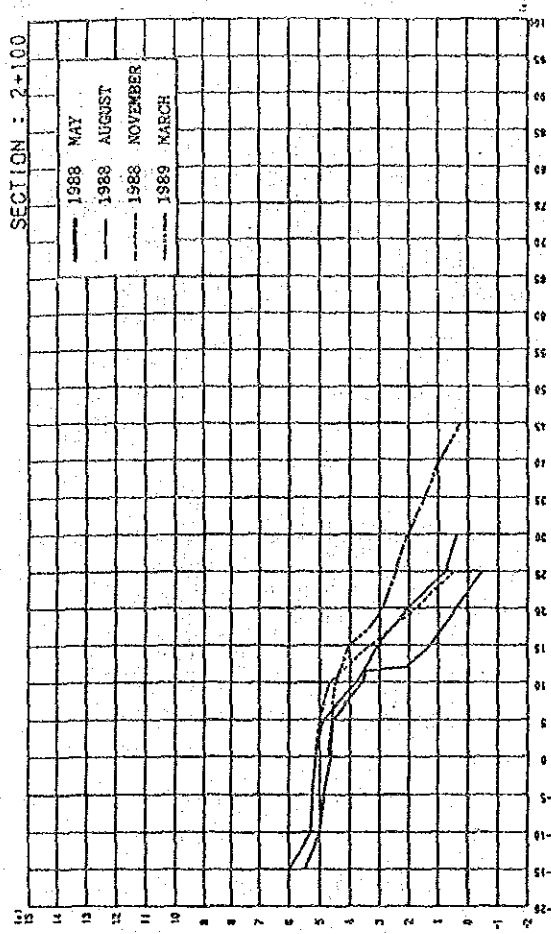


図-2.2.3 代表地点の海岸断面変化

Survey Line	May' 88	Aug' 88	Nov' 88	Mar' 89
0-066	●	←	△	→
0-200	●	←	○	→
0-400	+	←	▲	→

0-600 DORAVA POINT	+			
1-000	+	+		△
1-200	▲	○		△
1-400	●	△		○
1-600	▲	+		●
1-800	+	+		△
1-900	+	+		△

2-000	+	+		△
2-100	△	+		△
2-200	+	+		+
2-300	+	+		●
2-650	+	+		●
2-700 KIRINDA POINT	+	←	+	→
2-730	+			+
2-800	+	●		
2-850 West End of Pocket Beach	+	+		○
2-900	●	△		●
2-950 East End of Pocket Beach	▲	+		+

3-000 Front of South Breakwater	+	+		△
3-050 Front of South Breakwater	+	+		+
3-200 Front of South Breakwater	+	+		+
3-300 West End of East Beach	●	+		○
3-360	▲	●		○
3-416	▲	+		○
3-550	△	+		○
3-600	▲	+		○
3-800	▲	●		○
3-900	▲	+		○

4-000	●	+		●
4-100	●	△		●
4-200	●	△		●
4-400	+	+		●
4-610	+	+		
4-800	●	△		●

5-000	+	+		●
5-200	+	+		
5-400	+	+		△
5-600	+	△		+
5-800	△	+		●
5-990	+	+		▲

図-2.2.4 各側線における侵食・堆積の傾向

凡 例	
○	顕著な堆積
△	堆積
+	安定
▲	侵食
●	顕著な侵食

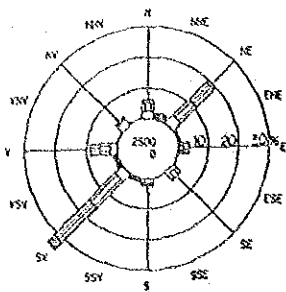
2.2.2 風

図-2.2.5 および図-2.2.6 に近隣のハンバントータおよびキリンダ漁港における風向及び風速分布を示す。

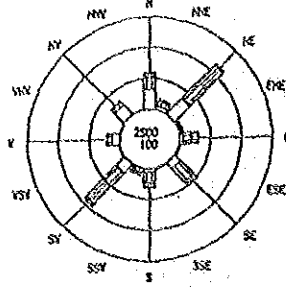
ハンバントータの風は、海岸沿いの小高い丘に位置し、周辺地形の影響を受け難いハンバントータ測候所において観測されたもので、1983年から1988年の6年間の記録であり、キリンダ漁港の風は、本調査において観測したもので、キリンダ漁港給水塔上で、1988年5月から1989年3月の10ヶ月間、簡易風速計によって、昼間だけ観測されたものである。

前述したように、SWモンスーン期にSW方向からの風、NEモンスーン期にはNE方向からの風が明瞭に卓越し、風向の分布幅が極めて狭い、いわゆる貿易風の特徴を示している。年間を通じては、南西の風が卓越し、強風頻度も南西方向で高い。

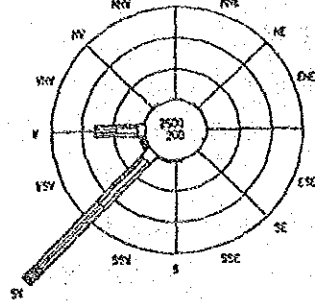
SWモンスーンとNEモンスーンとの端境期では、3-4月が典型的な端境期的な特性を示すが、10-11月は、むしろSWモンスーン的な特性が強い。



通年

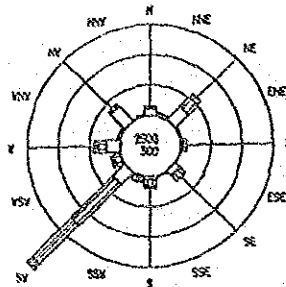
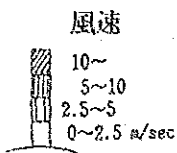


3月, 4月

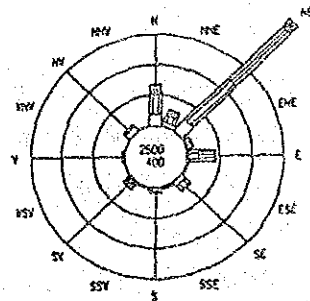


5月~9月 (SWモンスーン)

凡例

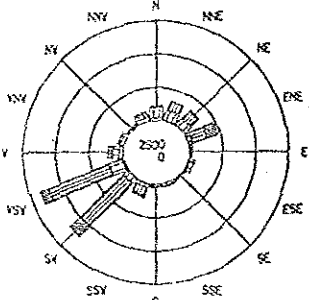


10月, 11月

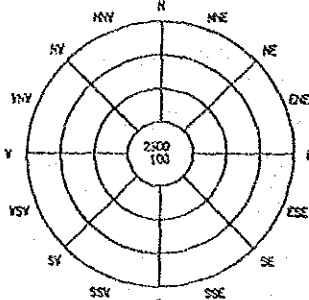


12月, 1月, 2月 (NEモンスーン)

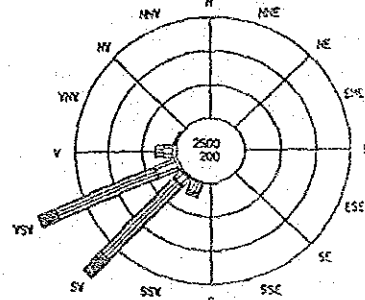
図-2.2.5 風配図 (1983年~1988年, ハンバントータ)



通年

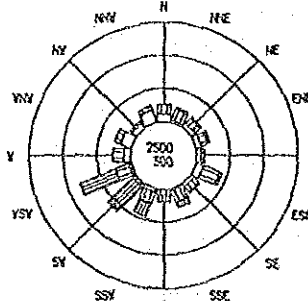
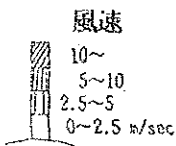


3月, 4月

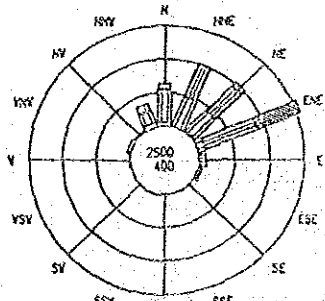


5月~9月 (SWモンスーン)

凡例



10月, 11月



12月, 1月, 2月 (NEモンスーン)

図-2.2.6 風配図 (1988年5月~1989年2月, キリンダ)

2.2.3 潮汐

今回の調査では、キリンダ地域に潮汐観測を行うための静穏水域が得られなかったため、漁港前面に設置した水圧式波高計による水位観測結果、およびキリンダ漁港より約60km西に位置するタンゴール漁港に設けたフース型検潮機の観測結果から、キリンダ潮汐を検討した。

水圧式波高計による観測データは、1988年8月～9月の1ヶ月と1989年2月～3月の約1月間で、2時間毎に取得されている。タンゴールにおけるフース型検潮機による観測は1988年8月から1989年2月まで行なわれたが、観測条件はかならずしも良好とはいえず、記録は波浪の影響をかなり強く受けている。

これらの記録のうち、波高計観測については1988年8月20日8時30分から同年9月20日6時30分までの1ヶ月、タンゴールでの観測については、1988年9月7日0時から同年10月8日7時までの1ヶ月の各潮位記録から、平均水位、主要四分潮 (M_2 , S_2 , O_1 , K_1) を推定した。算出した調和定数は、図-2.2.7 に示すスリ・ランカ各地の調和定数と比較して、その妥当性を検証した。

キリンダ、タンゴールおよび各地点の調和定数を表-2.2.2 に、タンゴールの潮位関係図を図-2.2.8 に示す。

これ等によれば、各地において潮位振幅に多少の相違があるものの、潮型はほとんど変わっていないことが分かる。

しかし、スリ・ランカ国では、島の東西両側で逆位相になるほどの大きな潮時差があるのが特徴的である。例えば、ペドロでは、東側の潮時変化であるのに対して、ジャフナは西の潮時変化に近い。一方南部については、ゴール以東で調和定数が得られていないが、ハンバントータとコロomboの潮時差および潮高比のデータがあり、これによれば、ハンバントータは西側の潮時変化を示している。従って、今回の調査で得られたタンゴールが西側の変化を示しているのは、妥当な結果であり、キリンダも西側の潮時変化を示している。また、潮高比は東になるほど小さくなっている。

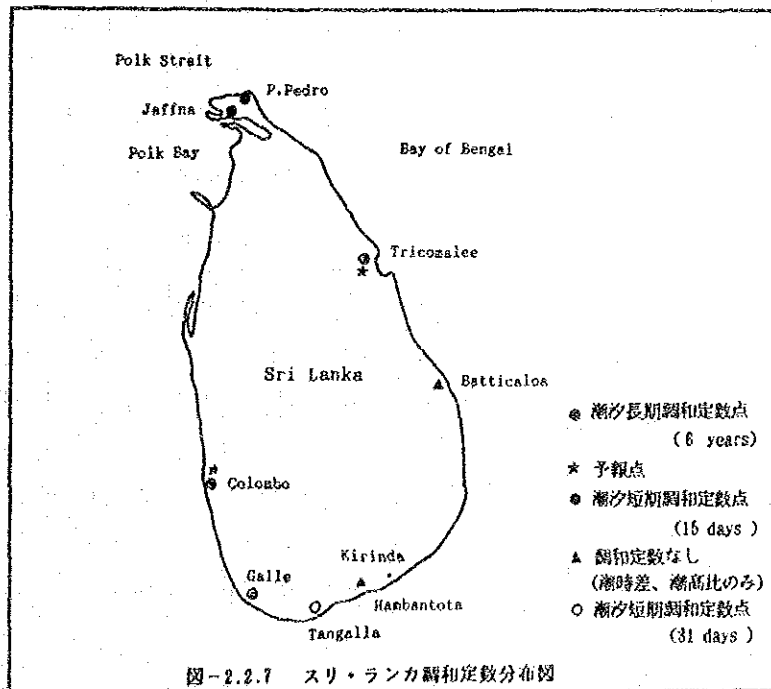


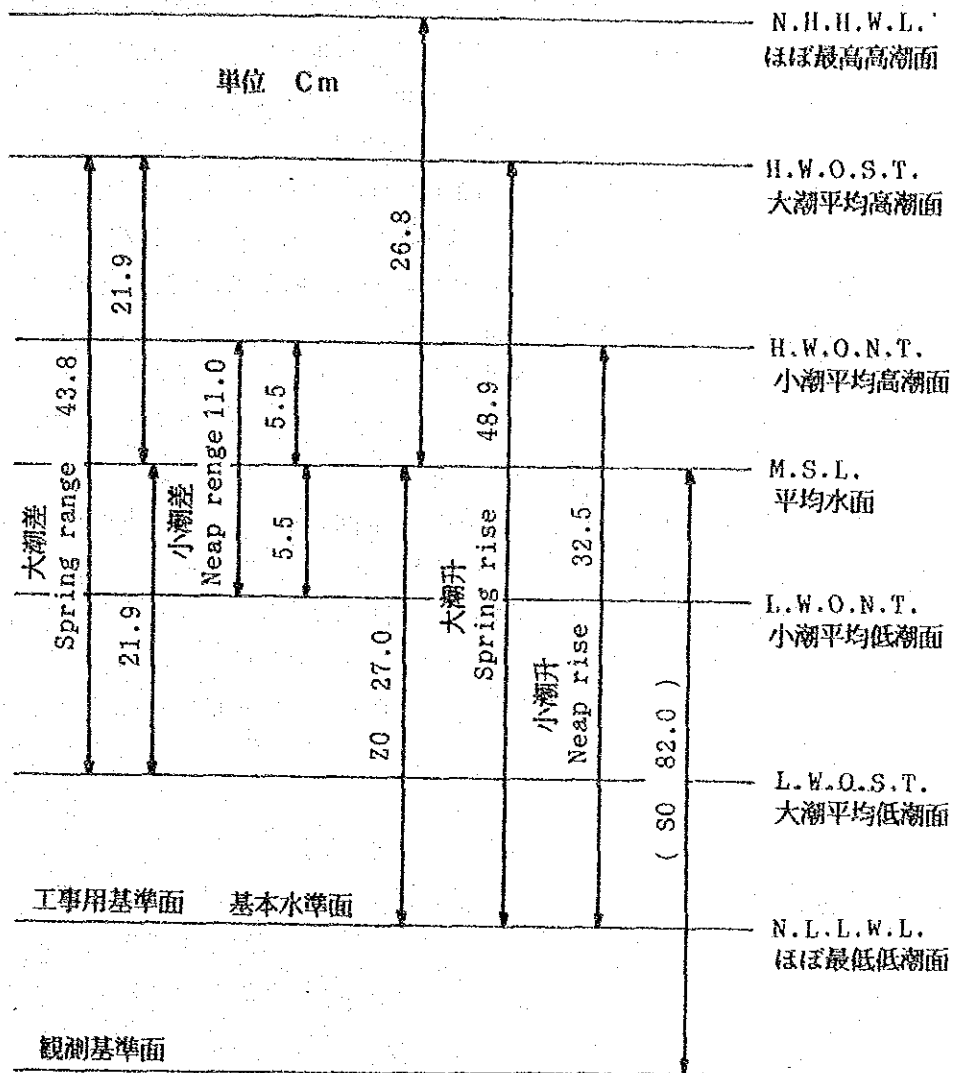
図-2.2.7 スリ・ランカ調和定数分布図

表-2.2.2 スリ・ランカ沿岸各地における主要分潮調和定数
および非調和定数分布

	Colombo	Galle	Tangalla	Kirinda	Tricomalee
	H'cm K°	H'cm K°	H'cm K°	H'cm K°	H'cm K°
M2	17.6 50	16.1 57	13.7 60.8	7.7 72.0	17.7 241
S2	11.9 95	11.0 94	8.2 96.4	5.8 97.4	6.4 265
K1	7.3 33	5.1 18	4.2 48.8	4.6 357.1	6.6 331
O1	2.9 62	1.4 76	0.7 1.0	0.4 322.8	2.0 309
Sa	9.5 308	10.7 309			7.5 268
Ssa	4.1 111	3.9 116			6.2 184
Hm+Hs	29.5	27.1	21.9	13.5	24.1
H+Ho	10.2	6.5	4.9	5.0	8.6
Hm-Hs	5.7	5.1	5.5	1.8	11.3
H'+Ho/Hm+Hs	0.35	0.24	0.22	0.37	0.36
Hm-Hs/Hm+Hs	0.19	0.19	0.25	0.14	0.47
4分潮和	39.7	33.6	26.8	18.5	32.7
Z0	37.8	33.8			31.4
$\kappa_s - \kappa_m$	45	37	35.6	25	24
$\kappa' - \kappa_o$	-29	-58	47.8	34	22
Hs/Hm	0.68	0.68	0.60	0.76	0.36
Ho/H	0.40	0.27	0.17	0.09	0.30
M.H.W.I.	1h-43m	1h-58m	2h-06m	2h-29m	8h-19m

Colomboからの潮時差および潮高比

	Colombo	Galle	Tangalla	Hambantota	Kirinda
潮時差	0	+15分	+23分	+20分	+46分
潮高比	1	0.92	0.74	0.65	0.46



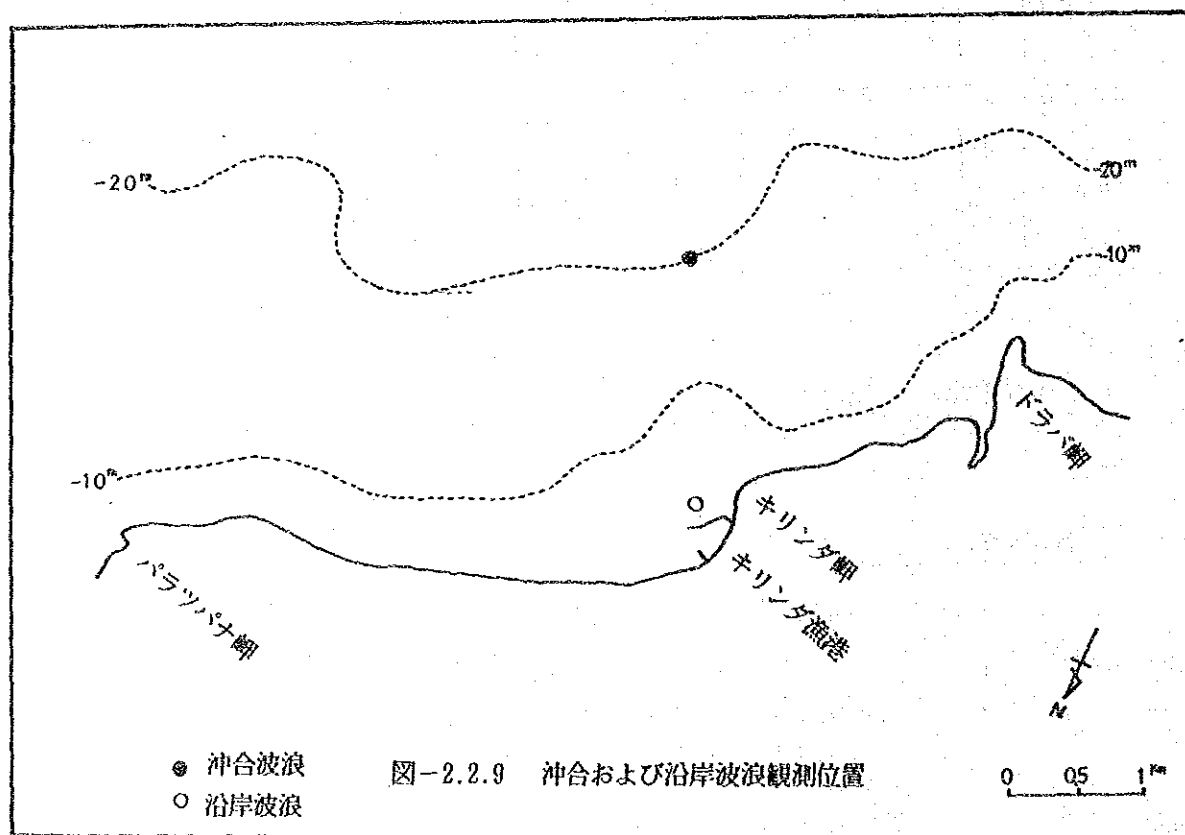
- N.H.H.W.L.----- Nearly Highest High Water Level
- H.W.O.S.T.----- High Water Ordinary Spring Tide
- H.W.O.N.T.----- High Water Ordinary Neap Tide
- L.W.O.N.T.----- Low Water Ordinary Neap Tide
- L.W.O.S.T.----- Low Water Ordinary Spring Tide
- N.L.L.W.L.----- Nearly Lowest Low Water Level
(Indian Spring Low Water)
- D.L.----- Datum Level

図-2.2.8 Tangalla 潮位関係図

2.2.4 波浪

今回の調査においては、1988年5月17日から1989年3月30日に渡ってキリンダ岬の沖合い水深20m地点にブイ式波高計（ウエーブ・ライダー）および電磁流速計を設置し、沖合い波浪の波高および波向を観測し、併せて、1988年8月中旬から9月中旬および1989年3月、キリンダ漁港付近に、水圧式波高計および電磁流速計を設置して、沿岸部の波浪を観測した。

沖合いにおける観測は、波高の観測は3時間毎に20分間、また、波向観測は、6時間毎に8分間行っている。沿岸波浪観測においては、SWモンスーン期の観測では、2時間毎に9分間の測定を、また、NEモンスーン期の観測で2時間毎に17分の測定を行った。波浪観測地点の位置を、図-2.2.9に示す。



(1) 沖合い波浪の特性

月別及び季節別の波高出現頻度を、表-2.2.3(1)-(2)に示す。

通年の集計によると、波高 1.00-1.20mの波の出現率が最も高く、全体の31.1%を占め、波高 0.60-1.60mの波の出現率は、全体の96%以上にも及んでいる。このようにキリンダ地域では、波高レンジが僅か1.00mの間に、ほとんどの波が集中し、これより大きい波、あるいは小さい波の出現頻度は5%未満である。

SWモンスーン期は、NEモンスーン期に比べて波が大きく、SWモンスーン期には波高 1.00-1.60mに出現頻度が集中するのに対して、NEモンスーン期には、波高 0.60-1.20mに出現頻度が集中している。

表-2.2.4には、月毎の最大波高 (H_{max})、1/10最大波高 ($H_{10\%}$)、有義波高 (H_s)、平均周期 (T_z) および有義周期 (T_s) の最高値と最低値を示す。これによると、本調査において測定された最大波高の最高値は、1988年9月15日9時に記録された3.36mであり、有義波高の最高値は、1988年5月23日15時に記録された1.95mである。これらの値は、ゴール港における過去の観測記録(1985年~1986年)で、有義波高の最高値が、3.5m近くに達し、有義波高が2.0mを越える波の発生頻度が、SWモンスーン期で23%近くに達するのに比べると、相当低い値である。これは、ゴール海岸がSW方向にほぼ直角な海岸線の方向を持つものに対して、キリンダ海岸は、SW方向にほぼ平行であり、屈折によって、波のエネルギーが分散されるためと考えられる。

月別及び季節別周期出現頻度を、表-2.2.5(1)-(2)に示す。年間を通じて、6~10 secの間に大半(92%弱)が分布し、特に、7~9 secの波が、全体の52%以上を占めている。季節別には、SWモンスーン期に周期7~10secに出現頻度が集中し、NEモンスーン期には、5~8 secに集中して、SWモンスーン期の方が波の周期が長くなる傾向がある。

ブイ式波高計で観測された波の周期は、多少短めであることが知られている。試みに、波高計の直下に設置された電磁流速計で記録された流速の波動成分の平均周期と波高計で観測された平均周期を比較すると、表-2.2.6(1)-(2)の通りであり、波高計の記録では4~8 secにデータが集中するが、電磁流速計の記録では8~12secにデータが集中し、約4 sec程度の差があることがわかる。電磁流速計で求められる波動成分では、短周期の風波成分が減衰し、うねり成分が強調されているものと考えられる。

沖合いにおける波向は、電磁流速計による流速記録から、波動成分を分離し、その合成流速の方向として求めた。月別および季節別の波向測定結果を表-2.2.7(1)-(2)に示す。表に示す角度は、北を基準として、時計回りに測定されたもので、0度が北から、180度が南からの波である。年間を通じて波向の分布幅は極めて狭く、真南を中心に東西15度の範囲に90%以上の波が分布する。季節別に見ると、SWモンスーン期には、95%以上がこの方向であり、NEモンスーン期には、その比率が74%弱に減じ、一方、165度より東寄りの波の発生頻度は、SWモンスーン期に4.2%、NEモンスーン期に26.3%と増加する。

観測された波浪スペクトルの代表的な事例を、図-2.2.10(1)-(3)に示す。年間を通じて、(1)図に見られるように、周期10~16sec付近にピークが存在するが、SWモンスーン期には、このピークが常に優勢で、(2)図のように短周期(4~7sec)部分に二次的なピークが発生しても、これが長周期のピークを越えることは無い。しかし、NEモンスーン期になると、(3)図のように短周期のピークが長周期のそれを越える場合がしばしば起こる。短周期成分の変化には、風と同様に日周変化が見られる場合が多く、年間を通じて、昼間、短周期の成分が増大して、波高が高くなる傾向があり、特にNEモンスーン期でその傾向が明瞭である。

前述のように、NEモンスーン期においても、卓越した波向はS方向である。一方、この期間の風については、NNEからENEの風が卓越しており、風波と見なし得る波浪中の短周期成分は、風の卓越方向に対応してはならない。従って、NEモンスーン期における波は、S方向から恒常的に来襲する「うねり」とNE方向からの風波が重なり合ったものと考えることができる。

NEモンスーン期の波浪スペクトルによると、前述のように、周波数0.125Hz(周期8sec)を境界として長周期成分と短周期成分とに分離できるものが多い。そこで、これら両成分について、それぞれの周波数スペクトルの0次及び2次モーメントから次式によって「うねり」と風波の成分諸元を推定することができる。

$$H_{1/3} = 4.0 \sqrt{m_0}, \quad T_{1/3} = 1.1 \sqrt{m_0/m_2}$$

$$\text{ここに、} m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df \quad m_2 = \int_0^{\infty} f^2 S(f) df$$

