社会開発協力部報告書

No. 12

インドネシア共和国
バリ海岸緊急保全計画調査
要　約

平成元年3月

国際協力事業団

開二
[redacted]
89-052(2/2)

JICA LIBRARY
1074483[7]
19163

インドネシア共和国

バリ海岸緊急保全計画調査

要　　約

平成元年3月

国際協力事業団

国際協力事業団
19163

序　　文

日本国政府は、インドネシア共和国政府の要請に基づき、わが国の技術協力の一環として同国のバリ海岸緊急保全計画調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施した。

当事業団は、昭和63年２月１日より７月15日まで株式会社アイ・エヌ・エー新土木研究所三枝富士男氏を団長とする調査団を現地に派遣した。

調査団は、インドネシア共和国政府関係者と協議を行うと共に、現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が本プロジェクトの実施の促進に寄与するとともに、日・イ両国間の友好関係の発展に役立つことを心から願うものである。

終りに、本調査団に御協力と御支援をいただいた両国の関係者各位に対し心より感謝の意を表するものである。

平成元年３月

国際協力事業団
総裁　柳谷謙介

バリ海岸緊急保全計画調査団

伝　達　状

平成元年３月

国際協力事業団
総裁　柳谷謙介殿

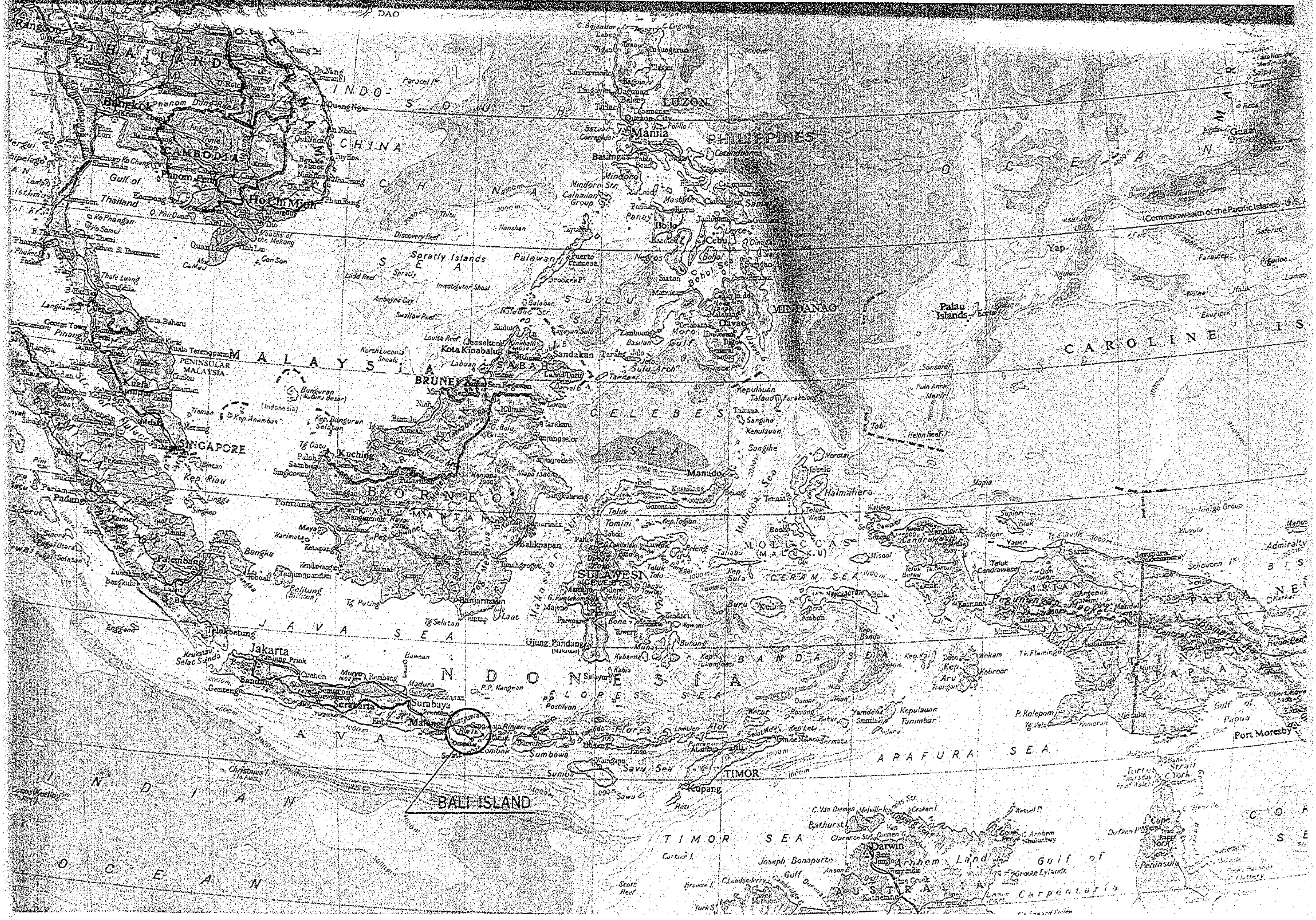
インドネシア共和国バリ海岸緊急保全計画調査の最終報告書を提出致します。本報告書は、昭和63年１月29日及び平成元年３月６日の２回にわたる国際協力事業団とバリ海岸緊急保全計画調査共同企業体（構成員：（株）アイ・エヌ・エー新土木研究所、（株）パシフィック・コンサルタンツ・インターナショナル）の間で締結された契約に基づいて結成された調査団によって、作成されました。