このようにして分離した「うねり」と風波の発生頻度は、表-2.2.8(1)-(2)の通りである。

表-2.2.3(1) 月別波高出現頻度

Wave Hit Hs (m)	May '88		Jun '88		Jul '88		Aug '88		Sep '88		Oct '88		Nov '88		Dec '88		Jan '89		Feb '89	
	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%
2.0-2.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
1.8-2.0	1	0.8	0	0.0	4	1.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
1.6-1.8	6	4.8	4	1.9	20	8.1	3	1.2	9	3.8	0	0.0	6	2.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
1.4-1.6	69	55.2	18	8.7	62	25.1	21	8.5	33	13.8	6	2.4	18	7.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0
1.2-1.4	46	36.8	88	42.5	88	35.6	81	32.7	60	25.1	49	19.9	19	8.1	10	4.0	10	4.0	8	2.7
1.0-1.2	3	2.4	82	39.6	59	23.9	127	51.2	85	35.6	114	46.3	53	22.5	56	22.7	83	33.5	42	18.8
0.8-1.0	0	0.0	15	7.2	14	5.7	16	6.5	49	20.5	70	28.5	66	28.0	96	38.9	120	48.4	93	41.7
0.6-0.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	3	1.3	7	2.8	46	19.5	82	33.2	35	14.1	81	36.3
0.4-0.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	28	11.9	3	1.2	0	0.0	1	0.4
0.2-0.4	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
0.0-0.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total	125	100.0	297	100.0	247	100.0	248	100.0	239	100.0	246	100.0	236	100.0	247	100.0	248	100.0	223	100.0

表-2.2.3(2) 季節別波高出現頻度

Wave Hit Hs (m)	Total Period May '88-Feb '89		S.W.Monsoon May '88-Sep '88		N.E.Monsoon Dec '88-Feb '89	
	Rec	%	Rec	%	Rec	%
	2.0-2.2	0	0.0	0	0.0	0
1.8-2.0	5	0.2	5	0.5	0	0.0
1.6-1.8	48	2.1	42	3.9	0	0.0
1.4-1.6	227	10.0	203	19.0	0	0.0
1.2-1.4	457	20.2	363	34.1	26	3.6
1.0-1.2	704	31.1	356	33.4	181	25.2
0.8-1.0	539	23.8	94	8.8	309	43.0
0.6-0.8	254	11.2	3	0.3	198	27.6
0.4-0.6	32	1.4	0	0.0	4	0.6
0.2-0.4	0	0.0	0	0.0	0	0.0
0.0-0.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total	2266	100.0	1066	100.0	718	100.0

表-2.2.4 月別波浪諸元の最大および最小値

Wave Parameter	Month										
	May '88	Jun '88	Jul '88	Aug '88	Sep '88	Oct '88	Nov '88	Dec '88	Jan '89	Feb '89	
Hmax (m)	max	3.21	3.10	3.21	2.93	3.36	2.82	2.88	2.39	2.46	2.15
	min	1.72	1.40	1.37	1.45	1.19	1.09	0.68	0.94	1.06	0.86
H10%(m)	max	2.44	2.15	2.58	2.14	2.20	1.95	2.23	1.75	1.65	1.58
	min	1.45	1.07	1.09	1.13	0.93	0.90	0.56	0.71	0.82	0.72
Hs (m)	max	1.95	1.78	1.87	1.64	1.78	1.57	1.70	1.38	1.33	1.28
	min	1.15	0.87	0.86	0.85	0.76	0.69	0.47	0.55	0.60	0.58
Tz (s)	max	7.38	9.00	10.70	8.94	8.00	9.00	9.90	8.82	6.85	8.83
	min	5.12	5.04	4.62	4.49	4.39	4.50	5.11	3.75	4.14	3.84
Ts (s)	max	10.77	12.30	14.38	15.23	12.08	12.61	13.85	10.66	10.31	10.33
	min	6.23	6.11	6.08	5.50	5.41	5.58	7.17	5.22	5.04	4.80

表-2.2.5(1) 月別周期出現頻度

Wave Pd Ts(sec)	May '88		Jun '88		Jul '88		Aug '88		Sep '88		Oct '88		Nov '88		Dec '88		Jan '89		Feb '89	
	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%
16-	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
15-16	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
14-15	0	0.0	0	0.0	2	0.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
13-14	0	0.0	0	0.0	7	2.8	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	0	0.0
12-13	0	0.0	3	1.6	5	2.0	3	1.2	1	0.4	4	1.6	3	1.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0
11-12	0	0.0	6	3.1	13	5.3	10	4.1	1	0.4	23	9.3	25	10.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
10-11	4	3.3	19	9.7	39	15.9	17	7.0	15	6.5	25	10.2	55	23.3	4	1.6	1	0.4	3	1.3
9-10	15	12.3	47	24.0	68	27.6	45	18.4	27	11.6	44	17.9	79	33.5	23	9.3	7	2.8	7	3.1
8-9	47	38.5	46	23.5	54	22.0	75	30.7	54	23.3	52	21.1	66	28.0	28	11.3	21	8.5	19	8.5
7-8	49	40.2	67	34.2	42	17.1	68	27.9	80	34.5	55	22.4	7	3.0	58	23.5	66	26.2	51	22.9
6-7	7	5.7	8	4.1	16	6.5	21	8.6	44	19.0	40	16.3	0	0.0	61	24.7	122	49.2	71	31.8
5-6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	3	1.2	10	4.3	3	1.2	0	0.0	62	25.1	32	12.9	65	29.1
-5	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	11	4.5	0	0.0	7	3.1
Total	122	100.0	196	100.0	246	100.0	244	100.0	232	100.0	245	100.0	236	100.0	247	100.0	248	100.0	223	100.0

表-2.2.5(2) 季節別周期出現頻度

Wave Pd Ts(sec)	Total Period		S.W.Monsoon		N.E.Monsoon	
	May '88-Feb '89		May '88-Sep '88		Dec '88-Feb '89	
	Rec	%	Rec	%	Rec	%
16-	0	0.0	0	0.0	0	0.0
15-16	1	0.1	1	0.1	0	0.0
14-15	2	0.1	2	0.2	0	0.0
13-14	9	0.5	8	0.8	0	0.0
12-13	19	1.0	12	1.2	0	0.0
11-12	78	4.1	30	2.9	0	0.0
10-11	182	9.5	94	9.0	8	1.1
9-10	362	19.0	202	19.4	37	5.2
8-9	462	24.2	276	26.5	68	9.5
7-8	541	28.8	306	29.4	174	24.2
6-7	390	20.4	96	9.2	254	35.4
5-6	175	9.2	13	1.3	159	22.1
-5	18	0.9	0	0.0	18	2.5
Total	1909	100.0	1040	100.0	718	100.0

表-2.2.6 プイ式波高計と電磁流速計の観測周期の比較

Wave Period Tz(s)	Total Period		S.W.Monsoon		N.E.Monsoon	
	May '88-Feb '89		May '88-Sep '88		Dec '88-Feb '89	
	Rec	%	Rec	%	Rec	%
10-12	4	0.2	4	0.4	0	0.0
8-10	133	5.9	57	5.3	5	0.7
6-8	799	35.3	476	44.7	69	9.6
4-6	1326	58.5	529	49.6	640	89.8
2-4	3	0.1	0	0.0	3	0.4
0-2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total	2265	100.0	1066	100.0	717	100.0

(1) Seasonal Distribution of Zero Crossing Period (Tz).

Wave Period To2(s)	Total Period		S.W.Monsoon		N.E.Monsoon	
	May '88-Feb '89		May '88-Sep '88		Dec '88-Feb '89	
	Rec	%	Rec	%	Rec	%
14-16	0	0.0	0	0.0	0	0.0
12-14	22	2.1	17	2.9	4	1.8
10-12	285	27.0	179	30.4	57	25.4
8-10	671	63.5	358	60.8	129	57.6
6-8	77	7.3	35	5.9	33	14.7
4-6	2	0.2	0	0.0	1	0.4
2-4	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Total	1057	100.0	589	100.0	224	100.0

(2) Seasonal Distribution of Orbital Period (To2).

表-2.2.7 月別・季別の波向

Orbital Dir Deg	May '88		Jun '88		Jul '88		Aug '88		Sep '88		Oct '88		Nov '88		Dec '88		Jan '89		Feb '89	
	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%	Rec	%
165-180	62	61.4	112	93.3	108	87.1	118	95.2	91	75.8	98	79.0	96	80.0	7	70.0	41	40.2	69	61.6
135-165	0	0.0	7	5.8	0	0.0	6	4.8	12	10.0	10	8.1	8	6.7	2	20.0	19	18.6	13	11.6
105-135	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	18	17.6	0	0.0
75-105	0	0.0	0	0.0	1	0.8	0	0.0	0	0.0	1	0.8	0	0.0	0	0.0	7	6.9	0	0.0
45-75	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
15-45	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
0-15	39	38.6	1	0.8	15	12.1	0	0.0	17	14.2	15	12.1	16	13.3	1	10.0	17	16.7	30	26.8
Total	101	100.0	120	100.0	124	100.0	124	100.0	120	100.0	124	100.0	120	100.0	10	100.0	102	100.0	112	100.0

(1) Monthly Distribution of Orbital Direction (modulus).

Orbital Dir Deg	Total Period		S.W. Monsoon		N.E. Monsoon	
	Rec	%	May '88-Sep '89	%	Dec '88-Feb '89	%
165-180	802	75.9	491	88.4	117	52.2
135-165	77	7.3	25	4.2	34	15.2
105-135	18	1.7	0	0.0	18	8.0
75-105	9	0.9	1	0.2	7	3.1
45-75	0	0.0	0	0.0	0	0.0
15-45	0	0.1	0	0.0	0	0.0
0-15	151	14.3	72	12.2	48	21.4
Total	1057	100.0	589	100.0	224	100.0

(2) Seasonal Distribution of Orbital Direction.

(1)

Serial Number = 188

Time = 08 54 9:00
HMO (m), T02 (s) : 1.68 6.05
1.2, 3, 5, 10, 50 th highest wave hc(m) : 2.45 2.27 2.15 1.96 1.80 1.17
Hrms(m), Hs(m), Tp(s) waves : 1.09 1.46 6.30 181
Havg(m), H10%(m), T10(s) : 0.94 1.87 9.76

period (s)	% energy
25.60	0.29
21.33	0.17
18.29	2.14
16.00	4.40
14.22	13.26
12.30	8.20
11.64	17.46
10.67	6.14
9.85	6.23
9.14	3.23
8.52	2.34
8.00	1.37
7.53	2.24
7.11	4.25
6.74	1.98
6.40	1.50
6.02	0.92
5.82	1.53
5.57	1.91
5.33	1.33
5.13	1.43
4.92	0.67
4.74	0.88
4.57	0.88
4.41	1.24
4.27	0.97
4.13	0.58
4.08	0.75
3.88	0.36
3.76	0.74
3.66	1.04
3.46	0.74
3.37	0.74
3.28	0.64
3.20	0.61
3.13	0.35
3.05	0.36
2.93	0.25
2.91	0.22
2.84	0.27
2.78	0.40
2.72	0.23
2.67	0.25
2.61	0.38
2.56	0.22
2.51	0.24
2.46	0.16
2.42	0.20
2.37	0.17
2.33	0.08

total energy := 91.9756

(2)

Serial Number = 214

Time = 06 30 3:00
HMO (m), T02 (s) : 1.34 5.00
1.2, 3, 5, 10, 50 th highest wave hc(m) : 1.76 1.72 1.64 1.56 1.41 1.02
Hrms(m), Hs(m), Tp(s) waves : 0.86 1.16 5.17 219
Havg(m), H10%(m), T10(s) : 0.78 1.43 7.08

period (s)	% energy
25.60	0.36
21.33	1.61
18.29	3.71
16.00	3.95
14.22	8.11
12.30	5.71
11.64	5.61
10.67	3.27
9.85	3.62
9.14	5.25
8.52	3.17
8.00	1.58
7.53	1.57
7.11	1.00
6.74	1.83
6.40	6.10
6.02	1.91
5.82	2.37
5.57	5.73
5.33	3.60
5.13	3.62
4.92	2.65
4.74	3.15
4.57	1.67
4.41	1.42
4.27	1.38
4.13	1.39
4.08	1.49
3.88	3.83
3.76	4.58
3.66	0.73
3.46	0.93
3.37	0.37
3.28	1.16
3.20	0.51
3.13	0.99
3.05	0.68
2.93	0.41
2.91	1.00
2.84	0.48
2.78	0.60
2.72	0.35
2.67	0.34
2.61	0.53
2.56	0.53
2.51	0.37
2.46	0.17
2.42	0.27
2.37	0.18
2.33	0.16

Energy Estimated = 97 %

(3)

Serial Number = 102

Time = 09 13 15:00
HMO (m), T02 (s) : 1.11 4.62
1.2, 3, 5, 10, 50 th highest wave hc(m) : 1.60 1.60 1.49 1.37 1.29 0.94
Hrms(m), Hs(m), Tp(s) waves : 0.73 1.01 4.16 372
Havg(m), H10%(m), T10(s) : 0.66 1.26 4.51

period (s)	% energy
25.60	0.48
21.33	0.28
18.29	0.24
16.00	0.85
14.22	1.90
12.30	3.54
11.64	2.67
10.67	1.32
9.85	1.63
9.14	2.97
8.52	8.23
8.00	1.02
7.53	0.37
7.11	1.26
6.74	0.78
6.40	0.66
6.02	1.02
5.82	1.76
5.57	4.30
5.33	3.86
5.13	3.02
4.92	4.76
4.74	5.82
4.57	5.82
4.41	4.43
4.27	6.27
4.13	4.05
4.08	3.87
3.88	4.00
3.76	3.23
3.66	3.88
3.46	3.76
3.37	3.66
3.28	3.56
3.20	3.46
3.13	1.38
3.05	2.45
2.93	1.89
2.91	1.10
2.84	2.62
2.78	0.73
2.72	2.84
2.67	0.77
2.61	0.95
2.56	0.54
2.51	0.27
2.46	2.61
2.42	0.45
2.37	2.55
2.33	0.67
2.29	2.46
2.25	0.20
2.21	2.42
2.17	0.69
2.13	0.38
2.09	2.37
2.05	0.29

Energy Presented = 96 %

図-2.2.10 (1)~(3) 観測波の代表的なスペクトル

表-2.2.8(1) NEモンスーン期におけるうねりの発生頻度

波高(m)	周期(s)	静 穏	0-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-	合 計
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.00-0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25-0.50	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	6
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
0.50-0.75	0	0	0	1	23	29	29	18	10	2	0	0	112
	0.0	0.0	0.0	0.6	13.7	17.3	17.3	10.7	6.0	1.2	0.0	0.0	66.7
0.75-1.00	0	0	0	1	17	8	18	5	1	0	0	0	50
	0.0	0.0	0.0	0.6	10.1	4.8	10.7	3.0	0.6	0.0	0.0	0.0	29.8
1.00-1.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.25-1.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.50-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合 計	0	0	0	2	40	39	51	23	11	2	0	0	168
	0.0	0.0	0.0	1.2	23.8	23.2	30.4	13.7	6.5	1.2	0.0	0.0	100.0

表-2.2.8(2) NEモンスーン期における風波の発生頻度

波高(m)	周期(s)	静 穏	0-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-	合 計
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.00-0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25-0.50	0	0	1	4	1	0	0	0	0	6
	0.0	0.0	0.6	2.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
0.50-0.75	0	0	7	30	8	0	0	0	0	45
	0.0	0.0	4.2	17.9	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	26.8
0.75-1.00	0	0	0	47	42	0	0	0	0	89
	0.0	0.0	0.0	28.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0
1.00-1.25	0	0	0	17	10	0	0	0	0	27
	0.0	0.0	0.0	10.1	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.1
1.25-1.50	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
1.50-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
合 計	0	0	8	99	61	0	0	0	0	168
	0.0	0.0	4.8	58.9	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

ただし、分離計算は、スペクトル解析を実施した以下の期間についてのみ行なっている。

12/3	15:00 - 12/4	18:00	12/12	21:00 - 12/15	6:00
12/28	6:00 - 12/31	12:00	1/12	12:00 - 1/15	15:00
1/22	3:00 - 1/24	12:00	1/29	9:00 - 1/31	21:00
2/3	6:00 - 2/4	18:00	2/19	6:00 - 2/20	6:00
2/23	18:00 - 2/26	21:00			

(2) 沿岸波浪の特性

図-2.2.11(1)-(2) は、沖合いと沿岸の波浪諸元の相関を示すものである。

SWモンスーン期の場合、波の屈折やキリダ岬における回折や砕波のために、沿岸での波高は、沖合いのそれに比べて8割程度に減少するが、NE期には、ほとんど減少していない。

また、周期はSWモンスーン期、NEモンスーン期ともに沿岸波浪の方が沖合い波浪よりも長くなっている。しかし、沖合と沿岸波浪とでは測定機器が相違し、周期算定方法が異なっているため、明確な関係は分からない。

更に、波向については、沖合いと沿岸との平均波向を、表-2.2.9 に示す通り、SW期では、沖合いではほぼSの波が、沿岸ではSEとなり、NE期には、沖合いでSSEの波が沿岸ではほぼESEとなっている。

表-2.2.9 沖合いと沿岸の平均波向

	SWモンスーン期	NEモンスーン期
沖合い波浪	173°	161°
沿岸波浪	141°	119°
波向変化	32°	42°

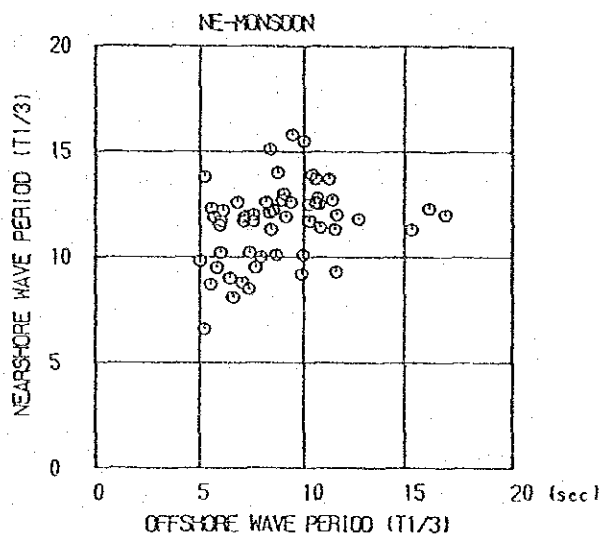
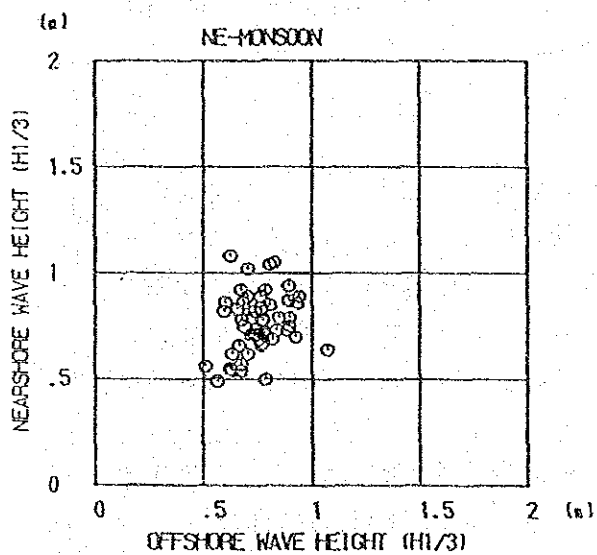
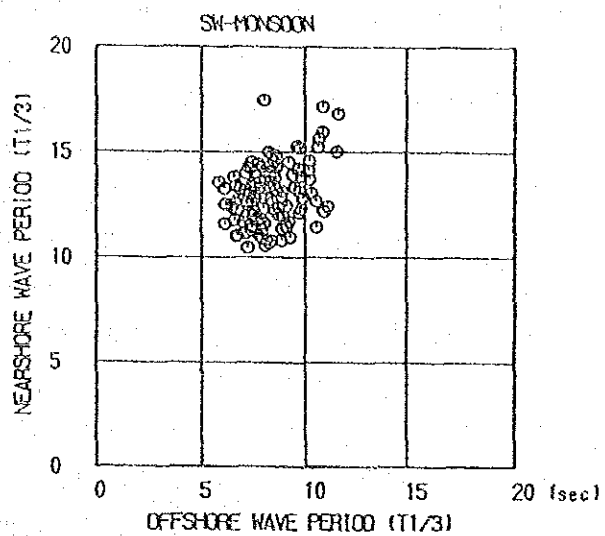
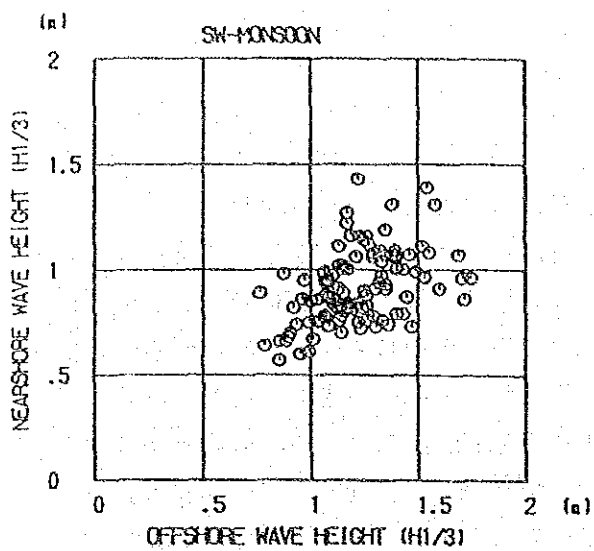


図-2.2.11(1) 沖合波浪と沿岸波浪の比較 ($H_{1/3}$)

図-2.2.11(2) 沖合波浪と沿岸波浪の比較 ($T_{1/3}$)

2.2.5 海浜流

1988年9月および1989年3月の集中観測時に、電磁流速計およびボール・フロートを用いて海浜流を測定した。電磁流速計では、海底上ほぼ70cm地点の流速を測定し、ボール・フロートでは、海面下約1m地点の流速を測定している。

(1) 電磁流速計による観測結果

電磁流速計で測定された海浜流の流速と流向との関係を図-2.2.12に示す。流向の表示で、0度は北方向に流れ去ることを意味し、角度は時計回りが正、すなわち、90度はW、180度はS方向に流れ去ることを意味する。これによると、SWモンスーン期には、測定された最大の流速は、28cm/secであり、流速が大きい場合には、海浜流は、ほぼNE方向に流れる傾向がある。流速が10cm/sec以下の流れでは、流向がばらついている。これに対してNEモンスーン期には、流速が一般的に小さく、流速のばらつきが大きい。流向は、W方向とN-NE方向とに大別され、二つの方向の流れが存在することがわかる。なお、NE方向は、ほぼ漁港主防波堤に平行な方向に相当する。

図-2.2.13および図-2.2.14は、海浜流速と沿岸波浪の波高および周期との関係を各々示すものである。SWモンスーン期には、沿岸波浪の波高及び周期の増大につれて、海浜流の流速が増加する傾向が見られる。NEモンスーン期には、流速が小さいためもあり、流速と沿岸波浪の特性との相関は見られない。

(2) ボール・フロートによる観測結果

SWモンスーン期およびNEモンスーン期におけるボール・フロートの流跡を図-2.2.15および図-2.2.16に示す。SWモンスーン期の観測においては、全てのフロートは、漁港主防波堤の前面に沿って北向きに流れ、こうした北向きの流れは、主防波堤の100m程度沖合いにおいても認められる。一方、NEモンスーン期においては、海浜流が弱く、主防波堤先端部付近および沖合いで、南に向かう流れが見られる他は、明瞭な流れの傾向は認められない。

1988年9月の観測結果から主防波堤前面、港口前面および北海岸について平均流速を求め、フロート観測時とおよそ一致する時刻の沿岸波浪及び電磁流速計によって測定された流速と共に取りまとめると、表-2.2.10の通りである。この表に基づいてボール・フロートによる平均流速と電磁流速計による流速との相関およびボール・フロートによる流速と沿岸波浪の波高との相関を示すと図-2.2.17の通りであり、それぞれ弱い正の相関が認められる。