調査団は、合計３回の自然条件調査を含む資料収集のための現地調査を実施しました。本報告書には現地調査の結果を整理、解析して策定したバリ海岸緊急保全計画とフィージビリティ調査の検討結果が述べられています。

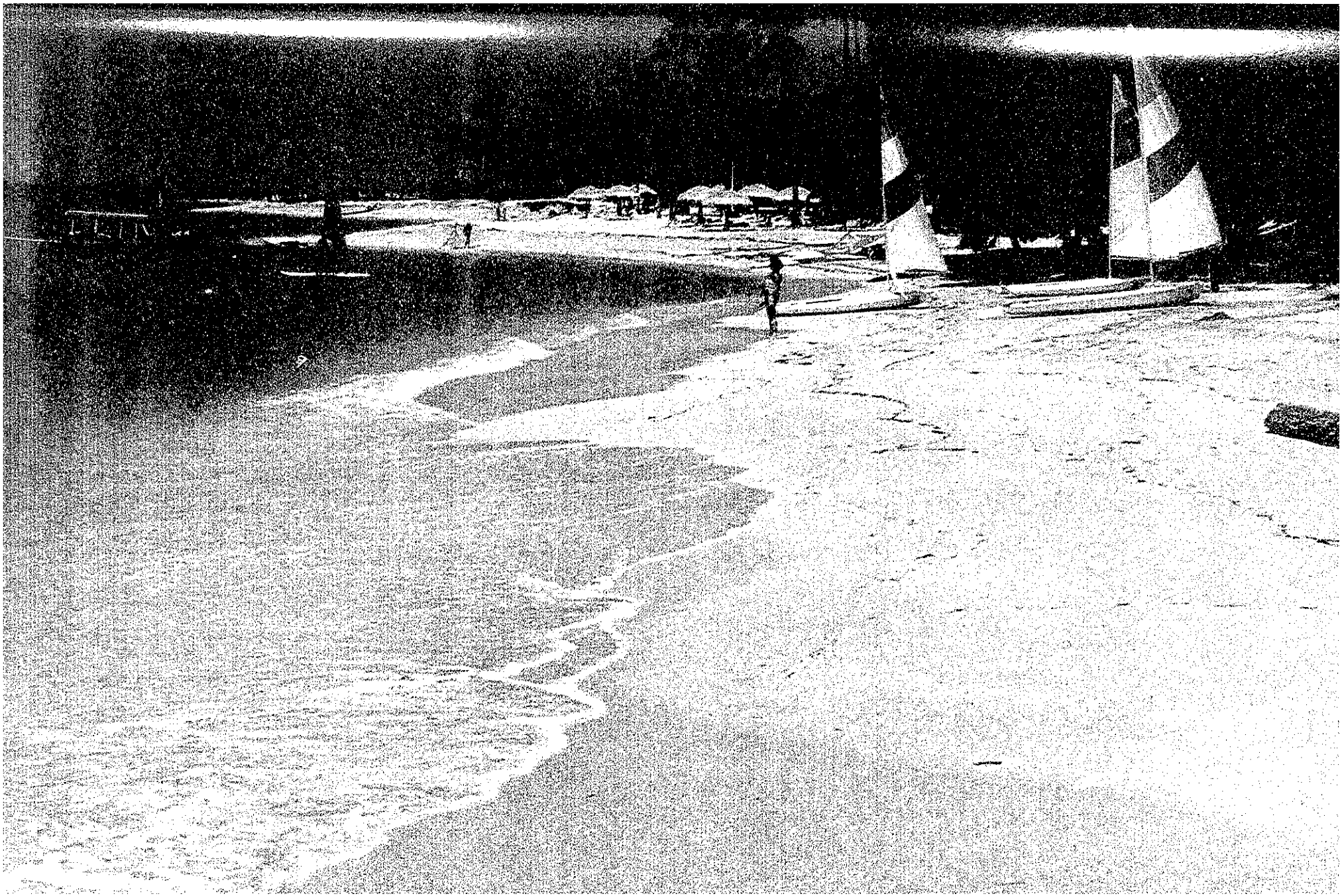
報告書は、要約、主報告書、付属報告書及び資料集に文冊されております。要約は、調査結果全体を簡潔にまとめ、主報告書には、調査の背景、状況、海岸緊急保全計画、事業計画ならびに提言を記述しております。附属報告書には、計画策定に用いた水理学的検討結果などの詳細を記述しております。さらに、資料集も併せて作成致しております。

本報告書を提出するにあたり、全調査期間に亘り、多大なご支援を賜った貴事業団、作業監理委員会、外務省、建設省、在インドネシア日本大使館の諸賢ならびにインドネシア政府諸機関の関係各位に対し、心から感謝の意を表するとともに、本調査の成果がインドネシア共和国の社会開発及び経済発展に寄与することを希望する次第であります。

調査団長
三　枝　富士男



BALI ISLAND
THAILAND
CAMBODIA
Bangkok
Phnom Penh
Ho Chi Minh
Gulf of Thailand
SOUTH CHINA SEA
MALAYSIA
PENINSULAR MALAYSIA
SINGAPORE
BRUNEI
Kuching
Kota Kinabalu
Sandakan
BORNEO
KALIMANTAN
SULAWESI
CELEBES SEA
SULU SEA
PHILIPPINES
LUZON
Manila
MINDANAO
Davao
Palawan
Spratly Islands
Palau Islands
Yap
CAROLINE IS
Guam
MOLUCCAS
CERAM SEA
BANDA SEA
Halmahera
Manado
INDONESIA
JAVA SEA
FLORES SEA
JAVA
Jakarta
Surabaya
Surakarta
Sumbawa
Lombok
Flores
TIMOR
Kupang
Savu Sea
ARAFURA SEA
TIMOR SEA
Darwin
Arnhem Land
Gulf of Carpentaria
AUSTRALIA
Cape York Peninsula
PAPUA
IRIAN JAYA
Port Moresby
Gulf of Papua
Palembang
Padang
Bangka
Balikpapan
Banjarmasin
Ujung Pandang
INDIAN OCEAN



外 貨 交 換 レ ー ト

1 ドル＝1,600ルピア

1 ドル＝130円

略語一覧

B／C	Benefit-Cost Ratio
BTDC	Bali Tourism Development Corporation
CIF	Cost, Insurance and Freight
DL	Datum line
DGWRD	Directorate General of Water Resources Development
DOR	Directorate of Rivers
DPU	Ministry of Public Works
GDP	Gross Domestic Product
GRDP	Gross Regional Domestic Product
h	Water Depth
H	Wave Height
H_o	Offshore Wave Height
$H_{1/3}$	Significant Wave Height
IHE	Institute of Hydraulic Engineering
IRR	Internal Rate of Return
JICA	Japan International Cooperation Agency
MHW	Mean High Water
MHWN	Mean High Water Neaps
MHWS	Mean High Water Springs
ML	Mean Sea Level
MLW	Mean Low Water
MLWN	Mean Low Water Neaps
MLWS	Mean Low Water Springs
MSL	Mean Sea Level
NPV	Net Present Value
Rp	Rupiah
T	Wave Period
T_o	Offshore Wave Period
$T_{1/3}$	Significant Wave Period
VAT	Value Added Tax
$	US Dollar
¥	Japanese Yen