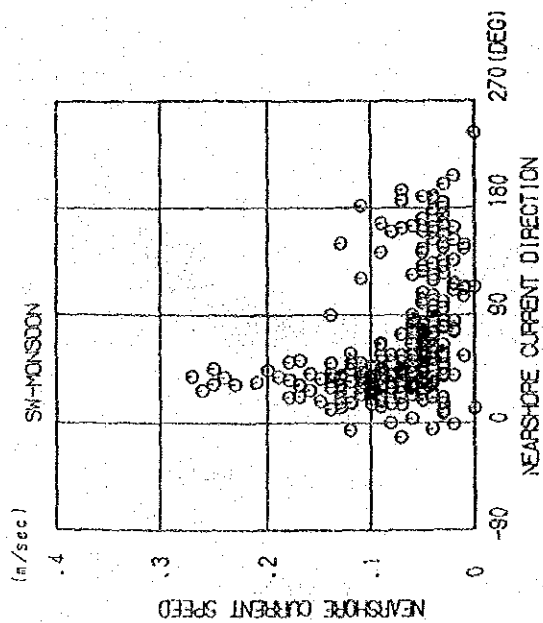


図-2.2.12 海浜流の流向と流速

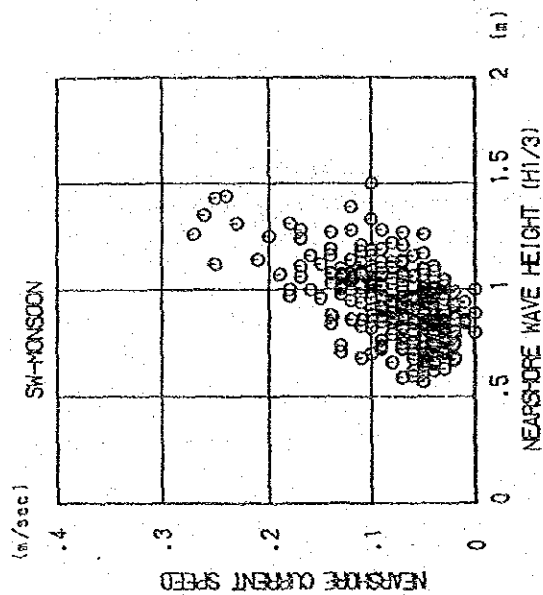


図-2.2.13 沿岸での波高と流速の関係

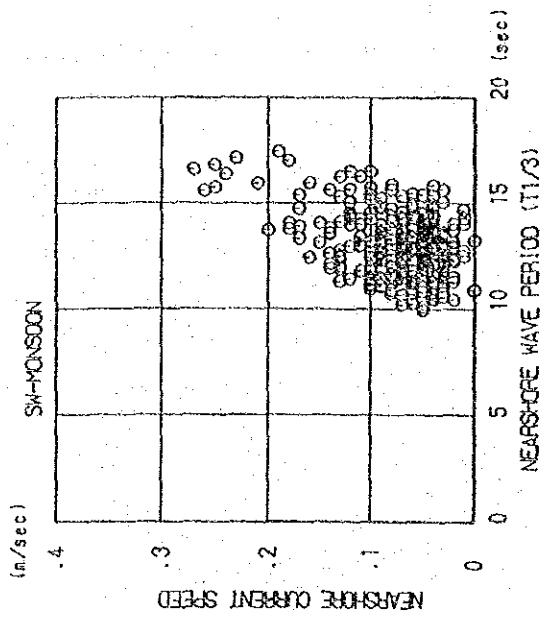
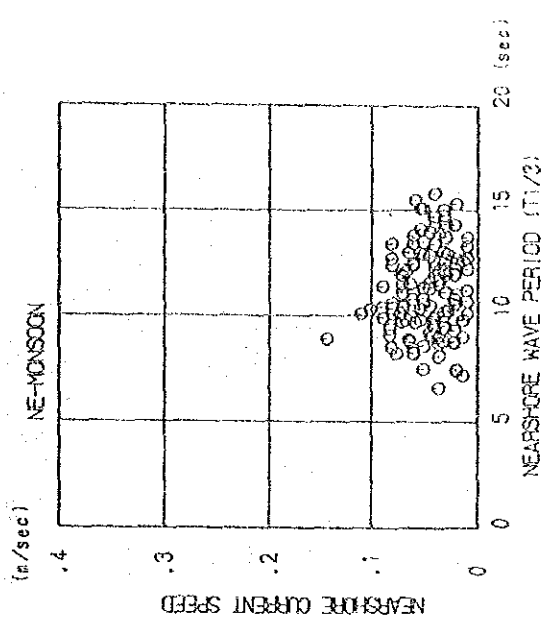
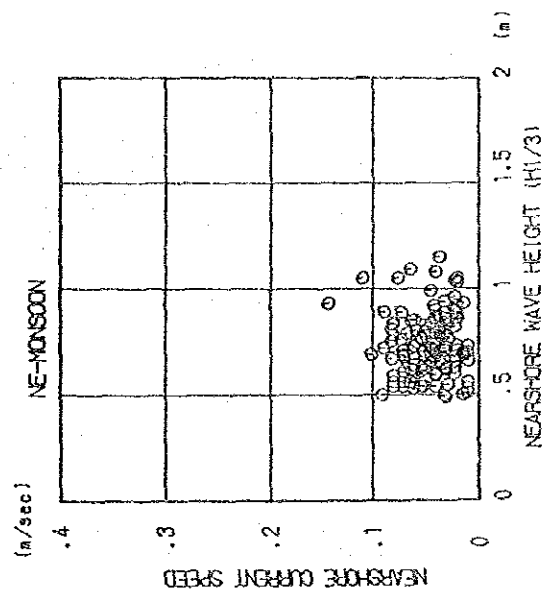
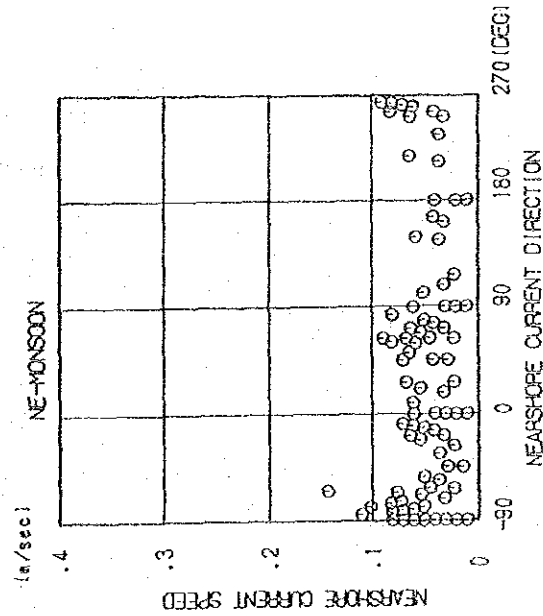


図-2.2.14 沿岸での周期と流速の関係



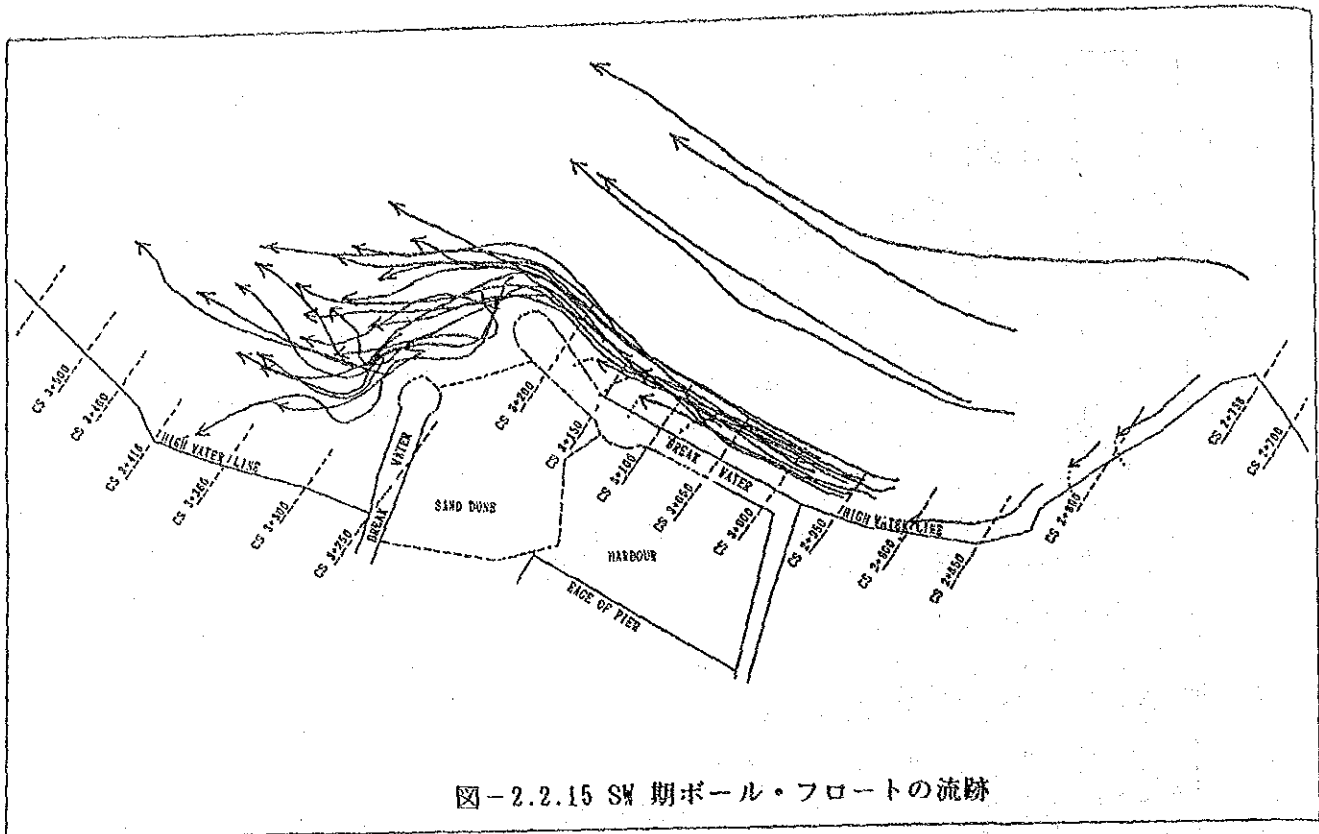


図-2.2.15 SW 期ボール・フロートの流跡

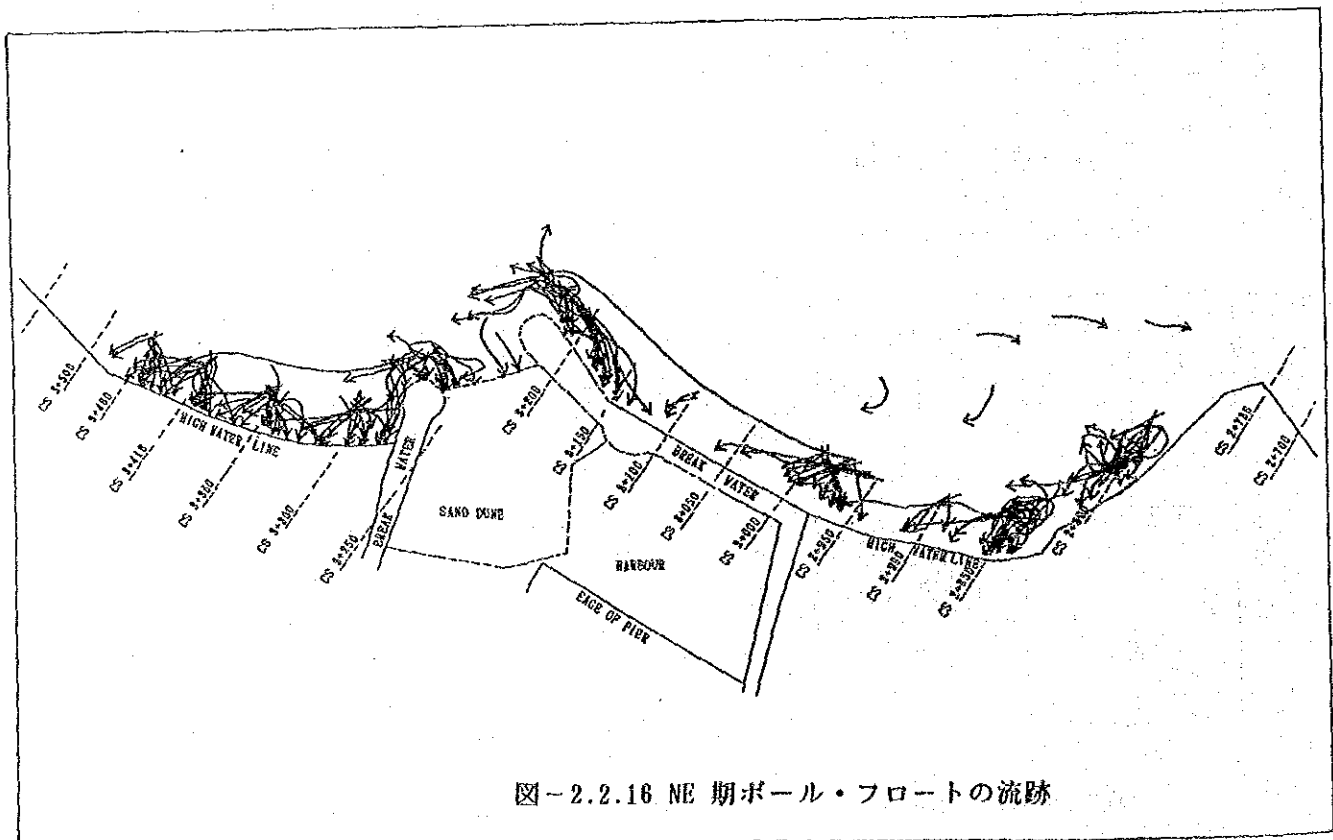


図-2.2.16 NE 期ボール・フロートの流跡

表-2.2.10 フロート追跡による流れと底層流、沖波との関係

年	月	日	時	フロート追跡による流速値 (m/s)			波高計付き磁気流速計			沖合波	
				主防波堤の 前面	港口の 前面	東海岸	流速(m/s)	波高H1/3 (m)	周期T1/3 (sec)	H1/3(m)	T1/3(sec)
88	8	24	9:00	0.52 (20)	0.50 (50)	---	0.16	1.18	15.96	1.23	10.80
88	8	28	11:10	0.32 (30)	0.32 (80)	---	0.08	0.81	12.84	1.02	9.02
88	8	28	15:30	0.22 (20)	---	0.15 (90)	0.14	0.88	18.84	1.26	8.01
88	8	30	18:00	0.42 (30)	---	---	0.14	0.84	18.84	1.33	7.51
88	9	1	14:30	0.42 (30)	0.30 (30)	0.30 (80)	0.13	1.05	11.82	1.39	7.88
88	9	3	14:00	0.48 (30)	0.50 (30)	0.30 (90)	0.07	1.14	18.60	1.25	8.28
88	9	5	9:00	0.27(200)			0.07	0.94	10.97	1.07	9.23
			15:00	0.32 (30)	0.20 (60)	0.28 (90)	0.05	0.78	11.08	1.04	7.68
88	9	8	10:30	0.13(130) 0.21(200)	---	---	0.04	0.81	13.19	1.47	7.43
88	9	9	14:00	0.34 (30)	0.30(100)	0.15(100)	0.09	0.57	13.29	1.08	8.02
88	9	11	15:30	0.25 (40)	0.27 (90)	---	0.05	0.65	13.19	0.95	8.64
88	9	14	9:00	0.19(100)	---	---	0.03	0.82	12.25	1.12	8.78
88	9	15	15:00	0.34 (30)	0.27 (90)	0.16(100)	0.13	1.07	12.03	1.69	8.69
88	9	17	14:30	0.36 (40)	0.25(100) 0.17 (60)	---	0.10	0.91	10.97	1.52	7.08
88	9	19	10:00	0.40 (30)	0.22 (70)	---	0.13	1.10	14.11	1.54	8.45
88	9	21	9:00	0.36 (30)	0.21 (90)	---	---	---	---	1.00	9.24

() は岸からの距離 (m)

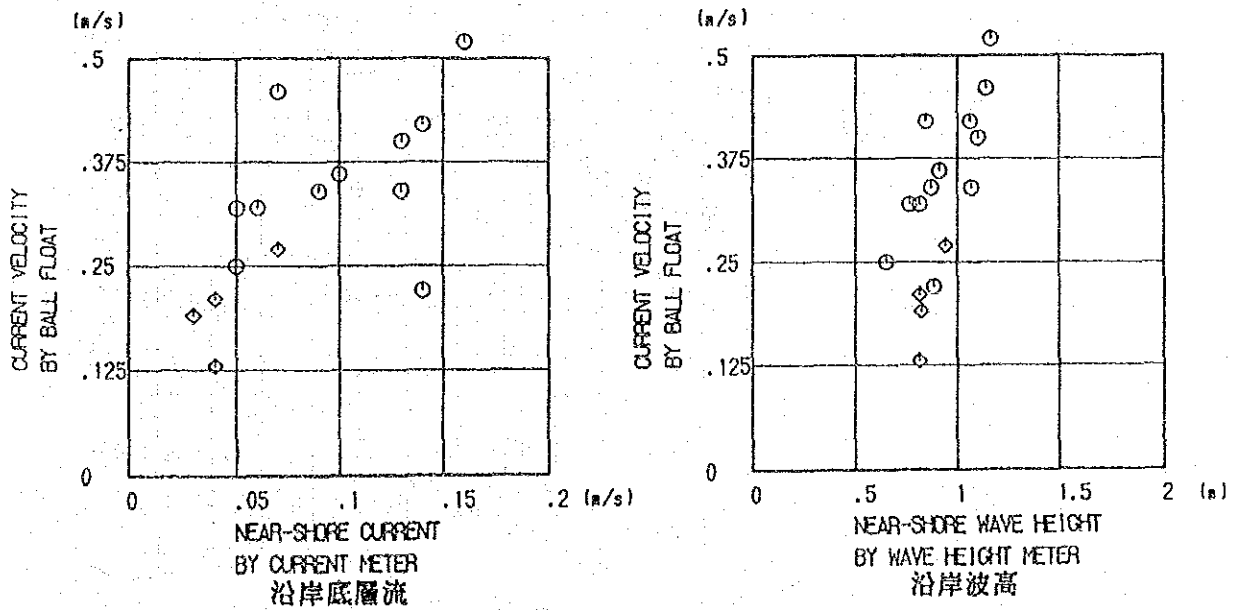


図-2.2.17 フロートによる流速と流速計による流速及び沿岸波高との関係

2.2.6 底質

1988年9月および1989年3月の集中観測時、海浜上の底質を採取し、粒度分析及び比重測定を行った。これらの沿岸方向の分布を図-2.2.18に示す。SWモンスーン期においては、キリンダ岬の南側を除いて、底質中央粒径は、前浜において0.4-0.8mm、後浜において0.3-0.8mmに分布し、底質の比重は、2.7-3.0であった。

一方、NEモンスーン期において、中央粒径はキリンダ漁港周辺ではSWモンスーン期に比べてやや小さい。

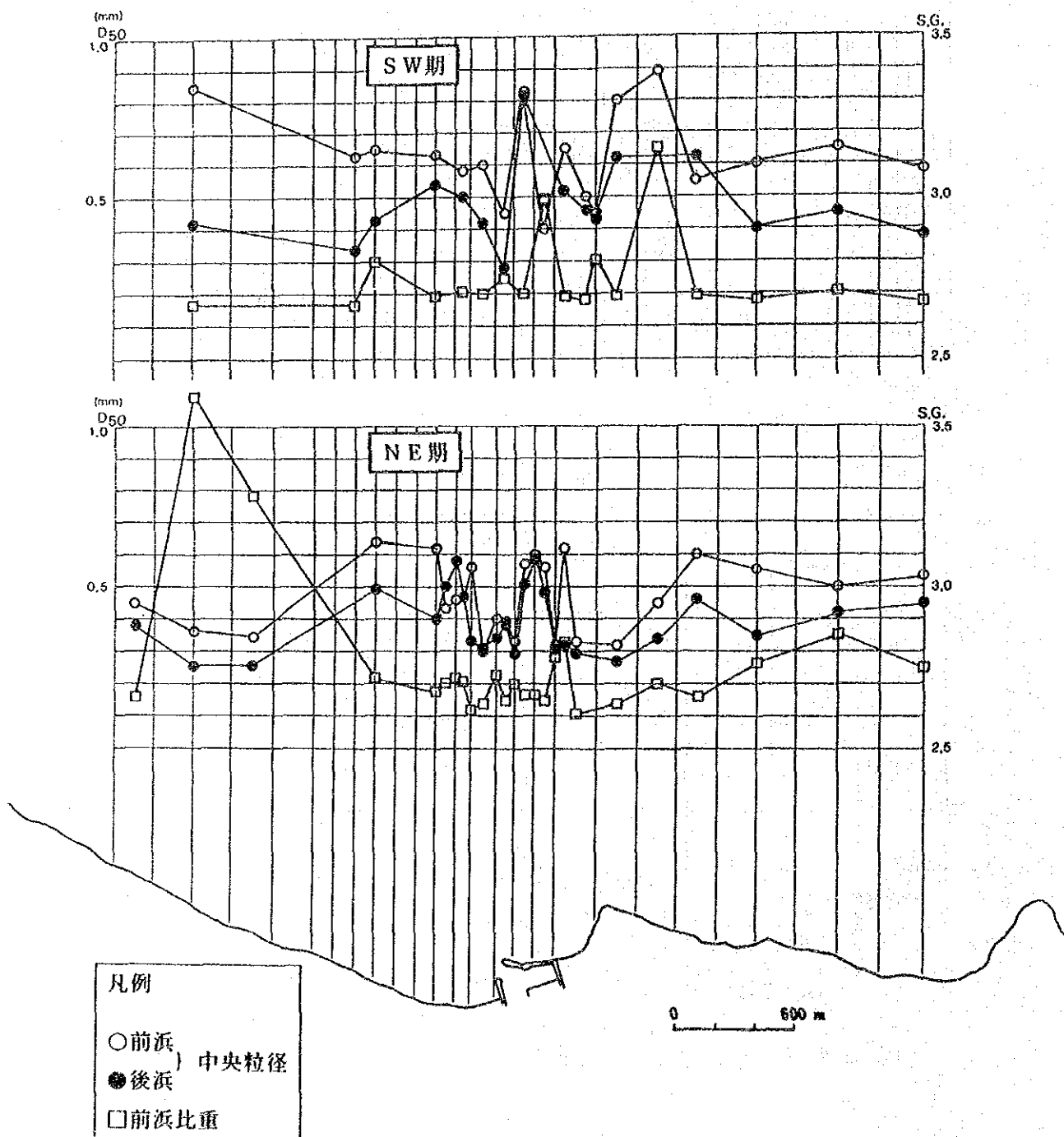


図-2.2.18 底質の沿岸方向の分布

2.2.7 漂砂および海浜変形

(1) キリнда漁港埋没過程および海浜変形

キリнда漁港の建設工事の完了後、漁港が埋没するに至る過程における汀線変化の状況を、図-2.2.19に、また、この間における堆積土量の経時変化を、図-2.2.20に示す。NEモンスーンが終了し、漁港が完成した時点で、ポケット・ビーチ部分はすでにほぼ完全に堆砂している。続く1985年のSWモンスーン期間には、主防波堤の前面に堆砂が進み、その堆砂量は約10万 m^3 弱に及ぶが、港口部では未だ堆砂が生ずるに至っていない。次の1985年から1986年にかけてのNEモンスーン期には、主防波堤前面の海浜は、約4万 m^3 程度侵食されている。この間、逆に港内には、主防波堤を透過或いは乗り越えた土砂が、約1.3万 m^3 程度堆積している。1986年のSWモンスーン期に入ると、再び主防波堤前面に土砂の堆積が始まり、6月には、港口から侵入した土砂によって、港内の係船施設の北端から主防波堤へ連がる砂州が形成されている。このSWモンスーン期間における港内堆積量は、港口からの侵入土砂及び防波堤を透過或いは乗り越えて侵入した土砂を併せて、12万 m^3 弱である。

1988年5月の時点では、港内堆積は港口部にまで及び、汀線は主防波堤と副防波堤を結んでいる。

1985年4月と1986年8月の港内での水深変化量を図-2.2.21に示す。前述のように、1986年6月の時点で、係船施設の北端から主防波堤へ連がる砂州が形成されており、それ以降港口からの侵入土砂が、この砂州を越えて係留施設前面に堆積するとは考えられないから、港口からの侵入土砂は港口部に止まっており、港奥側の土砂は主防波堤を透過あるいは乗り越えてさらには飛砂によって、港内へ侵入したものと考え事ができよう。

(2) 浮遊砂の鉛直分布

漁港前面の海域、水深5および5.5m地点に捕砂竹を設置し、浮遊砂量の鉛直分布を測定した。その結果を図-2.2.22に示す。図において、凡例にAと示したデータが捕砂竹の設置水深が5.5m、Bと示したデータが5m地点における結果である。図から明らかなように、SWモンスーン期における浮遊砂量は、NEモンスーン期の値に比べてほぼ一桁多い値である。