目　　次

調 査 概 要

第1章　社会的・経済的背景 …… 1

第2章　自 然 条 件 …… 4

第3章　調査地域の概況 …… 18

第4章　海岸侵食の原因 …… 33

第5章　計画案の水理的検討 …… 36

第6章　緊急保全計画 …… 42

第7章　設計・施工計画及び概算工費 …… 57

第8章　経 済 分 析 …… 66

第9章　海 岸 行 政 …… 69

第10章　環境への影響 …… 72

第11章　結論及び勧告 …… 83

調 査 概 要

調 査 概 要

1. 調査の背景

インドネシアは大小約13,700の島々から成る四面海に囲まれた国であり、その南北は赤道を挟み北緯6°～南緯12°にわたり約 2,000km、その東西は東経95°～ 140°にわたり約 5,000kmに及ぶ。その陸域は約 190万km²の面積を有し、 216の山、 221の大河と18の大湖を有する。行政上、インドネシアは27の州からなり、その下に 246のKabupaten と呼ばれる県と54のKotamadya と呼ばれる市が設置されている。13,700余の島々の内、無名の島が半分以上を占めており、人が居住しているのは7％の島にすぎない。

バリ島は27州のうちの1州であり、神話に満ちたインドネシアの代表的観光地である。バリ州は国土の0.29％の面積しかないが、インドネシア全人口の約2％の人々が生活している。バリ島には多くの観光地があるが、海浜（ビーチ）はそのうち最も人気のある地域である。毎年、世界中からバリを訪れる観光客は多く、バリ及び国家経済にとって、観光産業は最も重要な役割を果たしている。観光産業は雇用を発生し、外貨獲得の手段として高い評価を得ており、政府も観光産業促進の政策を種々計画している。

一方、インドネシアの国土は海に囲まれており、基本的に波浪による侵食災害を受け易く、近年はとみに至る所で海岸侵食が進んでいる。現時点で侵食を受けている地区は、数10箇所に及んでいる。特に、バリ島では海岸沿いの高度に開発された地域や人家の多い地区に侵食が顕在化している。

このような状況に鑑み、インドネシア国政府は日本国政府に対して、国土保全と経済的発展の基盤として海岸を整備すべく同国のバリ海岸緊急保全計画調査の実施と技術協力を要請した。

日本国政府は、この要請を受けて調査の実施を決定、1987年10月18日から30日まで事前調査団を現地へ派遣した。

同調査団は、プロジェクトの内容についてインドネシア共和国公共事業省関係者と一連の協議を行ない、1987年10月28日事前調査団長、谷本修志氏と同省大臣補佐官Putra Duarsa氏との間で調査の範囲についての合意を得た。

2. 調査目的および対象地域

調査の目的は以下に示す通りである。

(1) 調査対象地域における海岸緊急保全計画の策定

(2) 海岸緊急保全計画のフィージビリティ調査の実施

(3) 上記調査を通じてのインドネシア国政府のカウンターパートへの技術移転

調査対象域はバリ島の南部に位置する州都デンパサールに近いサヌール・ビーチ、ヌサドゥア・ビーチ、クタ・ビーチとタナロット海岸である。デンパサールからサヌール・ビーチは南東へ6㎞、ヌサドゥア・ビーチは南へ16㎞、クタ・ビーチは南西へ9㎞、タナロットは西へ15㎞離れた地域である。これらの調査地域とデンパサール間は良好な舗装道路で結ばれている。観光客の80%以上が訪れるサヌールとクタ・ビーチ、さらに40%以上が訪れるヌサドゥア・ビーチでは、海岸線の数㎞にわたって侵食が発生している。

ヒンズー教の貴重な文化遺産であるタナロット寺院が建立されている海崖は、近い将来、波浪による侵食によって崩壊し喪失しそうな危機的様相を呈している。

3. 調査実施体制

インドネシア国政府側の調査実施機関は、公共事業省の水資源総局が担当し、日本国政府の技術協力の実施機関として、国際協力事業団がその任に当たった。

調査は1988年2月から1989年3月までの期間に行われ、以下に示す作業監理委員会の監理指導の下で、調査団により実施された。

インドネシア国政府関係者も付記する。

(1) 調　査　団

団　長	三　枝　富士男	(総　　括)
団　員	佐久間　襄	(海岸計画)
	後　藤　和　博	(施設計画)
	鵜　木　和　夫	(海象観測)
	柴　田　正　和	(海象解析)
	桜　木　弘	(模型実験)
	山　田　俊　夫	(施設設計)
	海老原　純　次	(施工積算)
	寺　津　陽　次	(地　　質)
	岡　田　伸　司	(海象測定)
	小　島　昭　久	(経済財務)
	磯　田　統	(環　　境)
	高　松　邦　明	(測　　量)

(2) 作業監理委員会

委員長	谷　本　修　志	建設省土木研究所次長
委　員	宇　田　高　明	建設省土木研究所海岸研究室長
委　員	芦　田　義　則	建設省河川局海岸課長補佐

(3) インドネシア国政府

Ir. Putra Duarsa	：公共事業省、総括監察官
Ir. Soebandi Wirosumarto	：水資源総局、局長
Ir. Kusdaryono	：公共事業省、大臣補佐官
Ir. Hartono Pramudo	：水資源総局、河川局長
Ir. Amir Muryadi	：CIMANUK Project 所長 （前、河川局計画部、部長）
Ir. Siswoko	：河川局計画部、部長
Ir. Soetrisno	：河川局防災部、部長
Ir. Sarwono Sukardi	：河川局計画課、課長
Ir. C.L. Sumartono	：河川局侵食対策課、課長
Ir. M. Yahya	：水工研究所
Ir. Soeroto Martomidjojo	：公共事業省、バリ地方建設局、局長

(4) 河川局カウンターパートとローカルエンジニア

Ir. I Ketut Kaler, M. Eng	：総　　括
Ir. I Made Subagia	：総　　括
Ir. Kardana	：海岸計画
Ir. Gde Adi Suarsajaya	：海岸計画
Ir. Sarwono Sukardi	：施設計画
Ir. I Ketut Suwandi	：施設計画
I Wayan Mundra, BE	：海象観測
Ir. Syamsudin, Dipl. HE	：模型実験
Ir. Tjokorda B. Budiana	：海象解析
Ir. Titanata	：施設設計
Ir. I Gst. Ngr. Anom Artawan	：施設設計
Sobirin, BE	：施工計画
I Ketut Netera. BE	：積　　算
Ir. C.L. Soemartono	：地　　質
Ir. Modesta Tandiayuk	：地　　質
Eddy Aristiyanto, BE	：地　　質
Subandi, BIE	：海象測定
Endang, BE	：海象測定
Drs. I Nyoman Padma	：経済分析

4. 報告書の構成

報告書はサマリーレポート、メインレポート、サポーティングレポート、データブックの4分冊より構成されている。

サマリーレポートには調査結果全体の概要が述べられている。メインレポートには調査の基礎的な情報、水理学的検討結果、海岸保全緊急計画、設計・施工計画、経済分析、海岸行政、環境への影響評価が記述されている。最後の第11章では、提言について述べられている。

サポーティングレポートには、計画の水理学的検討に関するコンピューター・シミュレーションの結果と関連する海象観測の資料が含まれている。

データブックには、地質調査に関する次の項目が含まれている。

Ⅰ：底質試験

Ⅱ：地質調査と一軸圧縮強度試験

Ⅲ：施工材料試験

5. 謝　辞

調査団は、1988年2月から3回に亘り，インドネシア政府関係者、カウンターパートと協力して、資料収集、地形測量、深浅測量、海象観測、地質調査、環境調査等の現地調査を実施するとともに意見を交換し、海岸侵食の現状と対策について相互の理解を深めた。調査団は、その間インドネシア政府関係者、カウンターパート各位から寄せられた多大な御協力、御支援に対し心から感謝の意を表します。