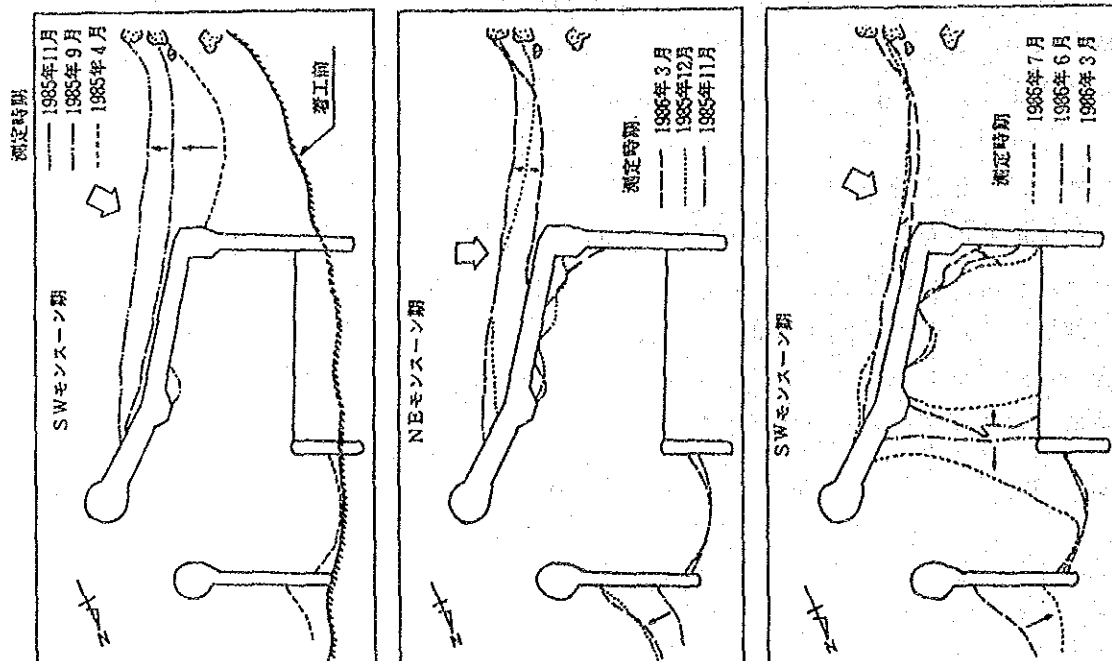


図-2.2.19 汀線位置変化過程

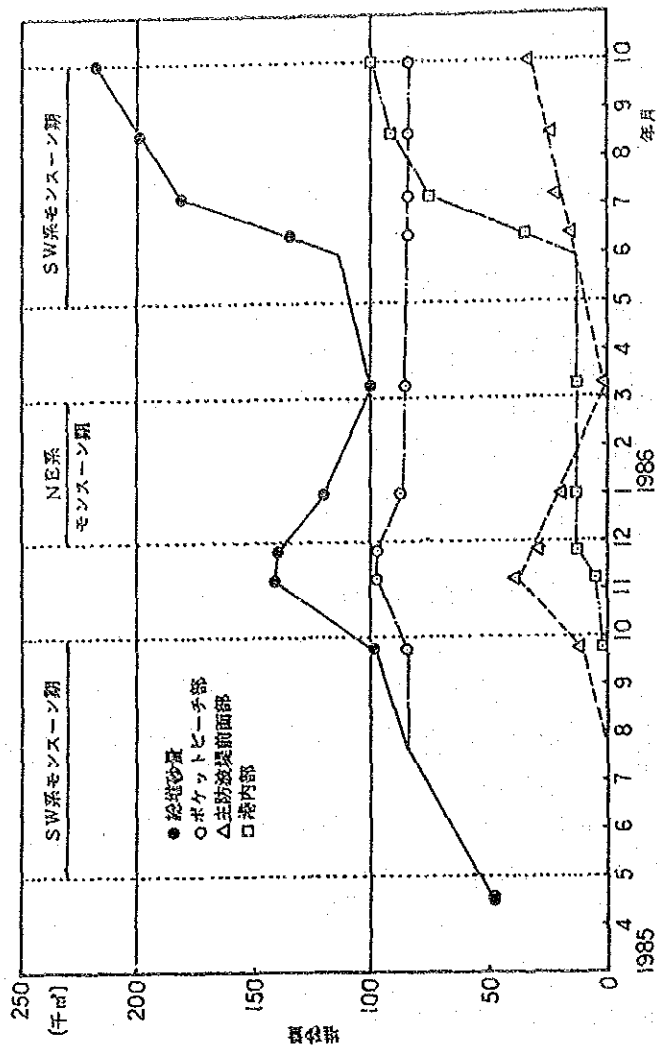


図-2.2.20 堆砂量の推移

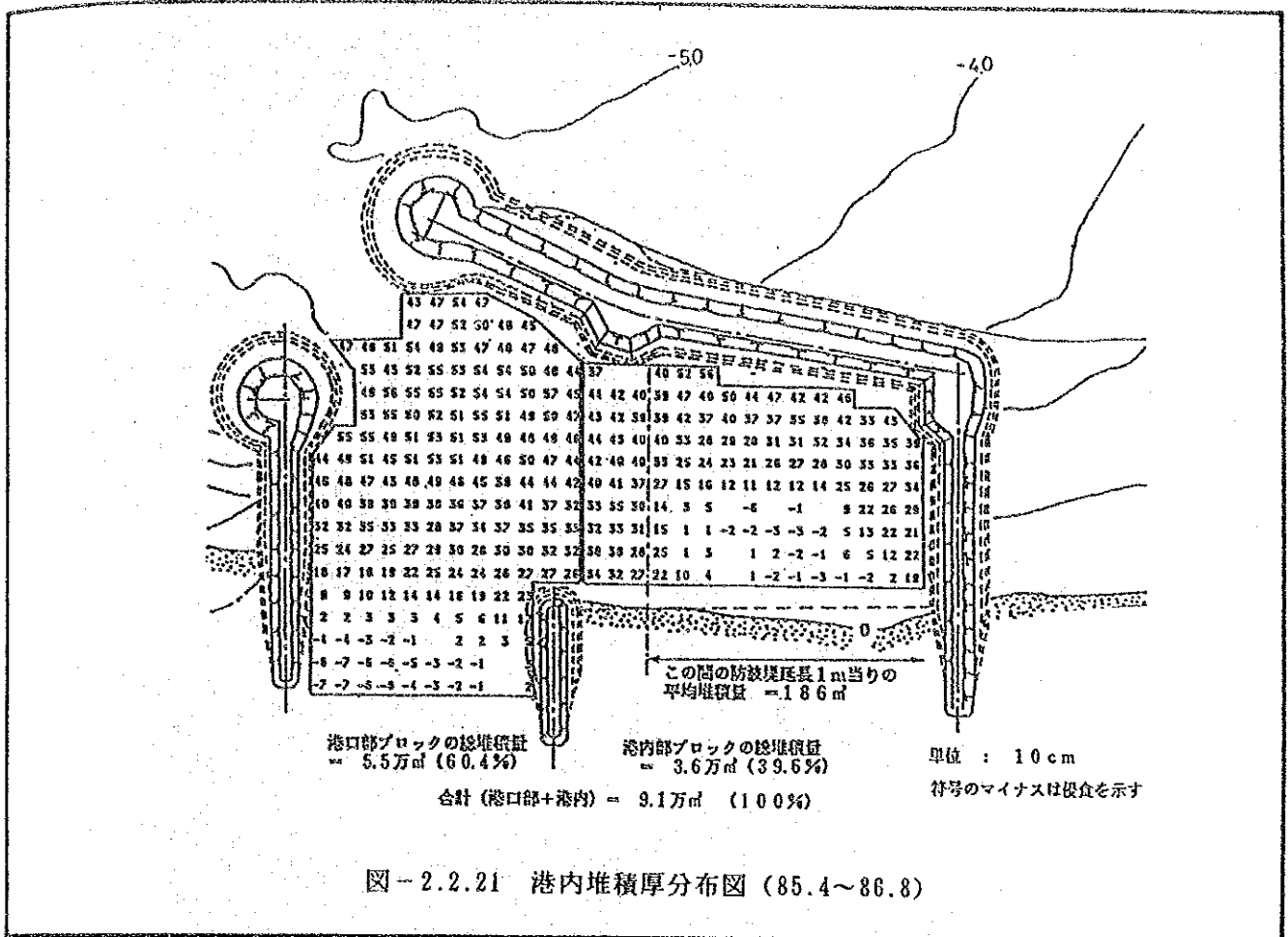


図-2.2.21 港内堆積厚分布図 (85.4~86.8)

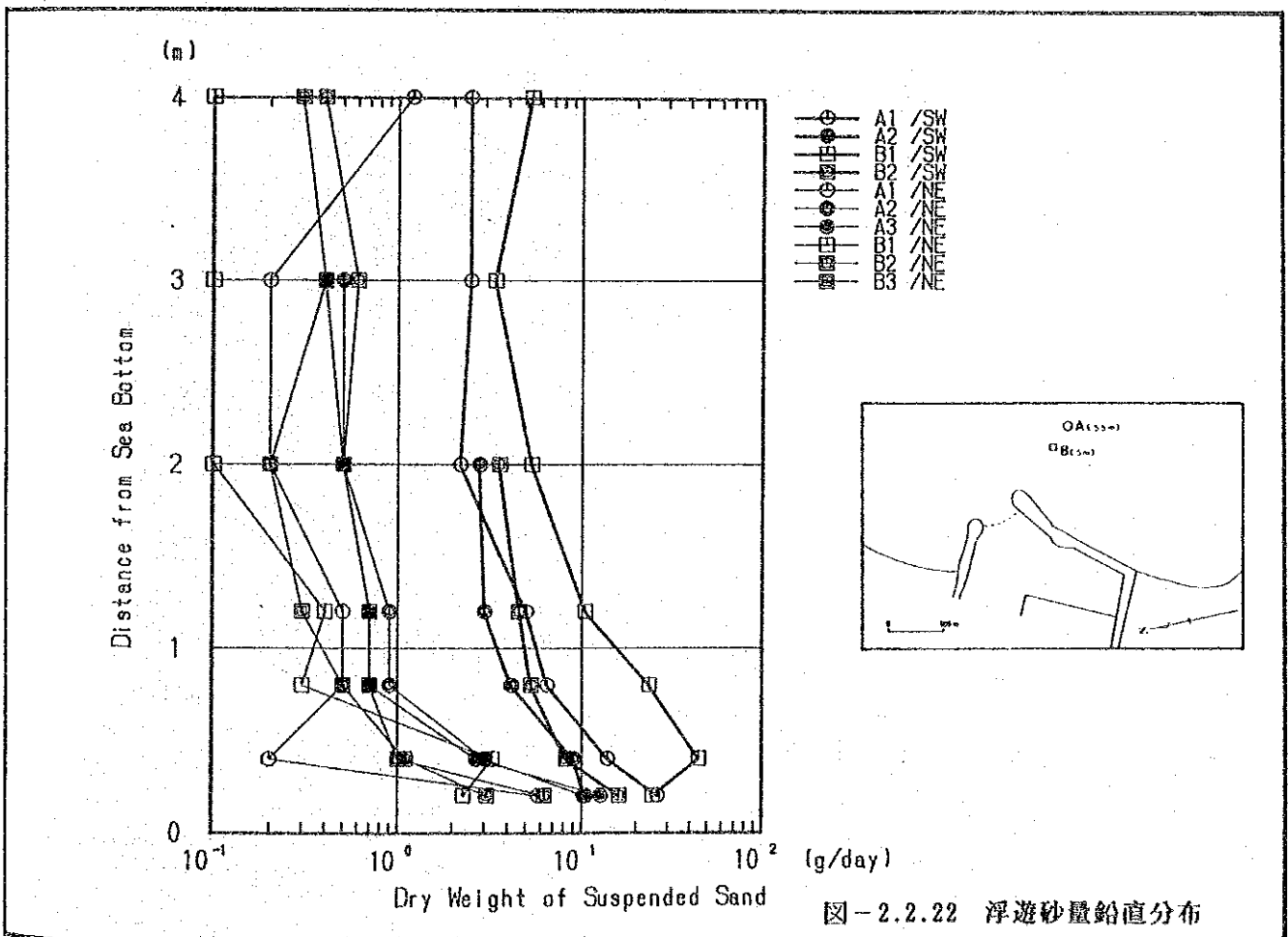


図-2.2.22 浮遊砂量鉛直分布

第3章 漁港埋没対策とその効果

第3章 漁港埋没対策とその効果

3.1 検討方法

3.1.1 ハイブリッド手法の採用

波浪や流れの現象は、水理模型実験によって扱われることが多い。これは、これらの現象に関しては、現地の現象と模型中の現象との間で、幾何学のおよび力学的な相似性が成立しているためである。これに反して、漂砂の現象に関しては、こうした相似性が成立し得ない。従って、漂砂の問題を、砂等移動可能な粒子を用いた水理模型実験（移動床水理模型実験と呼ばれる）のみによって検討することには、問題が多い。

一方、数値シミュレーションが成立するためには、現象の解明が進み、現象を数式によって表現し得ることが不可欠である。波浪や流れの現象に関しては多くの部分でこういった数式化が可能であるが、未だ現象の解明が遅れ、数式化が困難なものや、数式化の信頼性の低い部分もある。波が碎ける現象（砕波と呼ばれる）や波によって主として砕波の陸側に形成される流れ（海浜流と呼ばれる）の水深方向への分布の現象、さらに防波堤等を波が乗り越える現象（越波と呼ばれる）がその代表的な例である。

キリンド岬周辺では、その沖合いの岩場で砕波が生じており、波や海浜流に関しては、前述した理由によって数値シミュレーションによるよりも、水理模型実験による方が信頼性の高い情報を得ることができる。

海岸および港湾工学の分野で、漂砂は現象解明の遅れている現象として知られている。しかしながら、近年はいくつかの現象の数式化が行われるようになってきており、前述した水理模型実験における相似性の不成立を考慮すると、定量的な予測手段としては、水理模型実験によるよりも、数値シミュレーションによる方が合理的である。

近年になって、前述した水理模型実験と数値シミュレーション各々の有利な点のみを結合して、より信頼性の高い漂砂問題の予測を行おうとする試みがなされ始めており、これをハイブリッド・モデルによる予測手法と呼んでいる。この方法では、砂粒のように移動可能な粒子を使わない水理模型実験（固定床水理模型実験と呼ばれる）によって、漂砂を引起す外力である波浪と海浜流の分布を計測し、水理模型実験の相似性が確保されない土砂移動については、実験によって得られた外力の値を数値シミュレーション・モデルに入力して、電子計算機によって計算して、漂砂問題の定量的な予測を行っている。

本調査では、埋没問題は主として、このハイブリッド・モデルを用いて検討し、港口部に形成される可能性の高い砂州の特性等、微妙な現象については、移動床模型実験によっても確認的に実験した。

ハイブリッド・モデルは、本件の検討手段として現在の技術水準では最も適していると判断されるが、漂砂現象の複雑さを考えると未だ多くの問題点を残しており、この手法により得られた数値をそのまま用いた判断は危険な場合がある。従って最終的な判断は、得られた結果を参考とし、これに過去の経験に基づく技術的判断を加えて行うべきものとする。

3.1.2 ハイブリッド手法の概要

ハイブリッド手法は、物理モデル（水理模型実験）と数値モデルの組合せたものである。その実施フローを図-3.1.1 に示し、現地調査、水理実験と数値シミュレーションの関連を図-3.1.2 に示す。

水理実験により漂砂の外力である流速、流向、波高、波向を測定し、漂砂を計算する計算格子点上の外力として、数値モデルにインプットする。この際数値計算で用いる格子間隔は実験に較べて小さいため、計算格子点上には、実験による測定値を内挿補間して用いている。

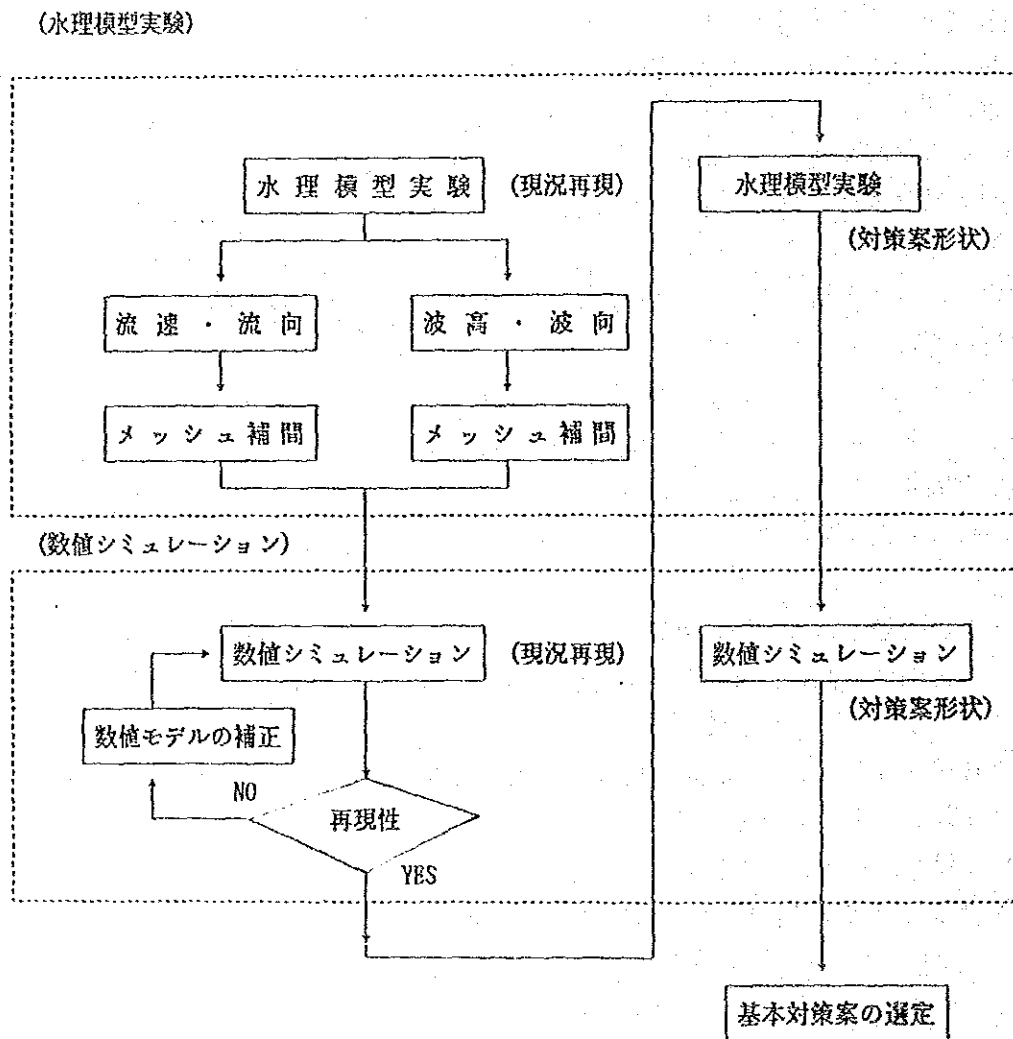


図-3.1.1 ハイブリッド手法の実施フロー

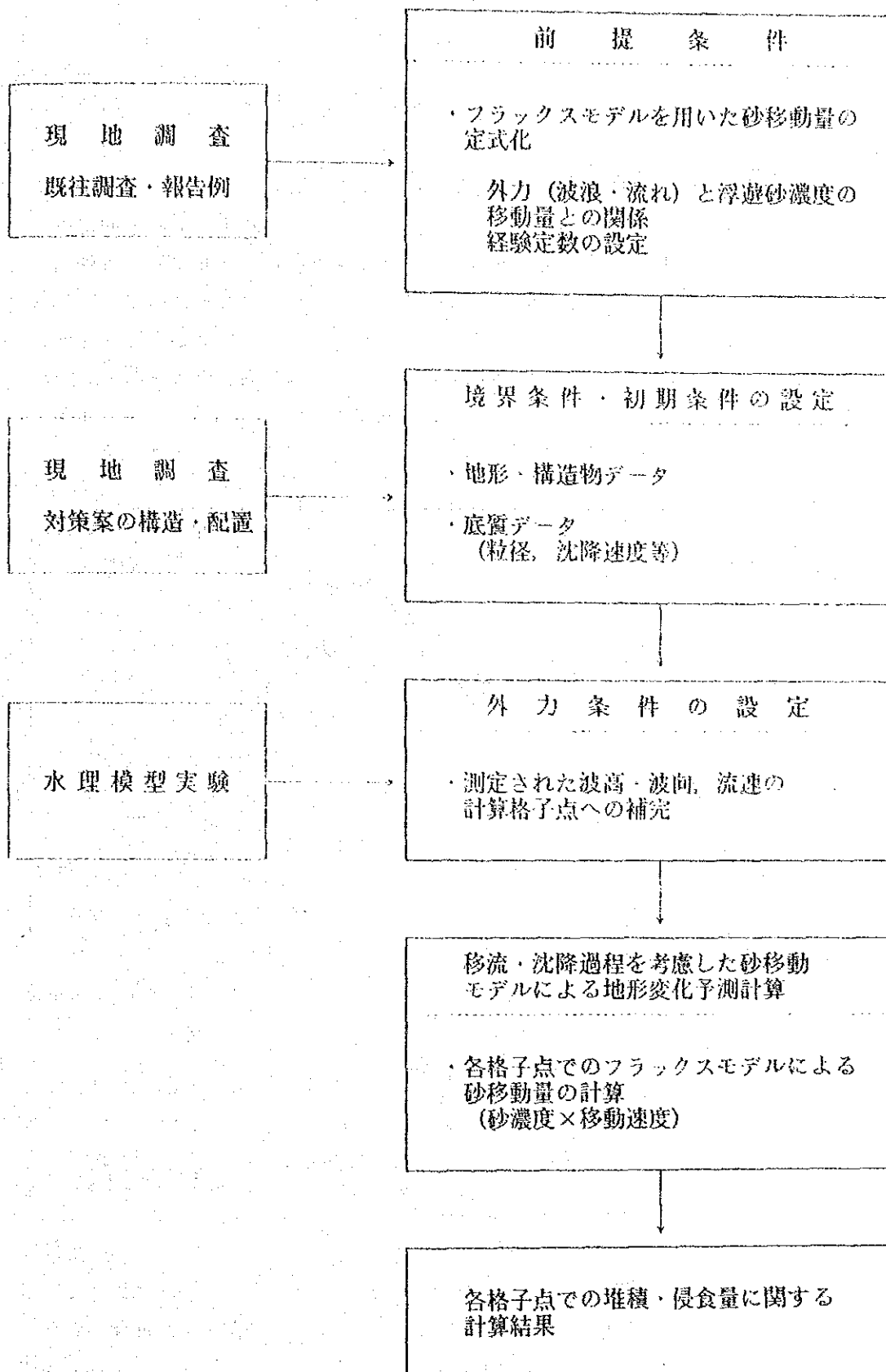


図-3.1.2 現地調査、水理模型実験と数値シミュレーションとの関連

3.1.3 水理実験の方法

(1) 実験の概要

実験は、固定床実験と移動床実験からなる。固定床実験では、図-3.1.3 に示す実験対象領域における波高、流速の測定を行ない、測定データの解析により各測定点の平均波高、平均流速および卓越波向を算出し、これを数値計算モデルに対する外力データとして用いた。また、移動床実験は、固定床実験終了後、効果の極めて高いと考えられる対策案について実施した。図-3.1.3 に斜線で示す領域を移動底質（細砂）に置き換えて、波を作用させた後、港口部、主防波堤あるいは副堤周辺部の局所的な砂の移動形態を検討した。

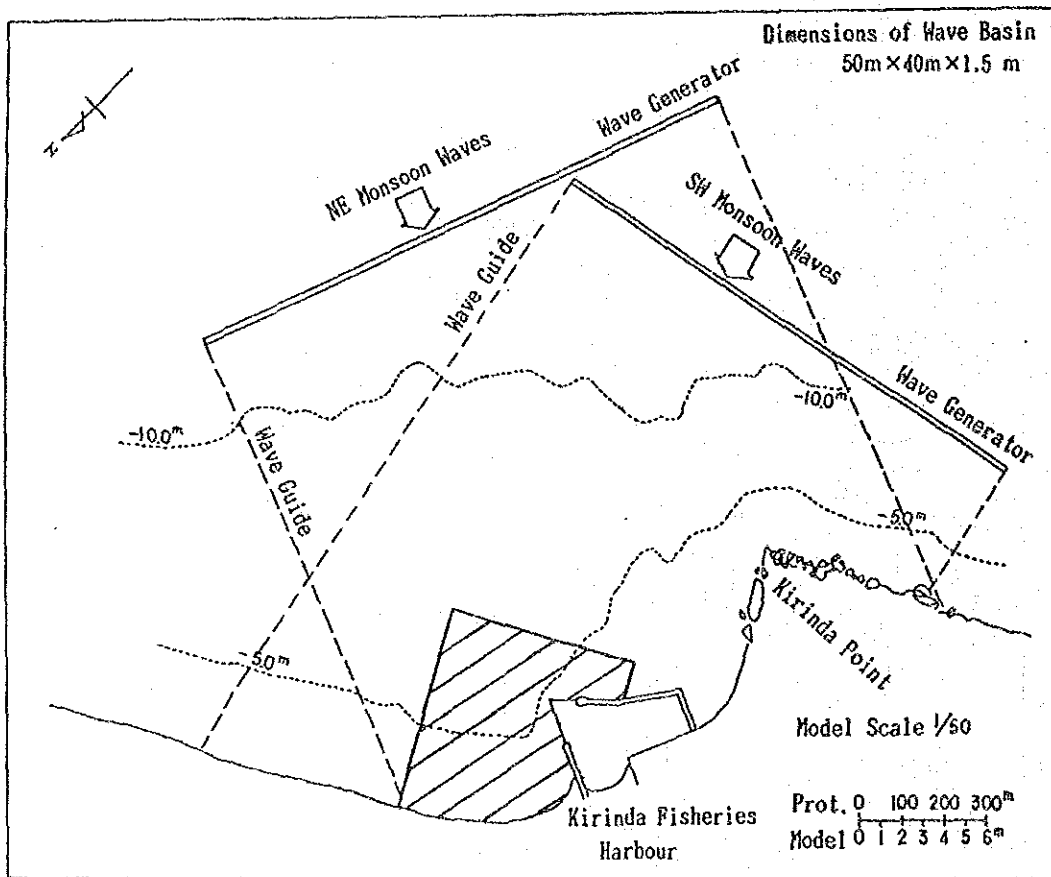


図-3.1.3 実験対象領域

(2) 実験施設および計測機器

実験に使用した施設および計測機器は以下の通りである。

①実験施設

●屋内三次元実験水槽

水槽諸元： 50.0m × 40.0m × 1.5m

●造波機

形式： ベンジュラム型（連動式）

板 長： 32m（8m × 4台）

発生波高： 最大 25cm（規則波）

発生周期： 0.4 ~ 4.0 sec

②計測機器

●サーボ式波高計

●電磁流速計

●砂面計

●デジタルデータレコーダ

●ペン書きオシログラフ

●デジタルボルトメーター

●ビデオ撮影、編集システム

③電子計算機（実験データ解析用）

●JAC150コンピュータシステム

(3) 実験条件

①模型縮尺

固定床実験、移動床実験のいずれも鉛直、水平無歪で1/50とした。フルードの相似則によれば、本実験における諸量の縮尺は以下の通りである。

模型寸法： $L_m / L_p = 1/50$

波 高： $H_m / H_p = 1/50$

周 期： $T_m / T_p = \sqrt{1/50} = 1/7.07$

②潮位

実験潮位としては、M.S.L.を用いた。

③模型および模型床

防波堤、防砂堤、潜堤等の模型は、コア一部を約3g（現地量：300kg程度）、被覆石を約60g（現地量：7t程度）の2種類の碎石で形成した。

模型床は固定床実験においては表面モルタル仕上げとし、各検討段階（現況再現段階、対策案検討段階）に合わせて海底地形を変更したものをを用いた。

(4) 実験方法

①固定床実験

主たる測定項目は波高、流速であるが、碎波帯位置および染料を用いた流況観察も全ケースについて実施した。

波高、流速は、図-3.1.4 に示す位置で測定し、各測点において波高と流速を同時に測定した。流速は、全測点とも模型床面より15mm（現地量：0.75m）上方の点で捉えたものである。また、流速計による測定が困難な汀線に近い領域の流速は、フロートを用いて測定した。

②移動床実験

移動床実験では、海底地形および汀線位置の測定を行った。

測定点は、図-3.1.5 に示すように25cm間隔の格子点上とし、砂面測定器を用いて測定した。

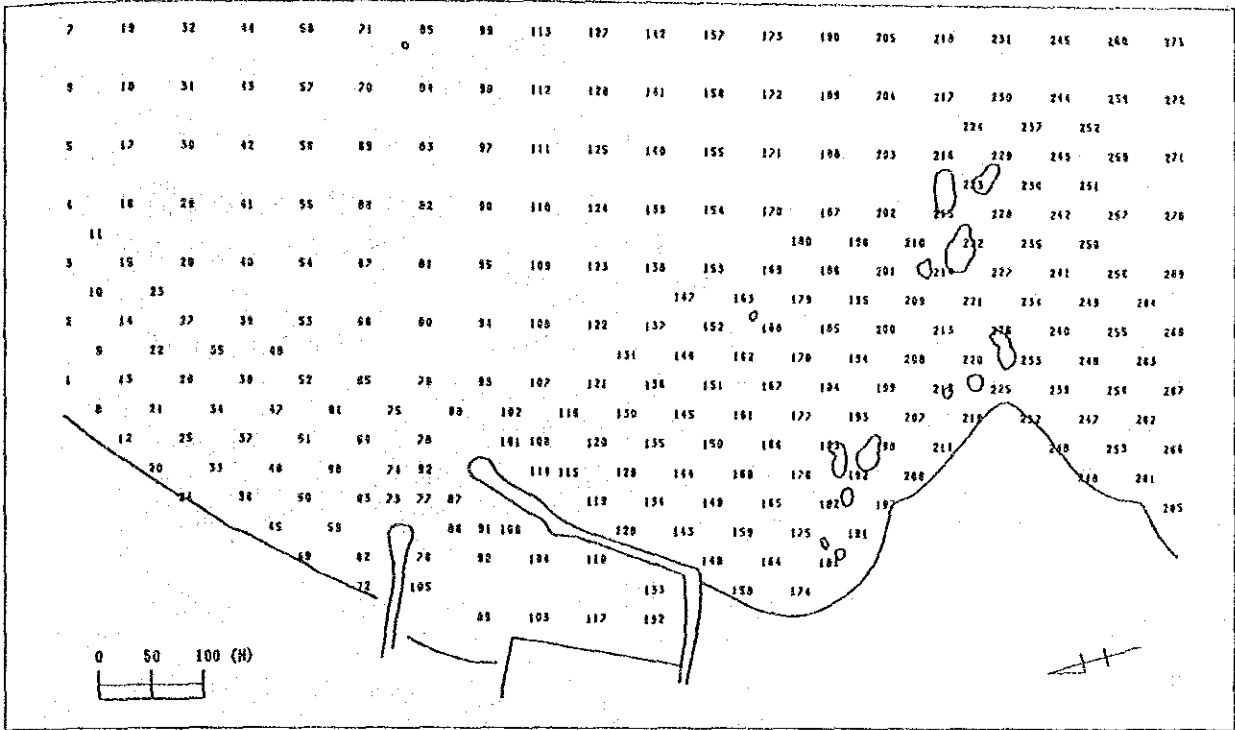


图-3.1.4 固定床实验测定点位置

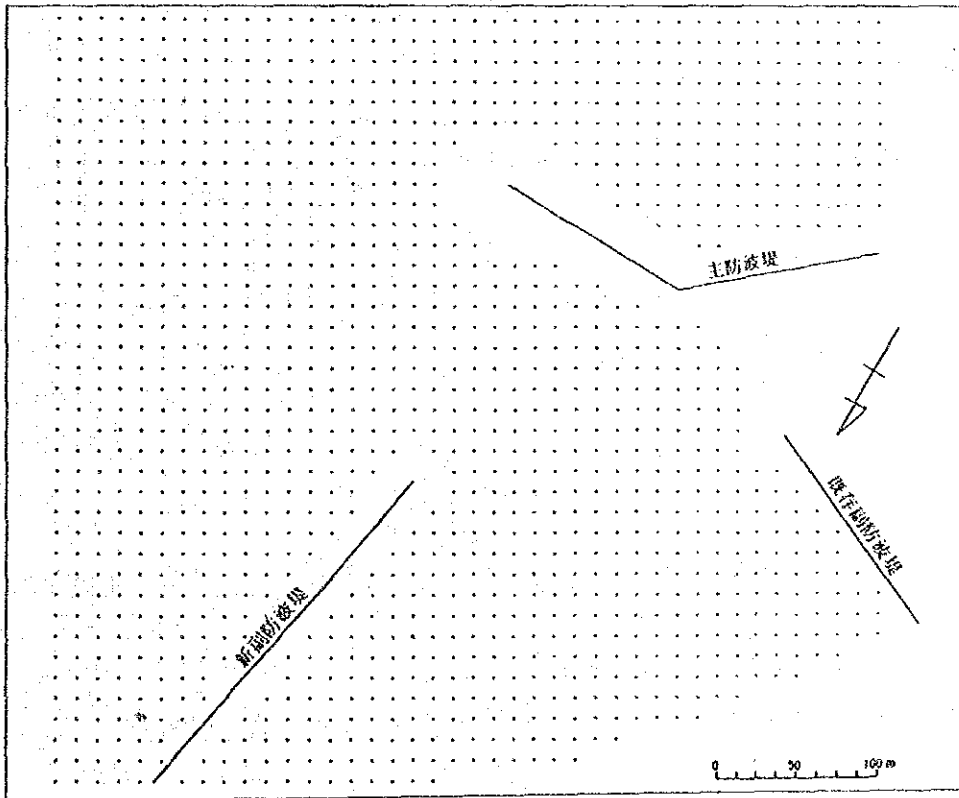


图-3.1.5 移动床实验测定点位置

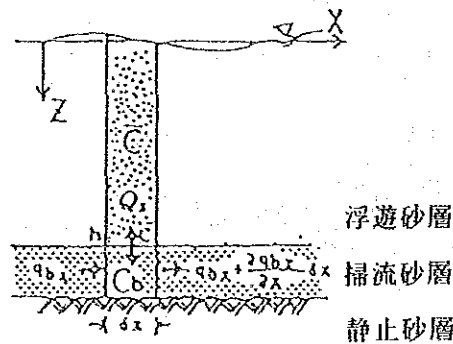
3.1.4 数値計算の方法

(1) 水深モデル

楕木・出口らにより提案されたフラックスモデルに基づく局所漂砂量式を用いて、三次元水理模型実験で得られた波高・波向・流速の測定結果を外力条件として地形変動量の計算を行った。

流速については、水深変化後も線流量 $M (=u \cdot h)$ は変化しないものとして地形変化後の流速 u' を計算上で補正し、地形変化が流れに及ぼす影響を考慮した。

下図に示すように、水深変化は、底面における砂の浮上するフラックスと沈降するフラックスの差 (Q_s) および掃流砂量 (q_b) の収支によって生じる。なお、浮遊砂層と掃流砂層の境界を底面と定義した。



水深変化は次式で定義される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \left[-Q_s + \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} \right) \right] \quad (3.1.1)$$

ここに、

- x, y : 水平座標
- t : 時間
- h : 水深
- λ : 空隙率
- Q_s : 砂の浮上と沈降のフラックスの差
- q_{bx}, q_{by} : x, y 方向の掃流砂量

ここで、砂の浮上と沈降のフラックスの差 Q_s および掃流砂量 q_{bx}, q_{by} を以下のよう求めた。

(a) 底面における砂の浮上と沈降のフラックスの差 Q_s

底面における砂の浮上と沈降のフラックスの差は、次式で表される。

$$Q_s = \left[(1-\gamma) C_o W_r + \alpha \left(1 - \frac{u_x}{W_r} \right) + \bar{C} W_r \right] \quad (3.1.2)$$

ここに、

- $u_* > w_f$ のとき $\gamma = 0$
- $u_* < w_f$ のとき $\gamma = 1$
- ϵ_z : 鉛直拡散係数
- h : 水深
- \bar{C} : 上層平均浮遊砂濃度
- C_0 : 浮遊砂基準点濃度
- u_* : 摩擦速度
- w_f : 砂の沈降速度
- α : $0 < \alpha < 1$ の定数

ここで、上層平均浮遊砂濃度 \bar{C} は底面での砂の浮上・沈降項を含む浮遊砂の移流拡散式を解くことにより求まる。また、浮遊砂基準点濃度 C_0 は次式で表される。

$$C_0 = 0.347 N_c^{1.77} \quad \text{----- (3.1.3)}$$

$$N_c = \frac{0.688 \hat{u}_0^2}{1.13 (\rho_s / \rho - 1) g w_f T}$$

ここに、

- \hat{u}_0 : 底面流速の最大値
- $(\rho_s / \rho - 1)$: 砂の水中比重
- g : 重力加速度
- T : 波の周期

鉛直拡散係数 ϵ_z については、碎波帯外で、

$$\epsilon_z / W_f = \min [0.021 \exp (0.5 u_*), h] \quad \text{----- (3.1.4)}$$

碎波帯内では、

$$\epsilon_z / W_f = \beta h \quad (0 < \beta < 1 \text{ の正定数}) \quad \text{----- (3.1.5)}$$

とした。ここに、 u_* は摩擦速度である。

(b) 掃流砂量 [q_{bx} , q_{by}]

掃流砂量の算定には Sleath によって提案された次式を用いた。

$$\begin{aligned} q_{bx} &= 47 \sigma d^2 (\phi - \phi_c)^{3/2} (\cos \theta_w + \pi (U / \hat{u}_0)) \\ q_{by} &= 47 \sigma d^2 (\phi - \phi_c)^{3/2} (\sin \theta_w + \pi (V / \hat{u}_0)) \quad \text{----- (3.1.6)} \end{aligned}$$

ここに、

- σ : $2\pi / T$
- d : 中央粒径
- \hat{u}_0 : 底面流速の最大値
- θ_w : 波向
- U, V : 平均流速
- ϕ : シールズ数
- ϕ_c : 移動限界シールズ数

(2) 1-line モデル

1-line モデルは図-3.1.6 に示すように、長期的な汀線の変化を沿岸漂砂量の局所的な変化により予測するものである。

汀線位置は底質の連続式 (3.1.7 式) と、沿岸漂砂量公式 (3.1.8 式) を連立して解くことによって求められる。

[底質の連続式]

$$\frac{\partial Y_s}{\partial t} + \frac{1}{D} \frac{\partial Q_x}{\partial x} = 0 \quad \text{.....(3.1.7)}$$

[沿岸漂砂量公式]

$$Q_x = \frac{K_1}{\gamma_s} (E \cdot C_{gb})_b \cdot (\sin 2\theta_b) - \frac{K_2}{\tan \beta} \cdot \frac{\partial H_b}{\partial x} \cdot \cos \theta_b \quad \text{.....(3.1.8)}$$

ここに、

- Y_s : 汀線位置
- D : 移動帯高さ
- Q_x : 沿岸漂砂量
- K_1, K_2 : 定数 (ここでは $K_1 = 0.2$ $K_2 = 3.0$ を用いた)
- $(E \cdot C_{gb})_b$: 砕波点での波エネルギー・フラックスの沿岸方向成分
 $= 1/8 \cdot \rho g H_b^2 \cdot C_{gb}$
- $\rho \cdot g$: 水の密度および重力加速度
- H_b, C_{gb}, θ_b : それぞれ砕波点での波高, 群速度, 波向
- $\tan \beta$: 海底勾配
- γ_s : 単位体積当りの砂の水中重量

1-line モデルでは、まず代表波による波浪変形計算を行って、砕波諸元 (H_b, C_{gb}, θ_b) の沿岸方向分布を求める必要があるが、ここでは波浪変形計算手法としてエネルギー平衡方程式を解く方法を用いた。

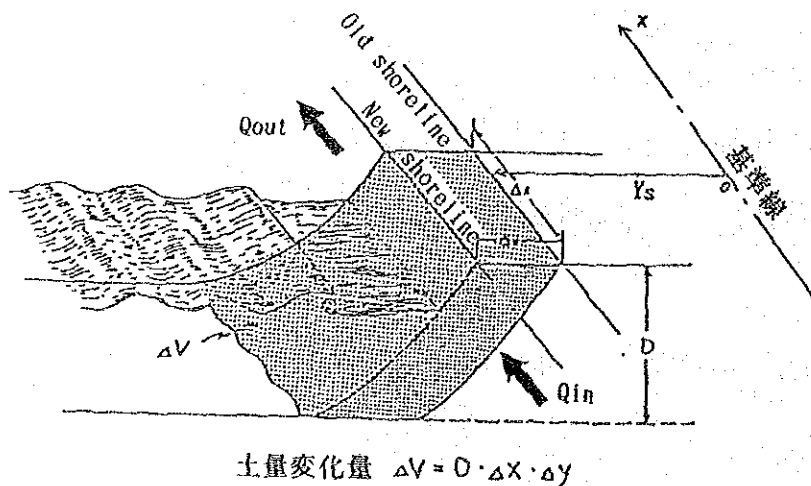


図-3.1.6 1-line モデルの概念図

(3) 計算条件

① 計算領域

計算領域は、図-3.1.7 に示すようにキリンダ漁港およびキリンダ岬を含む沿岸方向約1100m、岸沖方向約 700mの範囲とした。

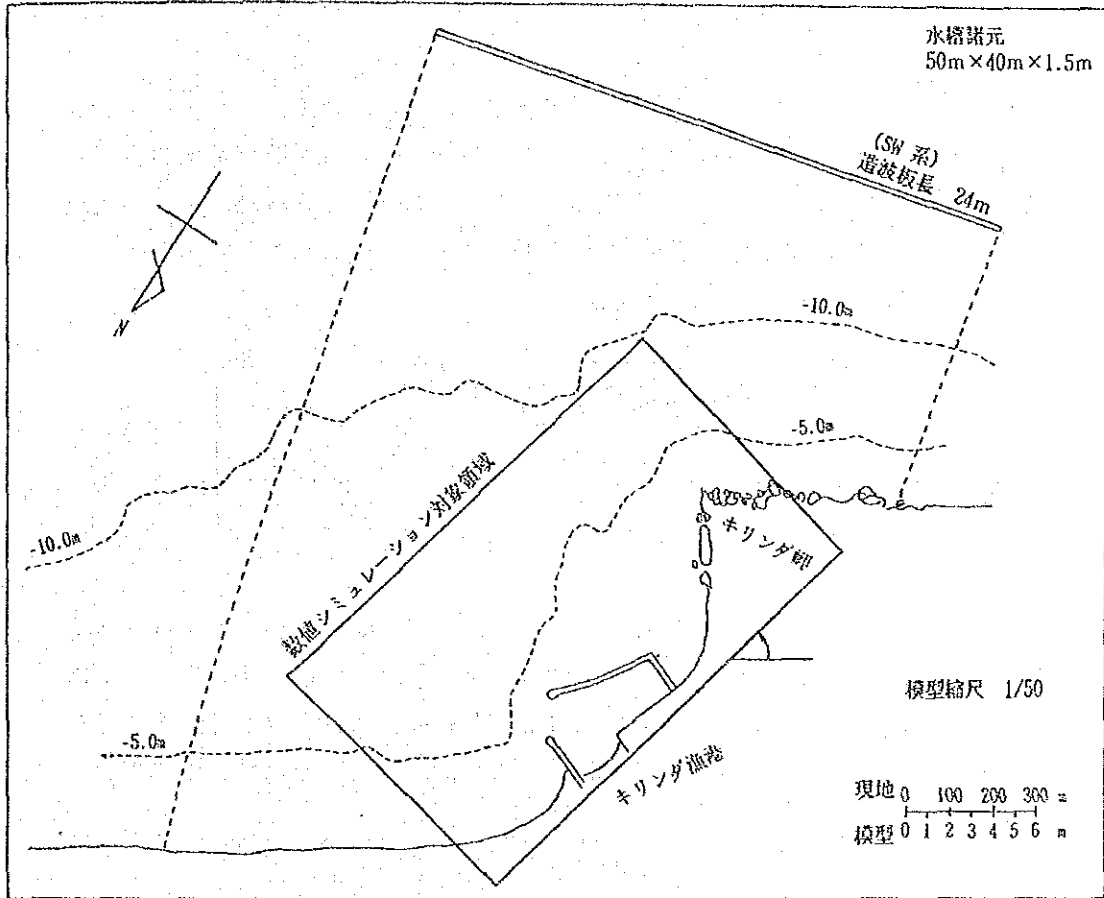


図-3.1.7 計算領域図

②計算で考慮する波の作用日数

水深変化計算では代表波（3.2.2 参照）による水理模型実験で得られた外力条件（波高・波向・流れ）を用いる。計算の対象とする波の作用日数については、この代表波を作用させた期間のエネルギーフラックスが、波浪観測値から得られる対象期間（SW, NEモンスーン期）中のエネルギーフラックスの総量と等しくなるように設定した。（Appendix D 参照）

i) SWモンスーン期

SWモンスーン期については実験で用いた2種類の代表波について、両者を組合せた場合と波高 1.8mのみを作用させた場合について作用日数を算定した。両者を組合せた場合は、観測値の波高が 1.5m以上の場合は波高 1.8mの波浪で、1.5m未満の場合は1.25mの波浪で代表させることにした。表-3.1.1 に計算における代表波の作用日数を示す。

表-3.1.1 計算における代表波の作用日数（SWモンスーン期）

代表波諸元 (実験波浪)	波高 1.8m 周期 14 s	波高 1.25m 周期 14 s
作用日数	17日	159日

ii) NEモンスーン期

NEモンスーン期の波浪はNE方向の風波とSW方向のうねりが混在するものと考えられる。ここでは、対象期間中の波浪から風波に相当するものを分離してエネルギーフラックスの総量を求めるとともに、これと等しくなるようにNEの代表波の作用日数を求めた。表-3.1.2 はその結果を示したものである。

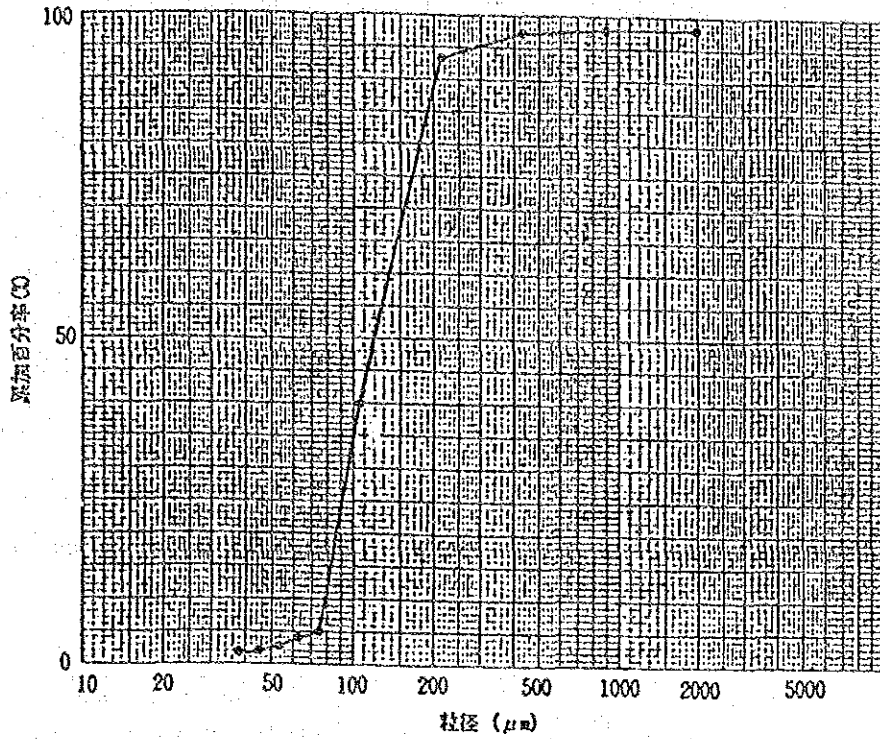
表-3.1.2 計算における代表波の作用日数（NEモンスーン期）

代表波諸元 (実験波浪)	波高 0.86m 周期 6 s
作用日数	59日

③底質条件

砂の中央粒径および比重は、図-3.1.8 に示す浮遊砂補砂調査の解析結果('88.9/4 実施の底面上20cm位置補砂量の粒度試験)および底質土調査結果(主防波堤前面前浜部の粒度試験)に基づいて以下のように設定した。また計算においては、これらの値より Rubey式を用いて沈降速度を設定した。

浮遊砂 : 中央粒径 0.12mm, 比重 2.63, 沈降速度 1.1cm/sec
 掃流砂 : 中央粒径 0.5 mm, 比重 2.70, 沈降速度 6.2cm/sec



B.S. SIEVE SIZE (MM)

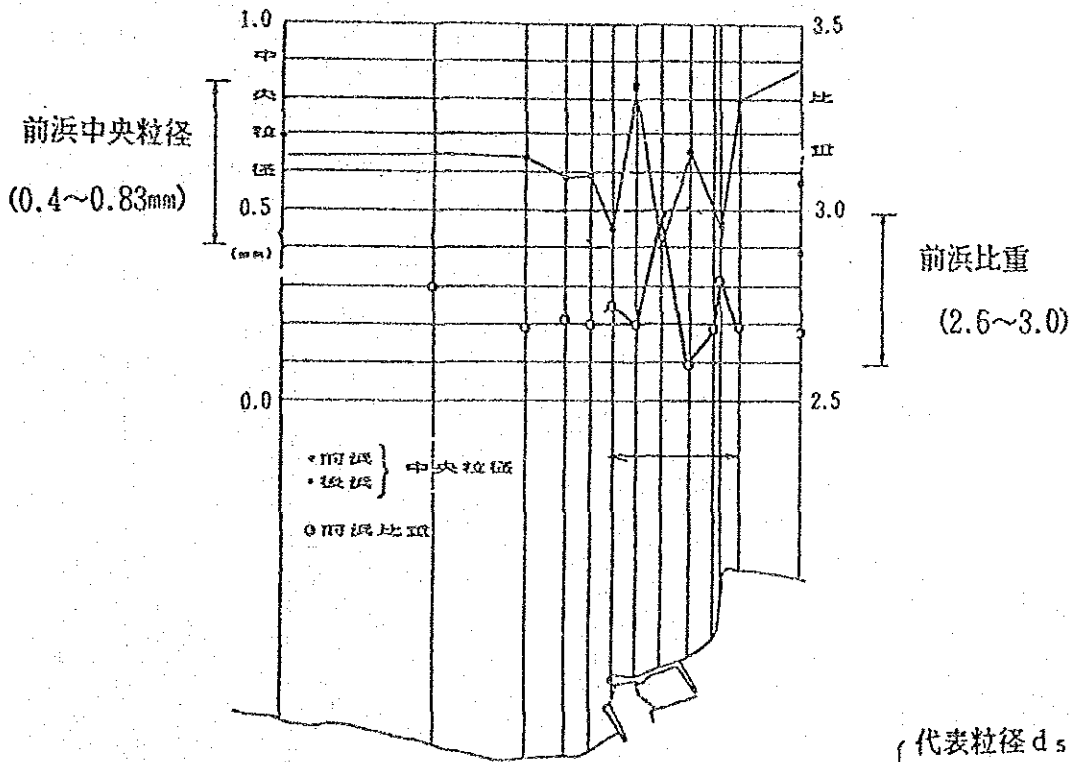
OVER 0.425
 0.425 - 0.212
 0.212 - 0.106

SPECIFIC GRAVITY

2.65
 2.57
 2.63

代表粒径 $d_{50}=0.12\text{mm}$
 代表比重 $\rho_s=2.63$

浮遊砂捕砂調査の解析結果



代表粒径 $d_{50}=0.5\sim0.6\text{mm}$
 代表比重 $\rho_s=2.7\sim2.8$

底質土調査結果

図-3.1.8 浮遊砂捕砂調査の解析結果および底質土調査結果

3.2 検討方法の有効性

3.2.1 有効性検討の基本方針

キリンダ漁港周辺における波浪・流況等の水理特性について現地観測結果と実験での測定値との比較を行なって再現性の確認を行なった。次に、地形変動すなわちポケットビーチや主防波堤前面の堆砂量および港内埋没土量等の現地における地形変動量の実績と計算結果の比較を行なうことにより、予測手法の有効性を検討した。

(1) 再現性検討の対象期間と領域区分について

漁港竣工後の周辺領域における堆砂量および汀線変化については、第一次（1986.9）および第二次フォローアップ調査（1987.3）において調査、検討が行われている。

ここでは、フォローアップ調査総合報告書（1987.7）にとりまとめられたこれらの調査結果に基づいて再現性検討の対象期間と領域区分を以下のように設定した。

まず、SWモンスーンに対してはポケットビーチが埋まった状態（第Ⅰ期）とさらに主防波堤前面に堆砂が進行し港内埋没が進行した状態（第Ⅱ期）の2期に分けて検討し、NEモンスーンに対しては1986年から1987年にかけての実績（第Ⅲ期）について検討した。

第Ⅰ期（1985年4月～1985年10月）；200日間

第Ⅱ期（1986年3月～1986年9月）；200日間

第Ⅲ期（1986年9月～1987年3月）；200日間

漁港の周辺領域を図-3.2.1に示すようにポケットビーチ、主防波堤前面および港内に分け、第Ⅰ期から第Ⅲ期における各領域における地形変動量を求めた結果を表-3.2.1に示す。

また、第Ⅰ期、第Ⅱ期における堆砂量の経時変化を図-3.2.2に示し、第Ⅰ期における汀線変化を図-3.2.3に示す。

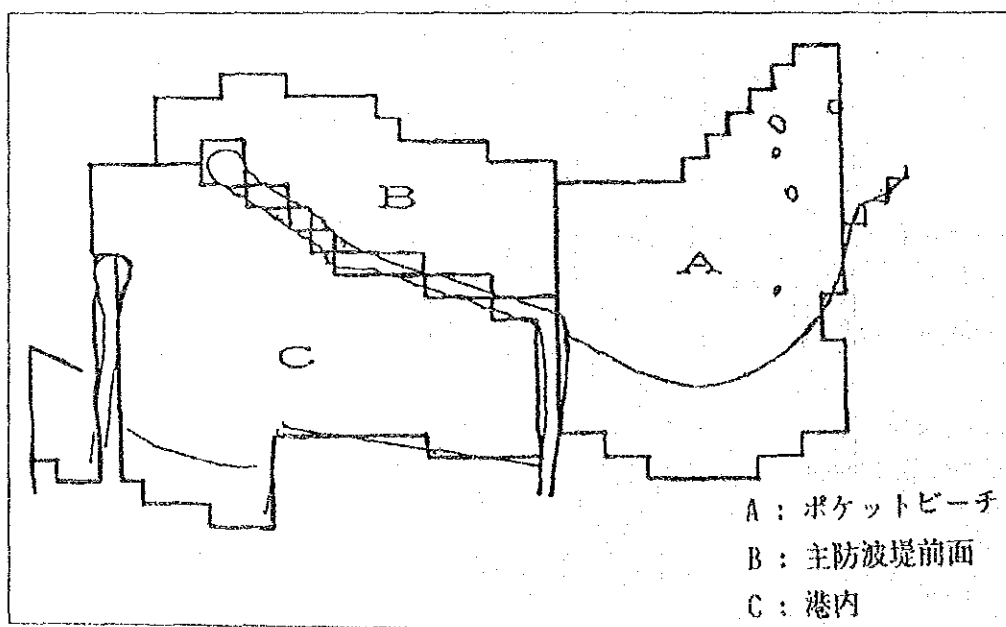


図-3.2.1 堆積土量の領域区分

表-3.2.1 漁港周辺の地形変動量

領域	SWモンスーン		NEモンスーン
	第 I 期	第 II 期	第 III 期
ポケットビーチ	49,000 m ³	0	22,500 m ³
防波堤前面	39,000 m ³	32,000 m ³	-20,000 m ³
港内	5,000 m ³	87,000 m ³	3,500 m ³
計	93,000 m ³	119,000 m ³	6,000 m ³

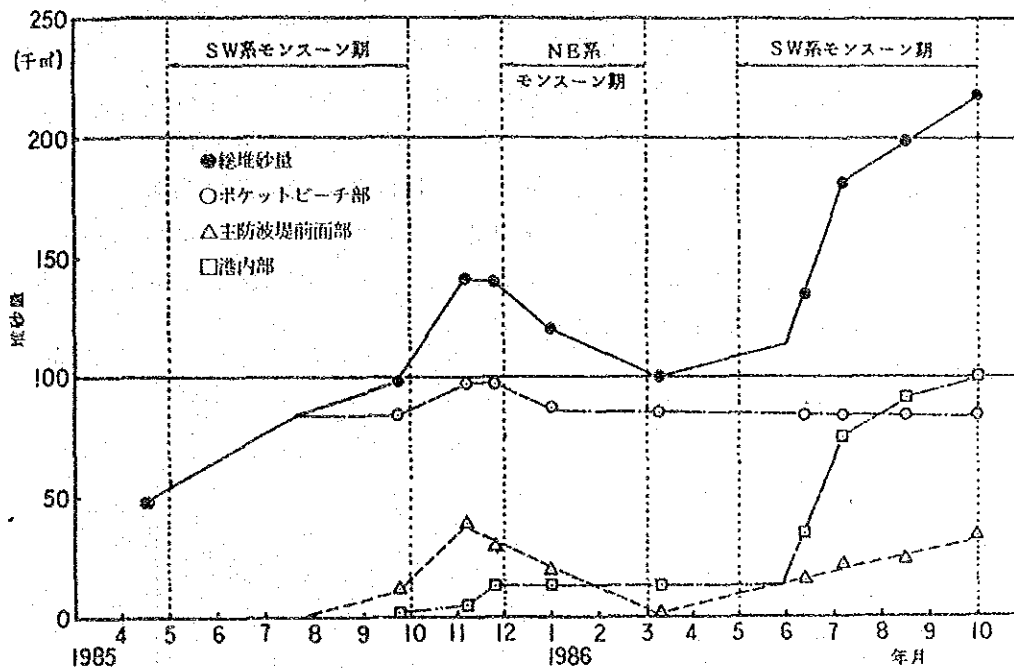


図-3.2.2 堆砂量の変化

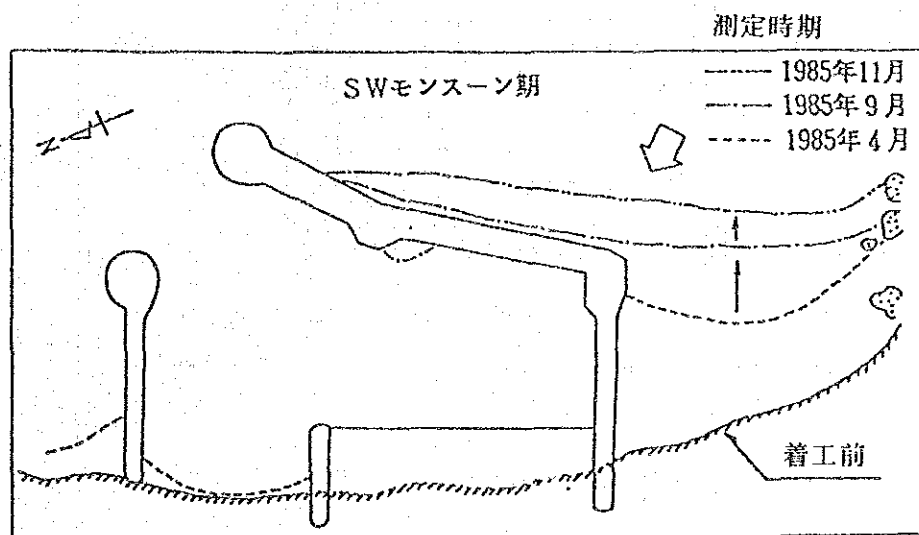


図-3.2.3 汀線変化図

SWモンスーン期における港内堆砂量については、港口からの流入砂と共に、防波堤からの越砂、透過による堆砂もかなりの量に及ぶと考えられる。

そこで、港口からの流入土量と防波堤からの越砂量、透過量の比率を検討するため、1985年4月と1986年8月の港内深浅測量結果より堆砂土量の分布を求めた。(図-3.2.4)

前述 2.2.7で述べているように、港口から侵入した土砂は、主として港口ブロックに止まっているものと見られる。一方、港奥部では港口閉塞後も堆砂は進行し、堆砂量が防波堤法線に沿ってほぼ一様であり、かつ防波堤から離れるほど少なくなることなどから主防波堤からの越砂透過砂が堆積したものと判断される。

港奥部における主防波堤単位延長当りの堆積土砂量は約 $190\text{m}^3/\text{m}$ であり、主防波堤法線方向にほぼ同程度の割合で堆積していることから、この値に主防波堤の長さ(折曲り部から堤頭までの長さ)を乗じて、主防波堤に沿った越砂量、透過量の全量を推定すると約 $47,000\text{m}^3$ となり、港口からの侵入土砂量は港内堆砂全量の $91,000\text{m}^3$ から越砂、透過土砂量を差引いて、流入差は約 $44,000\text{m}^3$ となる。したがって、港口からの流入砂と越砂・透過砂の比率はほぼ同程度と考えられる。

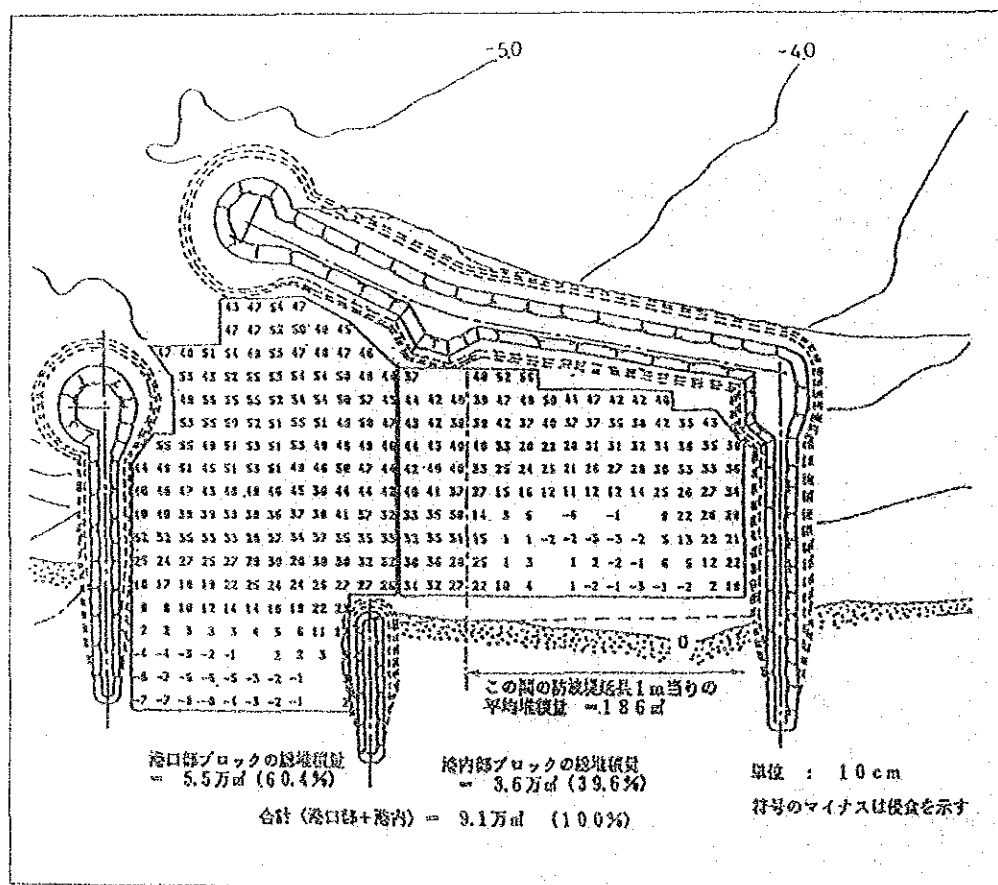


図-3.2.4 港内堆積厚分布図 (85.4~86.8)

(2) 有効性の検討

実験および数値シミュレーションの妥当性は、下記の3点で評価を行った。

- ①現地における波浪および流況の観測値と実験における波浪および流況の測定値について、S Wモンスーン期とN Eモンスーン期に分けて比較を行った。
- ②前述の埋没過程Ⅰ期、Ⅱ期、Ⅲ期に対し数値シミュレーションにより求めた堆積土量をポケットビーチ、主防波堤前面および港内の各領域で評価し、現地での堆積土量との比較を行った。
- ③水深変化モデルでは汀線変化についての評価が困難なので One-line モデルを用いて1985年4月～1985年11月までの汀線変化を追跡し、汀線の前進についての評価を行った。

3.2.2 波浪および地形条件

(1) 波浪条件

① SWモンスーン期

SWモンスーン期の代表波は沖合（水深20m地点）および沿岸域（水深5m地点）での現地観測結果（1988年5月～11月）に基づいて以下に示すものを用いた。（詳細は付属資料D参照）

- a) $H=1.80\text{m}$, $T=14\text{sec}$, $S10^\circ E$ （有義波の月最大値に相当する波浪）
- b) $H=1.25\text{m}$, $T=14\text{sec}$, $S10^\circ E$ （有義波のSWモンスーン期間中での平均値に相当する波浪）

② NEモンスーン期

NEモンスーン期の代表波は、SWモンスーン期の代表波と同様に沖合と沿岸域での現地観測結果（1988年12月～1989年2月）に基づいて設定した。ただし、2.2.4で述べているようにNEモンスーン期における風向はNNE～ENEに集中しており、風波はこの方向から来襲する。また、うねりは年間を通してS方向から来襲している。従って、NEモンスーン期はS方向からのうねりとNE方向からの風波が重合った状態と考えられる。したがってここでは、周波数スペクトルから風波とうねりの成分を分離してNEモンスーン期の代表波諸元を求めた。（詳細は付属資料D参照）

- a) $H=0.86\text{m}$, $T=6\text{sec}$, $S80^\circ E$ （風波の平均値に相当する波浪）
- b) $H=0.69\text{m}$, $T=14\text{sec}$, $S10^\circ E$ （うねりの平均値に相当する波浪）

水理実験では上記のうち風波に対応する波浪条件について実験を実施した。

うねりについては計算の過程でその効果を考慮した。

(2) 初期地形

第Ⅰ期については、1985年4月（漁港竣工時）を初期地形とし、第Ⅱ期については1986年4月の地形を用いた。

第Ⅲ期については、1988年5月の地形を初期地形とした。

3.2.3 実験および計算による再現性の検討

波浪および流況の再現実験を表-3.2.2 に示すケースについて実施した。堆砂過程の再現計算において、再現Ⅰ期('85.4~'85.11)についてはケース A-1, A-2 の結果を、再現Ⅱ期('86.3~'86.10)については、ケース AA-1, AA-2 の結果を外力として用いた。再現Ⅲ期('86.11~'87.3)については、ケース B の実験結果を計算で用いる外力項の値として用いた。

計算にあたっては 3.1.4(3) に述べているように現地での波高 1.5m 以上の波を実験波 1.8m で代表させ、現地波高 1.5m 以下の波を実験波高 1.25m の波で代表させて、各波高ランクの出現頻度を考慮した。

表-3.2.2 実験ケース一覧表 (現況再現実験)

No	ケース	波 浪			摘 要	
		波高	周期	波向		
1	A-1	1.80m	14sec	S 10° E	地形-1	1985.4 (第Ⅰ期)
2	A-2	1.25m	"	"	"	"
3	AA-1	1.80m	14sec	S 10° E	地形-2	1986.4 (第Ⅱ期)
4	AA-2	1.25m	"	"	"	"
5	B	0.86m	6sec	S 80° E	地形-3	1988.5 (第Ⅲ期)

(1) 波浪および流況の再現性

1988年5月から11月にかけて図-3.2.5 に示す位置で沖合と港口部で波浪観測が行なわれた。現地で観測された沖合と沿岸部での波高および波向の関係を図-3.2.6 に示す。3.2.2 で設定した代表波を用いて実施した水理実験における沖波と港口部位置での測定結果を図-3.2.6 中に示した。

沖合から沿岸に達する過程における波高と波向の変化は、水理実験においても現地とよく対応した結果が得られていることがわかる。

流況についても現地観測値と実験測定値の比較を行なった。SWモンスーン期における比較を図-3.2.7 に示し、NEモンスーン期における比較を図-3.2.8 に示す。また、代表的な位置における流速値の比較を表-3.2.3 に示す。

図-3.2.7 および表-3.2.3 から明らかなようにSWモンスーン期において主防波堤に沿って北東に向かう強い沿岸流は実験においてよく再現されており、100~200m沖合でも同方向の流れが存在することも現地とよく一致している。港口部付近で現地に較べて実験結果の流速が弱いのは、現地では完全に堆砂により北側海岸につながっているため沿岸流も汀線に沿って流れるが、実験では港口はまだ3m以上の水深を有しているためこの部分で流れが不連続になるためと考えられる。全体的には流れのパターン、流速値ともによく再現されている。

NEモンスーン期における現地の流況と実験値との比較を図-3.2.7 および表-3.2.3 に示す。漁港北側海岸および主防波堤からポケットビーチ前面にかけての流れのパターン、流速値ともに実験で良く再現されている。

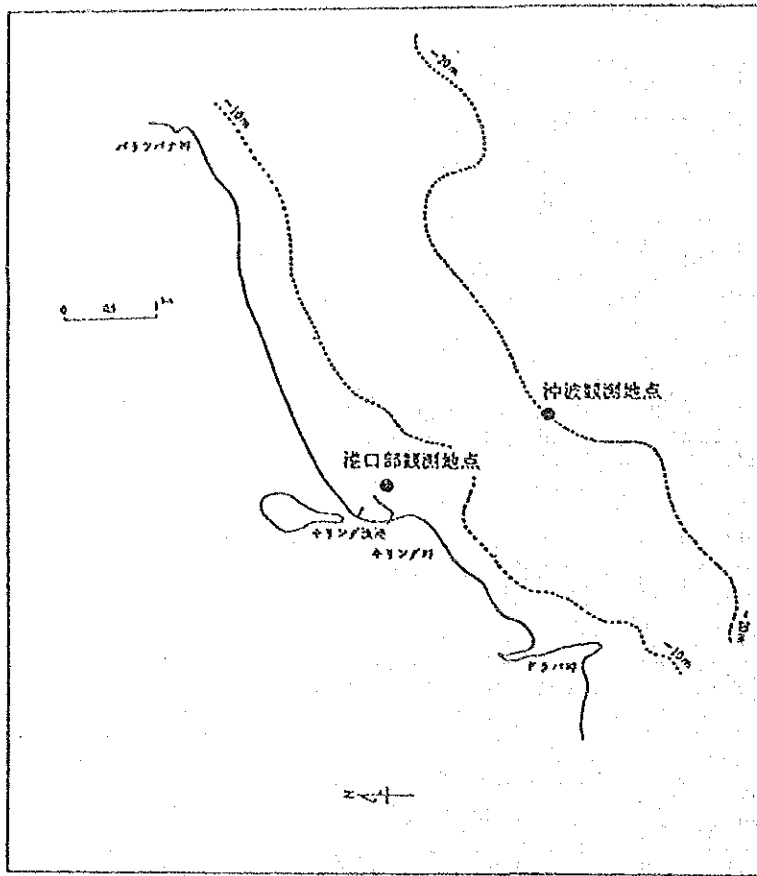


図-3.2.5 観測点位置図

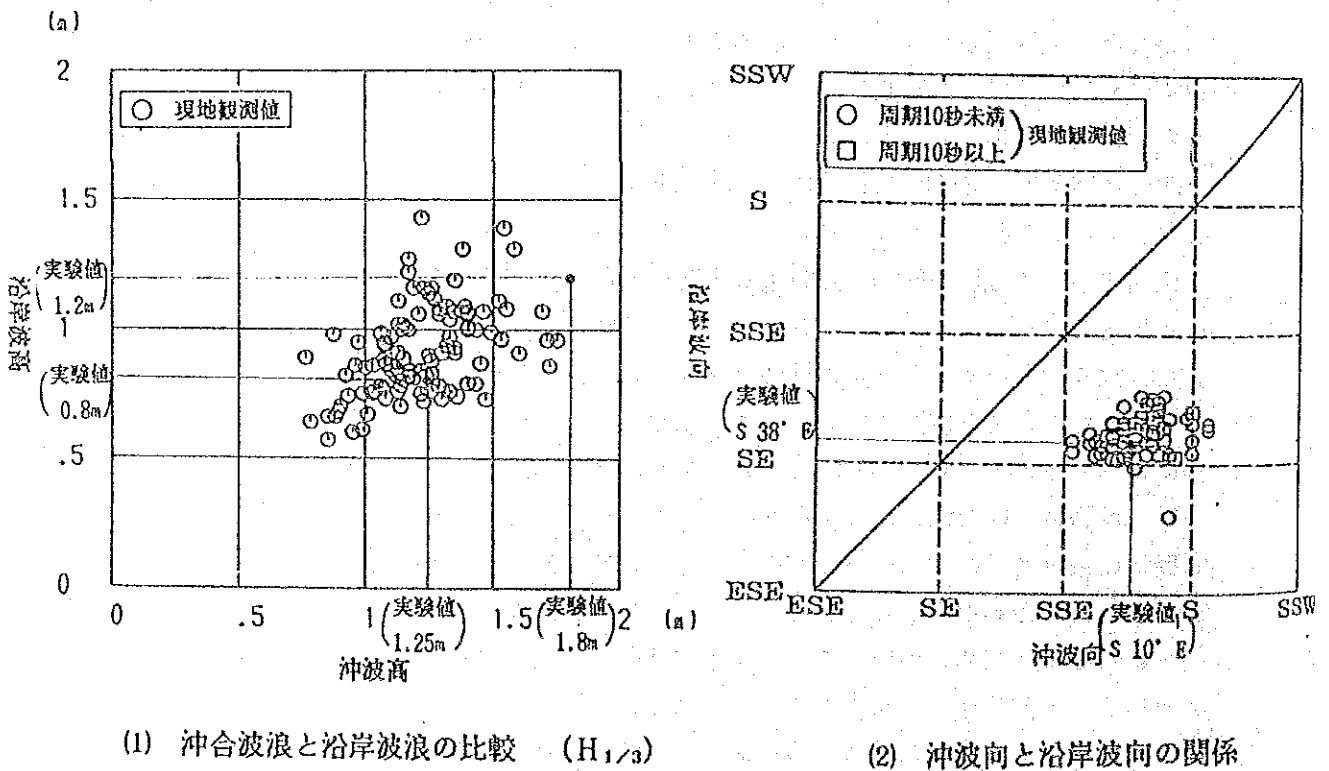
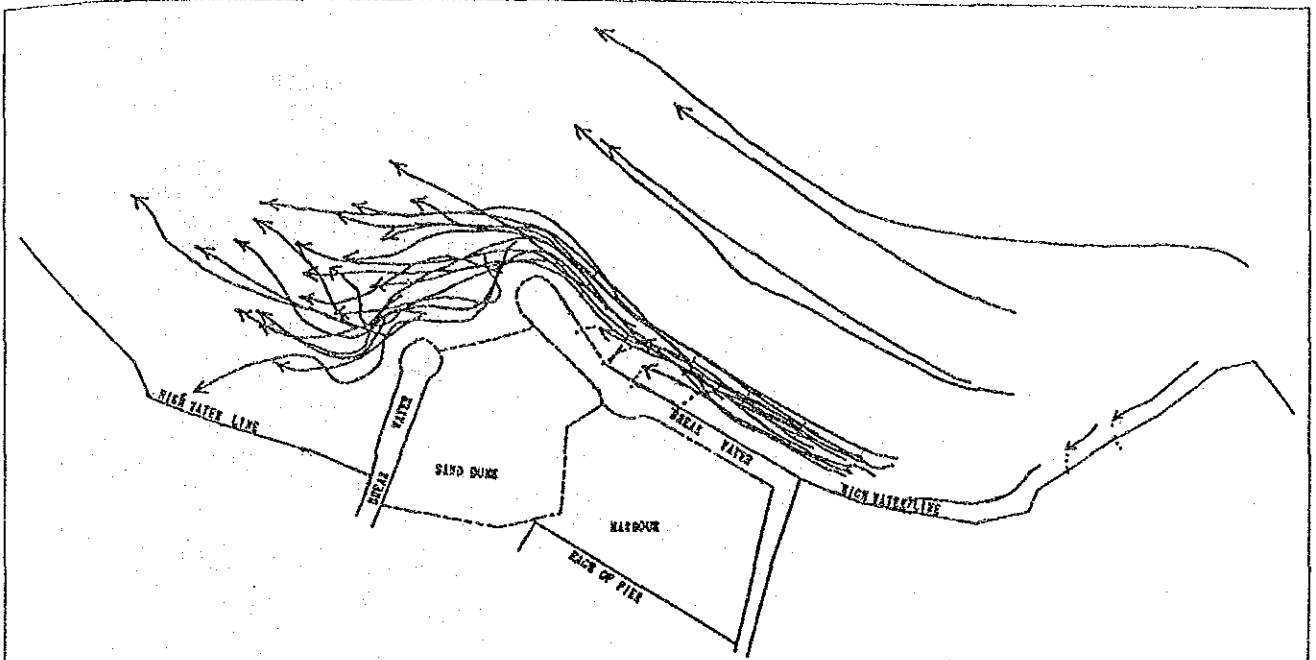


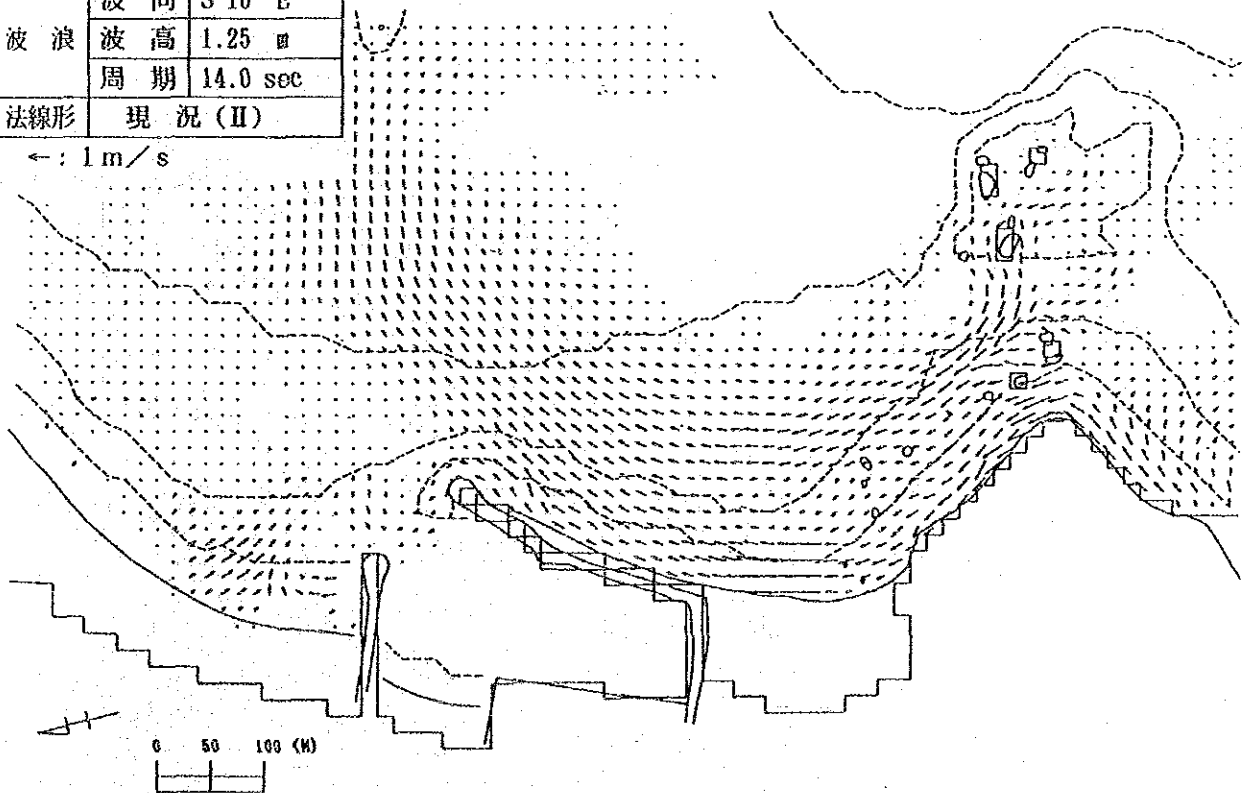
図-3.2.6 現地と実験における沖合波浪と沿岸波浪の比較



(1) ボールフロートによる現地流況図 (88' 24th Aug. ~21th Sept.)

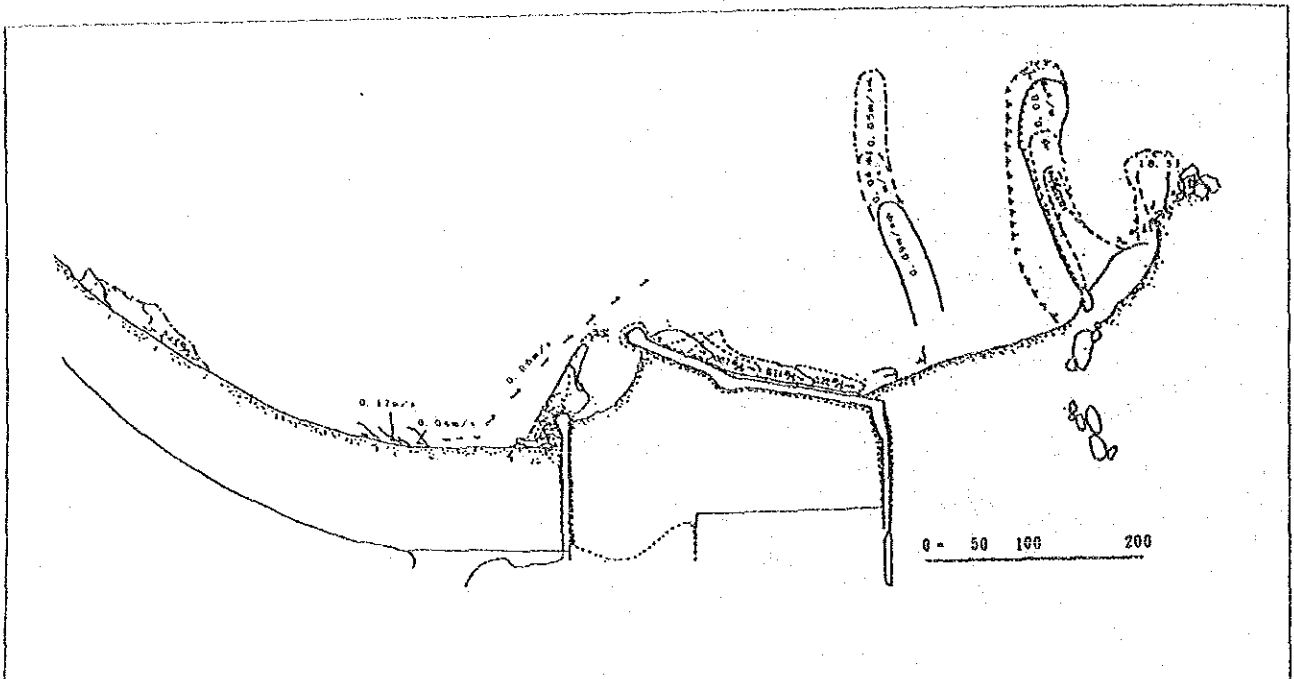
ケース	AA-2	
波浪	波向	S 10° E
	波高	1.25 m
	周期	14.0 sec
法線形	現況 (II)	

←: 1 m/s



(2) 実験における流速分布図

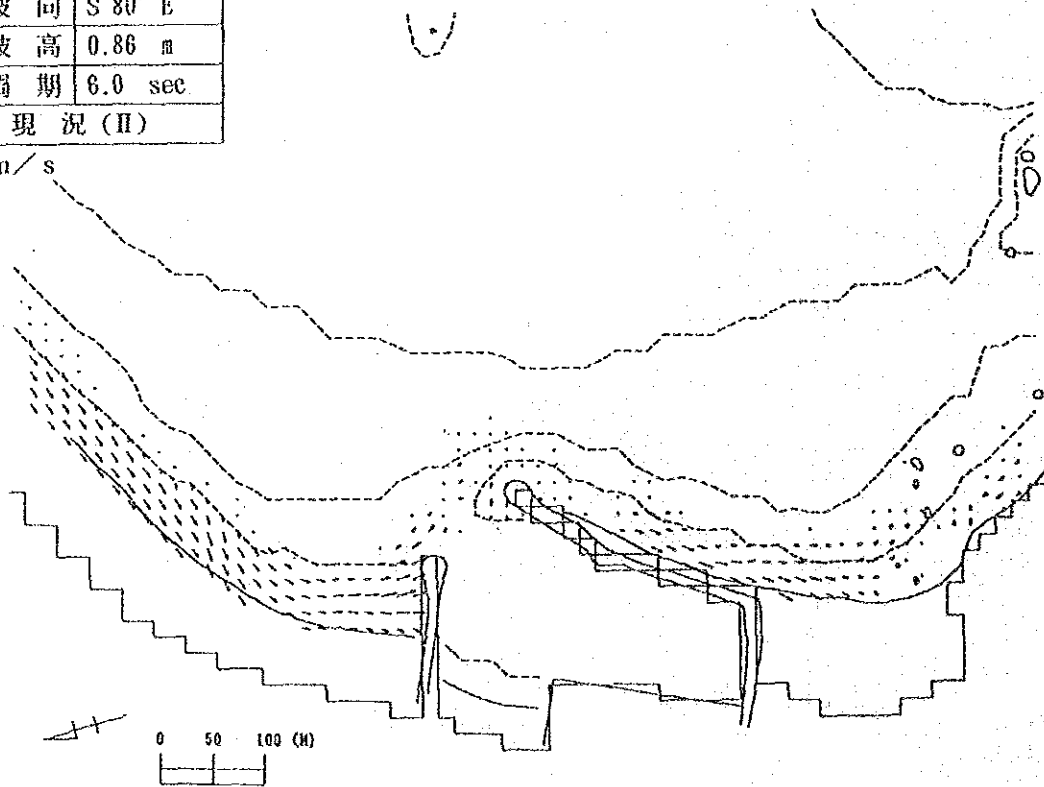
図-8.2.7 現地流況と実験値との比較 (SW モンスーン期)



(1) 染料による現地流況図 (87' 8 th Mar.)

ケース	B	
波浪	波向	S 80° E
	波高	0.86 m
	周期	6.0 sec
法線形	現況 (II)	

← : 1 m/s



(2) 実験における流速分布図

図-3.2.8 現地流況と実験値との比較 (NE モンスーン期)

表-9.2.3 現地の流況と実験値との比較

(1) SW モンスーン期
(現地の流況)

測定時期	流況 (m/sec)			波浪			
	測定位置 (フロート)			波高 (m)		周期 (sec)	
	主防波堤 前面	港口前面	東側海岸	主防波堤 沖側	沖合	沿岸	
'88 24th Aug. 9:00	0.52	0.30	—	0.16	1.23	1.16	16.0
'88 28th Aug. 15:30	0.22	—	0.15	0.14	1.26	0.88	13.6
'88 30th Aug. 16:00	0.42	—	—	0.14	1.33	0.84	13.8
'88 3th Sept. 14:00	0.46	0.50	0.30	0.07	1.25	1.14	13.6
平均値	0.41	0.40	0.23	0.13	1.27	1.01	14.3

(実験測定値)

流況 (m/sec)				波浪		
測定位置 (電磁流速計)				波高 (m)		周期 (sec)
主防波堤 前面	港口前面	東側海岸	主防波堤 沖側	沖合	沿岸	沿岸
0.36	0.25	0.21	0.20	1.25	0.87	14.0

注) 実験値は現地に換算した値を表示している。

(2) NE モンスーン期
(現地の流況)

測定時期	流況 (m/sec)		
	測定位置 (フロート)		
	主防波堤 前面	港口前面	東側海岸
'87 8th Mar. 15:00~19:00	0.07~ 0.21	—	0.17

(実験測定値)

流況 (m/sec)			波浪		
測定位置 (電磁流速計)			波高 (m)		周期 (sec)
主防波堤 前面	港口前面	東側海岸	沖合	沿岸	沿岸
0.10~ 0.29	—	0.25	0.86	0.84	6.0

注) 実験値は現地に換算した値を表示している。

(2) 領域別堆砂量の再現性

図-3.2.9 ~3.2.12に示す各領域における堆砂量の計算結果を現地実績と共に表-3.2.4に示す。

①第Ⅰ期(1985.4~1985.10)

ポケットビーチと主防波堤前面での堆砂量の合計は計算結果が72,000 m^3 現地の概算実績が88,000 m^3 である。計算による推定値は現地調査からの概算実績の約82%となっており、堆砂量の推定精度はかなり高い。

②第Ⅱ期(1986.3~1986.10)

ポケットビーチと主防波堤前面での堆砂量の合計は計算結果が37,000 m^3 現地の概算実績が32,000 m^3 であった。また、港口からの流入土砂は計算結果が10,000 m^3 であるのに対して、現地の概算実績のうち港口からの流入砂によるものと考えられるのは44,000 m^3 と推定されている。

なお、本モデルには越波・透過砂推定のアルゴリズムは含まれていないため再現されていないが、現地ではこの他に越波・透過砂による港内堆砂が47,000 m^3 と推定される。計算ではⅠ期に較べて沿岸部よりやや沖側での堆積量が増加しているが、現実には第Ⅱ期においても堆砂は沿岸部集中し、防波堤を回り込みあるいは越砂している。

③第Ⅲ期(1986.11~1987.2)

現地ではこの期間において20,000 m^3 の砂が主防波堤前面からポケットビーチ側に移動している。計算においては、12,000 m^3 の砂が現地と同様に主防波堤前面からポケットビーチ側に移動する結果が得られた。

また、計算においては漁港北側海岸からの漂砂により、港内に流入する砂が10,000 m^3 あり、副堤のすぐ北側に隣接する領域に10,000 m^3 堆砂している。

これに対して現地では、この時期に港口はほとんど閉塞していたので、港内への流入砂はほとんど無く、計算のほうがかかなり大きな値となっている。この10,000 m^3 が港口に流入せず、副堤の北側周辺に堆砂すると仮定すれば、漁港北側隣接域での堆砂量の計算値は20,000 m^3 程度となり、これに対して現地での堆砂量は90,000 m^3 弱となっている。

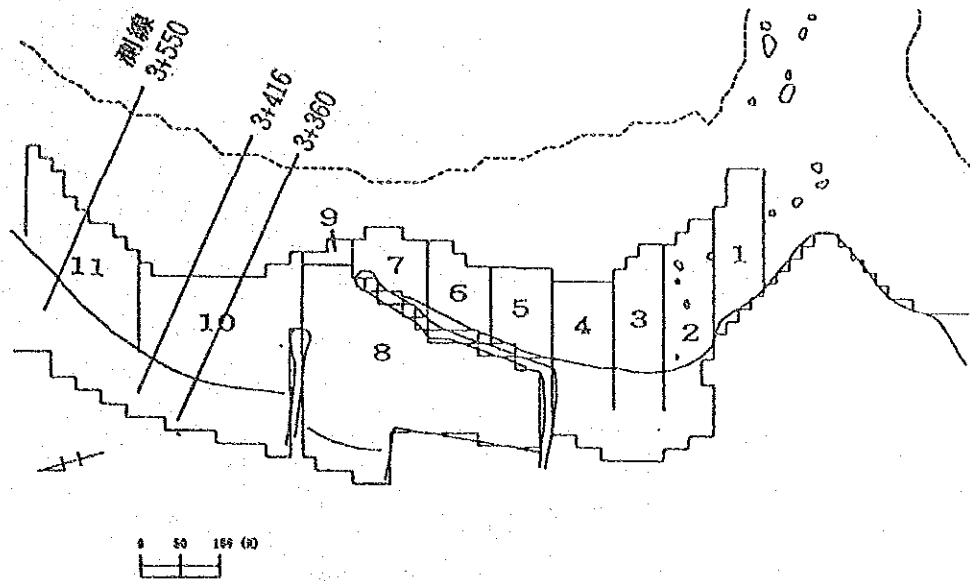


図-3.2.9 土量変化の算定領域 (現況再現)

表-3.2.4 領域別土量変化 (現況再現)

(単位: $\times 10^3 \text{ m}^3$)

領域	SWモンスーン期						NEモンスーン期		
	再現Ⅰ期 (1985.4~1985.10)			再現Ⅱ期 (1986.3~1986.10)			再現Ⅲ期 (1986.11~1987)		
	計算値	実績*		計算値	実績**		計算値	実績***	
1	5.2			12.5			2.8		
2	7.1	29.6	49.0	8.1	28.1	32.0	5.8	9.1	
3	8.2			4.5			0.5		
4	9.1			3.0			-3.7		
5	11.6			6.0			-3.0		
6	11.5	42.4	39.0	3.6	9.0	87.0	-2.8	-12.2	
7	19.3			-0.6			-2.7		
8	0	0	5.0	10.2	10.2		10.5	10.5	
9	1.1			1.2			1.5	20.0	
10	-11.4	-22.0	-	-16.9	-23.0	-	6.9		9.5
11	-11.7			-7.3			1.1		

* 実績はフォローアップ調査総合報告書 (1986年10月) による。
 ** 実績は第2回フォローアップ調査総合報告書 (1987年3月) による。
 *** 漁港北側海浜における土量変化の実績は、1988年11月と1989年3月における断面実測データのうち、計算領域に含まれて、D.L.以上の土量変化が読み取れる3測線 (3+360, 3+416, 3+550) のデータを用い推定した。3測線の位置を図-3.2.9中に示す。
 なお、D.L.以深については Hallermeier (1983) に従って、高さ2mの平行四辺形として推定した。

(参考) $D_{SH} = 2.9 H_0 / \sqrt{\rho_s / \rho - 1} - 110 H_0^2 / \{ (\rho_s / \rho - 1) g T^2 \}$
 ここに、 ρ_s 、 ρ は砂および海水の密度、 g は重力加速度、 T は周期である。

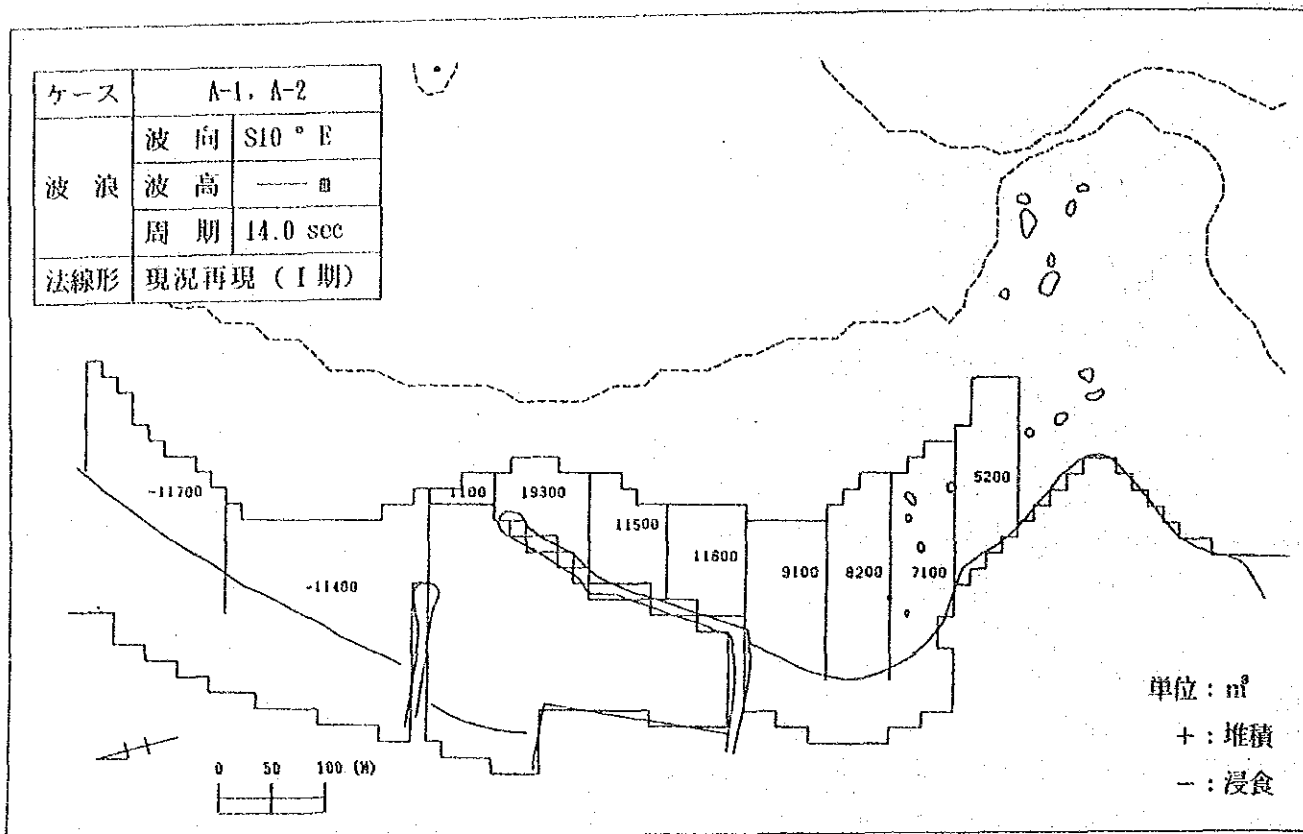


図-3.2.10 領域別土量変化 (現況再現 (I) SW, 1.8m, 1.25m, 1シーズン)

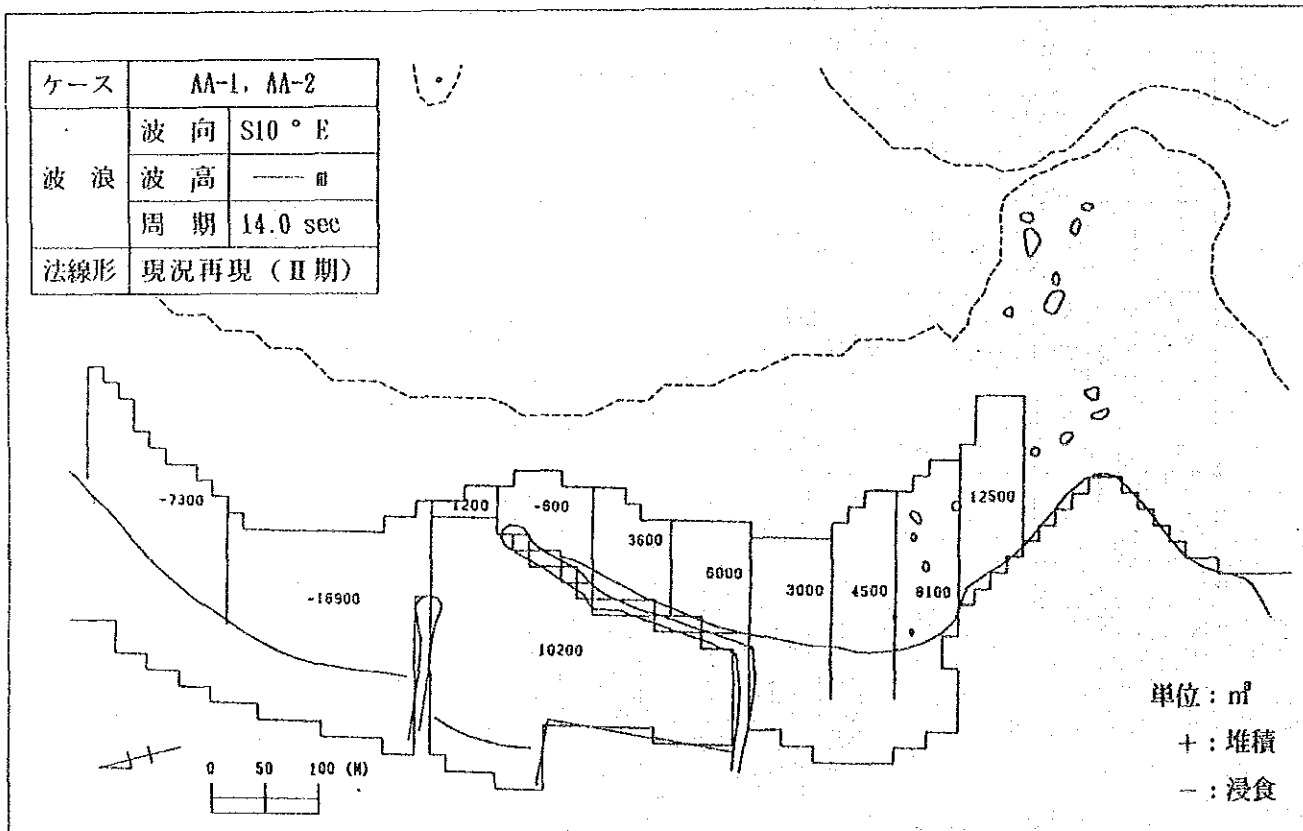


図-3.2.11 領域別土量変化 (現況再現 (II) SW, 1.8m, 1.25m, 1シーズン)

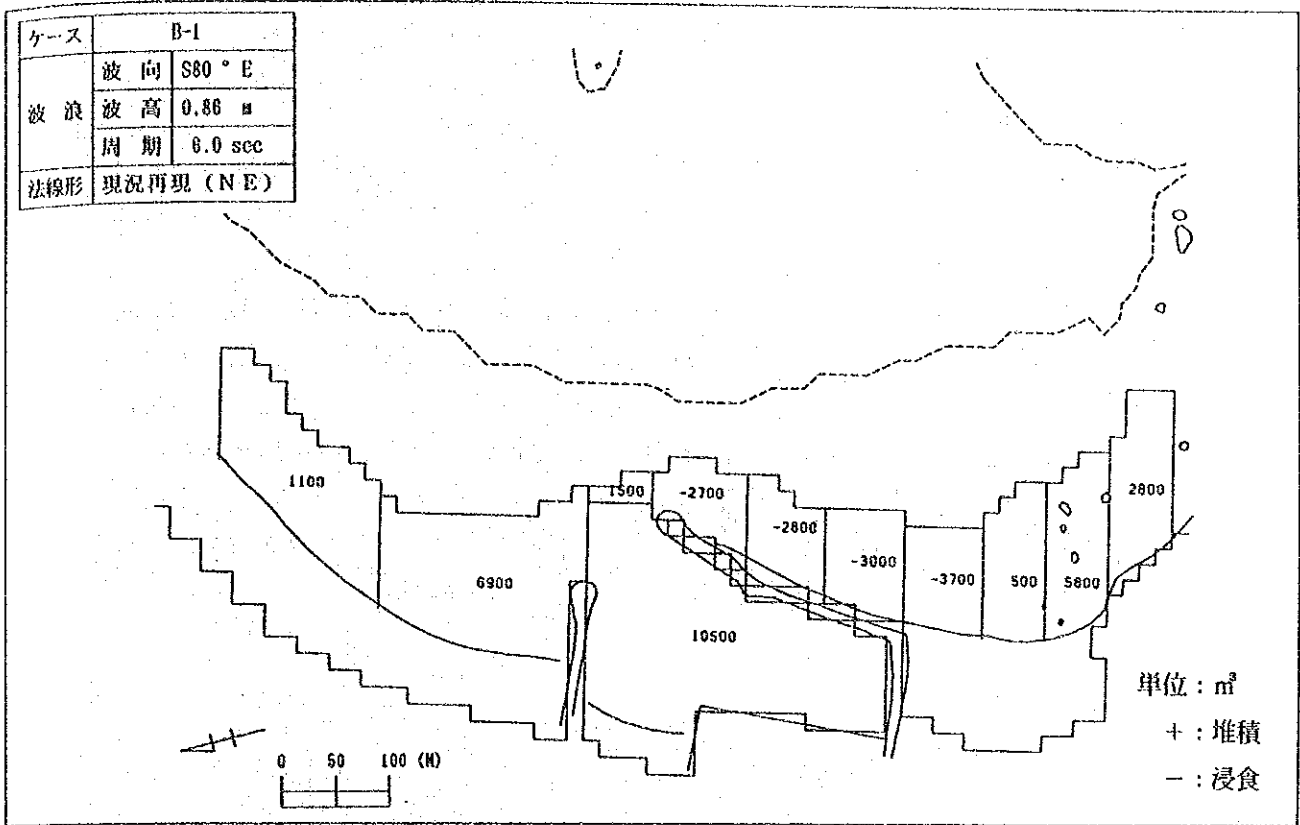


図-3.2.12 領域別土量変化 (現況再現 NE, 0.86m, 1シーズン)

(3) 汀線変化の再現性検討

図-3.2.13に示す主防波堤およびポケットビーチ前面の領域での'85.4から'85.11にかけてのSWモンスーン期(第I期)における汀線変化の再現性について1-lineモデルを用いて検討を行なった。

SWモンスーン時の平均波に近い波浪条件として、波高1m、周期14秒、波向S10°Eの波に対して波浪変形計算を行ない、砕波条件を求めるとともに水理実験結果も参考にして波高および波向分布を図-3.2.14のように設定した。また、移動高さおよびキリング岬からの供給土量は、現地における堆積土量と海浜の増加面積からそれぞれ5.6mおよび430m²/dayと設定した。

計算の結果を図-3.2.15に示す。これを見ると図-3.2.16に示した現地における汀線変化の傾向をきわめてよく再現していた。

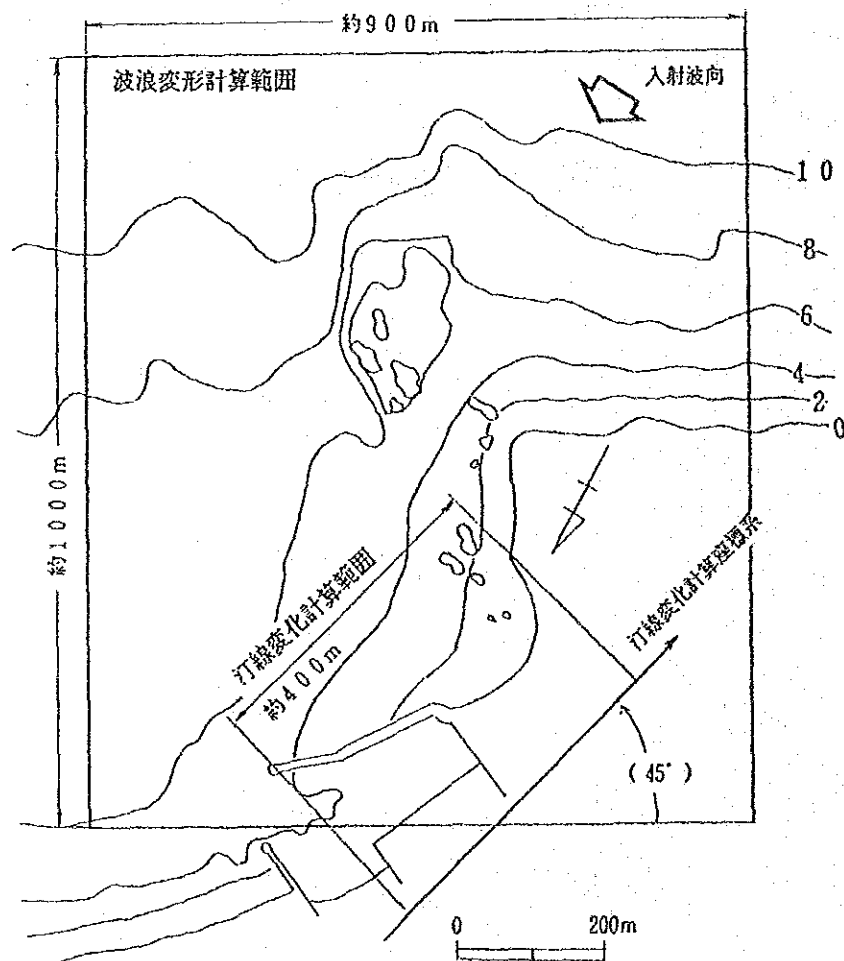


図-3.2.13 1-lineモデル計算範囲

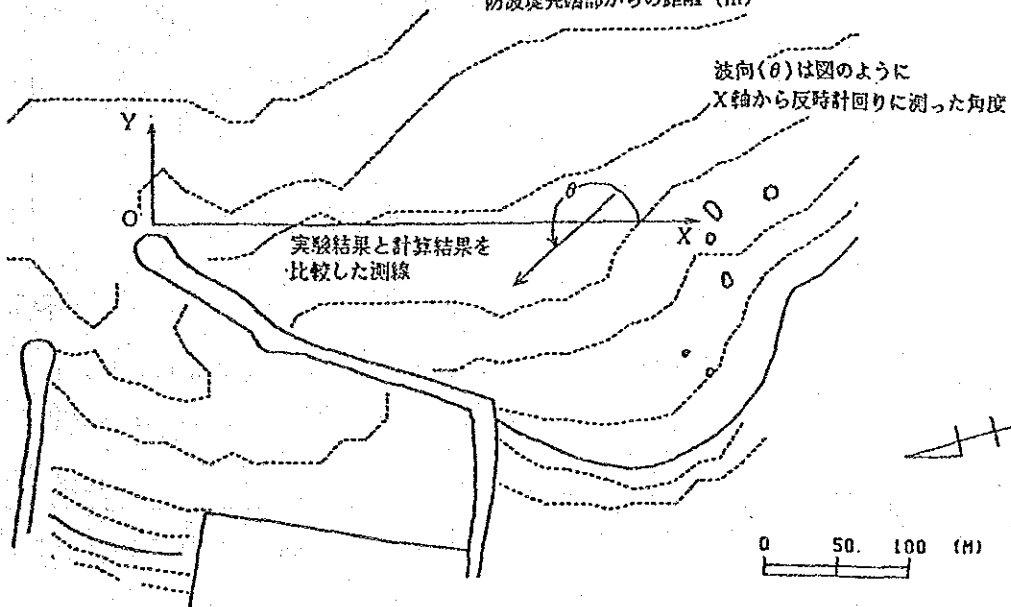
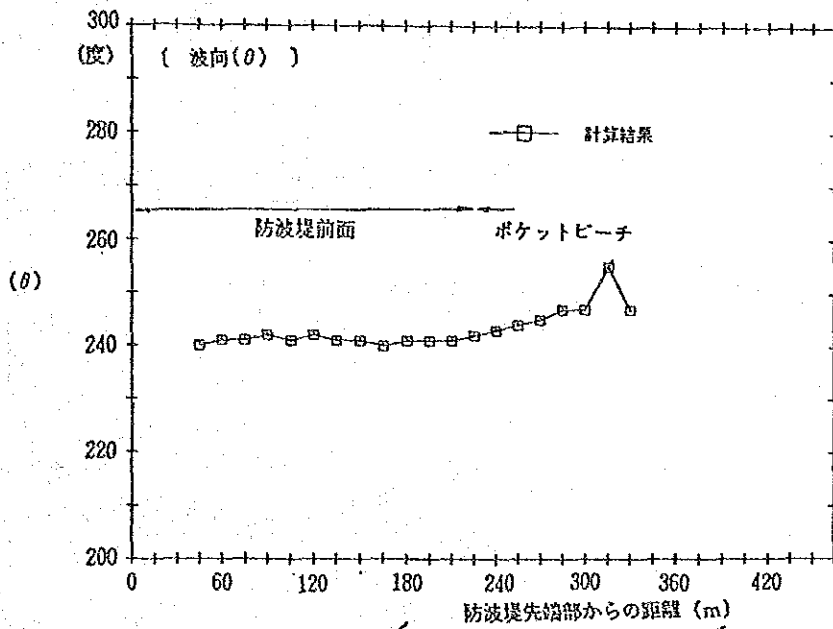
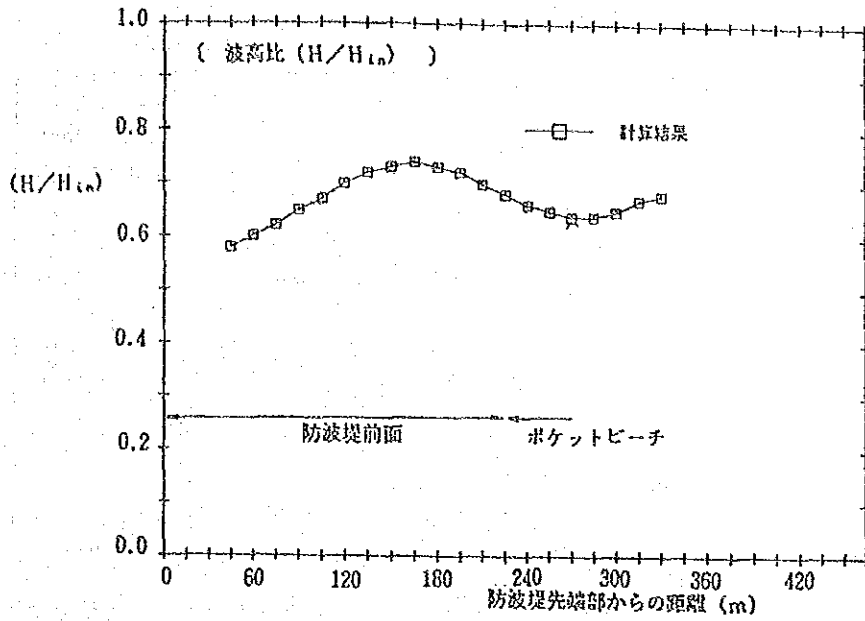


図-3.2.14 ポケットビーチ前面の波高・波向分布

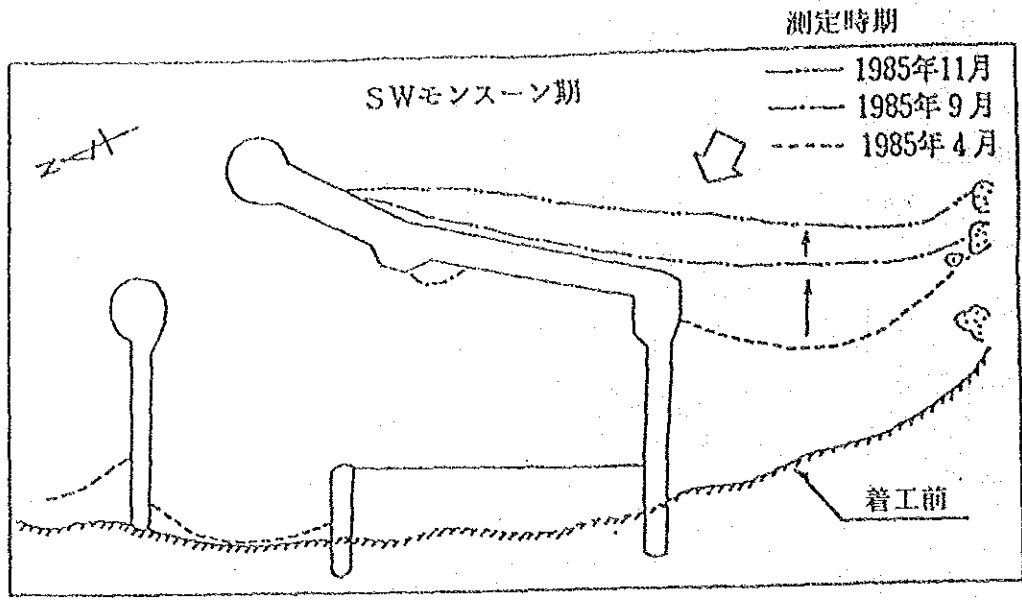


図-3.2.15 汀線変化図

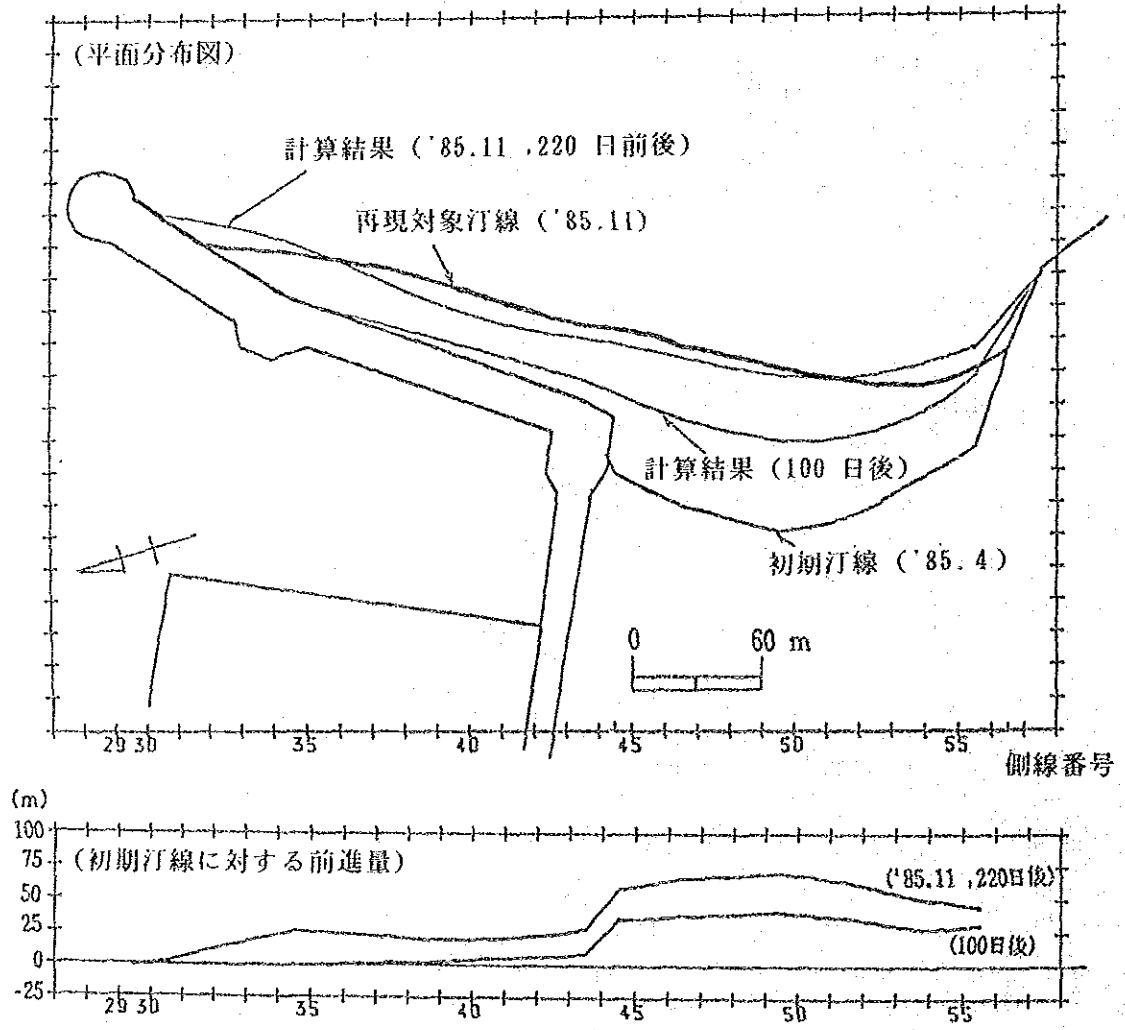
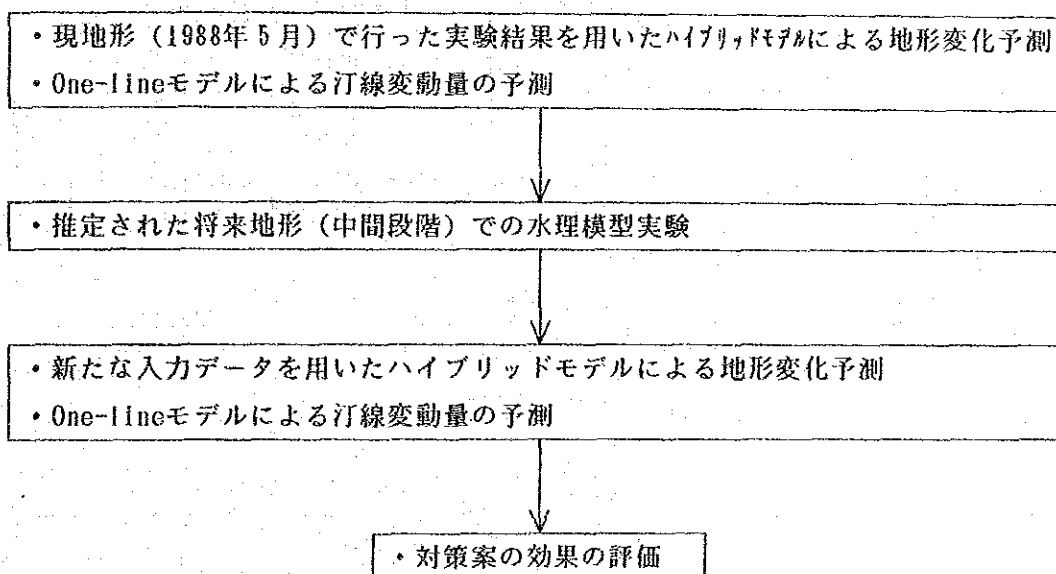


図-3.2.16 1-lineモデルによる汀線変化計算結果

3.3 検討ケース

3.3.1 対策案の効果検討手順

- ①1988年5月の地形を用いて数種の対策案について水理実験を行い、実験結果の相对比较により対策案の絞り込みを行う。
- ②現段階ではハイブリッドモデルにより一挙に長期間の地形変化予測を行なうより、途中段階での海底地形で水理実験を行い新たな外力条件を入力とした予測を行って段階的に予測を行なう方が望ましいと考えられる。従って、効果の高いと考えられる対策案については以下の手順により地形変化予測に基づく詳細な効果検討を行なうものとする。



3.3.2 ハイブリッドモデルによる検討ケース

各種対策案について、ハイブリッドモデルを用いて行った検討ケースを一覧表として、表-3.3.1 および3.3.2 に示す。

対象とした11種類の法線形については、形状と共にその法線形に期待される機能を併記し、図-3.3.1 ~ 3.3.4 に示す。また地形-IIは1988年5月の地形、地形-IIIは推定された将来地形（中間段階）を意味する。

対策案のうち、キリダ岬先端に潜堤あるいは突堤を設けることが極めて有効であり、これを除いては技術的対策を施すことが困難であると判断された。この潜堤あるいは突堤の建設の可能性については、スリ・ランカ国当局から、近隣の重要な寺院等、地元の基本的了解を取り付けることができ、また船舶航行の安全上、潜堤より突堤が望ましいとの連絡を受けた。

この結果、検討途中でキリダ岬先端に突堤を設けることに変更している。

表-3.3.1 検討ケース一覧表(1) (対策案：S W モンスーン期)

No	ケース	波 浪			法 線 ; 地 形	実験	計算
		波高	周期	波向			
1	C-1	1.80m	14sec	S10° E	法線-1(200m, 40°) 地形-II	○	○
2	C-2	"	"	"	法線-2(300m, 40°) "	○	○
3	C-3	"	"	"	法線-3(200m, 20°, 潜堤) 地形-II	○	
4	C-4	"	"	"	法線-4(200m, 40°, 潜堤) "	○	
5	C-5	"	"	"	法線-5(300m, 40°, 潜堤) "	○	
6	C-6	"	"	"	法線-6(200m, 40°, 潜堤, 副堤b), "	○	
7	C-7	1.25m	"	"	法線-6(200m, 40°, 潜堤, 副堤b), "	○	
8	C-8	1.80m	"	"	法線-7(300m, 40°, 潜堤, 副堤a), 地形-II	○	
9	C-9	1.25m	"	"	法線-7(300m, 40°, 潜堤, 副堤a), "	○	
10	C-10	1.80m	"	"	法線-8(200m, 40°, 突堤, 副堤a), 地形-II	○	
11	C-11	1.25m	"	"	法線-8(200m, 40°, 突堤, 副堤a), "	○	
12	C-12	1.80m	"	"	法線-9(200m, 40°, 突堤, 副堤c), 地形-II	○	○
13	C-13	1.25m	"	"	法線-9(200m, 40°, 突堤, 副堤c), "	○	○
14	C-14	1.80m	"	"	法線-9(200m, 40°, 突堤, 副堤c), 地形-III	○	○
15	C-15	1.25m	"	"	法線-9(200m, 40°, 突堤, 副堤c), "	○	○

表-3.3.2 検討ケース一覧表(2) (対策案：N E モンスーン期)

No	ケース	波 浪			法 線 ; 地 形	実験	計算
		波高	周期	波向			
16	D-1	0.86m	6sec	S80° E	法線-9 (200m, 40°, 突堤, 副堤c), 地形-III	○	○
17	D-2	"	"	"	法線-10(200m, 40°, 突堤, 副堤c, 防砂堤), "	○	
18	D-3	"	"	"	法線-11(200m, 40°, 突堤, 副堤d), "	○	○

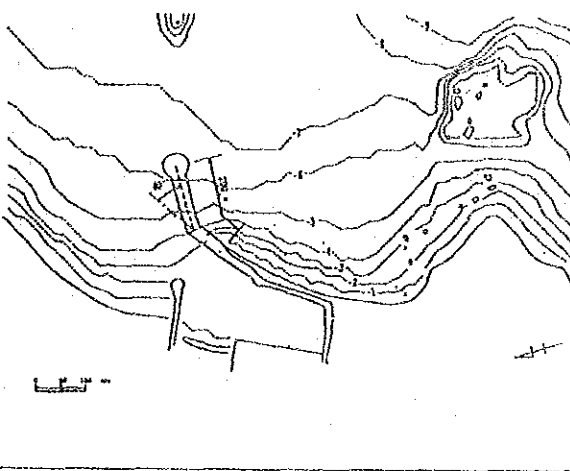
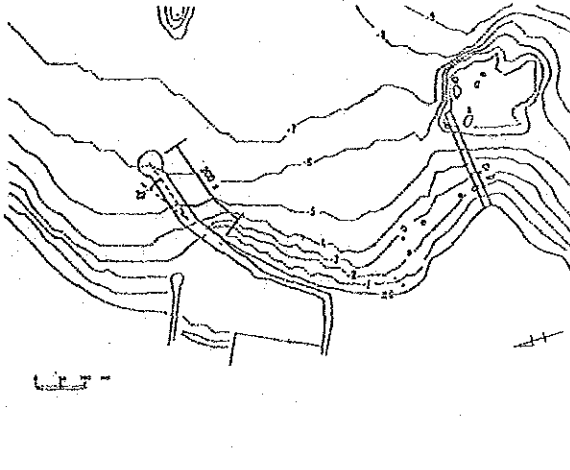
埋没対策	ねらい	法線案	法線配置
主防波堤の延長 (1:200m, 40°) (2:300m, 40°)	1) 港口を沖側へ出すことで波のフラッシュ効果を期待 2) 港内の静穏性確保 3) キリダ岬と主防波堤間の堆砂容量の増加 4) 主防波堤頭部への堆砂を抑制するような効果	1	
主防波堤の延長 (200m, 20°) + キリダ岬 潜堤設置	5) 主防波堤延長の効果に加えてSWモンスーン期にみられる南東からの沿岸に沿う流れを潜堤により大きく低減し、漁港に到達する漂砂を軽減	3	

図-3.3.1 対策案の法線配置(1)

埋没対策	ねらい	法線案	法線配置
主防波堤の延長 (200m, 40°) + キリダ脚 潜堤設置	・法線-3と同じ、ただし延長方向をより沖向きに振ることで主防波堤頭部への堆砂をより抑制する意図を持つ。	4	
主防波堤の延長 (300m, 40°) + キリダ脚 潜堤設置	・法線-4と同じ、さらに延長を長くして、1)~4)の効果の強化を図る。	5	
主防波堤の延長 (200m, 40°) + キリダ脚 潜堤設置 + 副堤b	6) 副堤の設置によりSWモンスーンに対しては副堤の設置により循環流によるシルテーションを阻止 7) NEモンスーンに対し、沿岸流による港内への漂砂流入を阻止	6	

図-3.3.2 対策案の法線配置(2)

埋没対策	ねらい	法線案	法線配置
主防波堤の延長 (300m, 40°) + キリダ岬 潜堤設置 + 副堤a	・法線-8において主防波堤の延長をさらに100m伸ばして300mとすることにより、1)~4)の効果を強化する。	7	
主防波堤の延長 (200m, 40°) + キリダ岬 突堤設置 + 副堤a	・潜堤を頭出しの突堤とし延長を伸ばして南東からの漂砂の阻止能力を強化	8	
主防波堤の延長 (200m, 40°) + キリダ岬 突堤設置 + 副堤c	8) S方向からの波浪に対し港口付近で生じる循環流を無くし、港口での堆砂を軽減すると共にNEモンスーン期における港内および港口への砂流入を軽減	9	

図-3.3.3 対策案の法線配置(3)

埋設対策	ねらい	法線番号	法線配置
主防波堤の延長 (200m, 40°) + キリダ脚突堤設置 + 副堤e および 防砂堤	・法線-9の機能に加え、NEモンスーン時に沿岸漂砂の低減	10	
主防波堤の延長 (200m, 40°) + キリダ脚突堤設置 + 副堤d	・法線-9の副堤形状バリエーションについてNEモンスーン期の波浪についての効果検討	11	

図-3.3.4 対策案の法線配置(4)

3.3.3 移動床実験による検討ケース

ハイブリッドモデルによる検討の結果、埋没対策案として極めて効果が高いと考えられる法線-9 について移動床模型実験により、表-3.3.3 に示すケースについて検討を行った。

表-3.3.3 移動床実験ケース一覧表

No	ケース	波浪条件			法線	備考
		波高	周期	波向		
1	E-1	0.86m	6sec	S 80° E	法線-9	NEモンスーン
		1.20m	"	"		
2	E-2	1.25m	14sec	S 10° E	法線-9	SWモンスーン