調査団は、又、全調査期間を通じて有効な御教示、御援助を頂いた外務省、建設省、在インドネシア日本大使館、その他関係諸機関の各位に厚くお礼申し上げます。

要　　約

第１章　社会的・経済的背景

1. 人　　口

人口に係わる諸データを表1-2-1 に示す。バリ州の年平均人口増加率は1982年以降1.08％であり、インドネシア全国平均値よりかなり低い値である。これは、バリ島への流入人口よりも流出人口のほうが多いことによる。バリ島の人口予測が表1-2-2 に示されている。これによれば、1990年には 2,866,000人、2000年には 3,303,000人に達する見込みである。

2. ＧＲＤＰ (Gross Regional Domestic Product)

ＧＲＤＰを表 1-3-1にまとめた。バリ州においては、２つの産業がバリの地域総生産に大きく寄与している。農業はそのうち最も支配的な産業であり、1983年以降はわずかに減少傾向にあるが、1985年には39.8％を占めている。山麓地帯の大部分は水田であり、バリ経済に対する農業の占める割合は1984年時点で全国平均の25％を越えている。

ＧＲＤＰの第２位は貿易、ホテル及びレストラン産業である。この部門は1983年に14.1％を占めていたが年々増加し、1985年には地域総生産の15.6％を占めるに至った。この占有率の上昇は国外からの観光客の増加によるものである。

さらに、観光産業と輸送、通信、サービス業とは密接に係わっており、貿易、ホテル及びレストラン業で代表される観光産業は、実際には表の数字以上に多くの貢献を果たしている。従って、観光産業はバリ経済にとって重要な地位を占めていることは明白と言えよう。

3. 観 光 産 業

1986年及び1987年には、観光産業の成長率は２桁の伸びを示した。国家総輸出収益の面から見ても、観光収益は第６位に位置する重要部門となっている。しかも、その多くはバリ州からの収益であり、外国人観光客のデータから判断すると、少なくとも30％はバリ観光によるものである。経済的不況にある現状からも、当観光産業は外貨獲得に重要な役割を果たさねばならない。

外貨を獲得し地域住民の雇用機会を確保するためにも、観光産業を確実に発展させなければならない。このような意味において、直面する最もむずかしい問題は、バリ島に発生している海岸侵食問題と言えよう。

表 1-2-1　人口、人口密度、世帯数、1986年バリ

Regency	Area ('000 km²)	Population ('000 persons)	Density (persons per km²)	Number of Households	Average No. of Members of Household
1. Jembrama	842	205.7	244	43.2	4.8
2. Tabanan	389	347.4	414	70.7	4.9
3. Badung	543	550.6	1,015	99.9	5.5
4. Gianyar	368	317.3	865	59.6	5.3
5. Klungkung	315	157.9	489	28.9	5.3
6. Bangli	521	169.7	326	34.8	4.9
7. Karangasem	840	338.4	403	69.9	4.8
8. Buleleng	1,366	517.4	379	110.1	4.7
Total					
1986		2,660.4	462	517.1	5.0
1985		2,558.5	454	508.8	5.0
1984		2,528.6	449	495.5	5.1
1983		2,502.2	444	488.1	5.1
1982		2,491.0	442	487.0	5.1

Source: Statistical Year Book of Bali, 1986

表 1-2-2　人口推計、1980～2000年、バリ

('000 persons)

	1980	1985	1990	1995	2000
0 - 14	956.4	916.8	937.6	917.8	1,022.2
15 - 54	1,263.7	1,460.4	1,647.9	1,793.8	1,907.4
55 -	241.5	284.0	280.5	322.3	373.7
Total	2,479.4	2,658.5	2,866.0	3,087.9	3,303.3
Growth Rate (% per annum)	1.40%	1.51%	1.50%	1.36%	

Source: Statistical Year Book of Bali, 1986
(Statistical Office of Bali Province)

表 1-3-1　GRDP、バリ

(in 1983 Constant Prices)

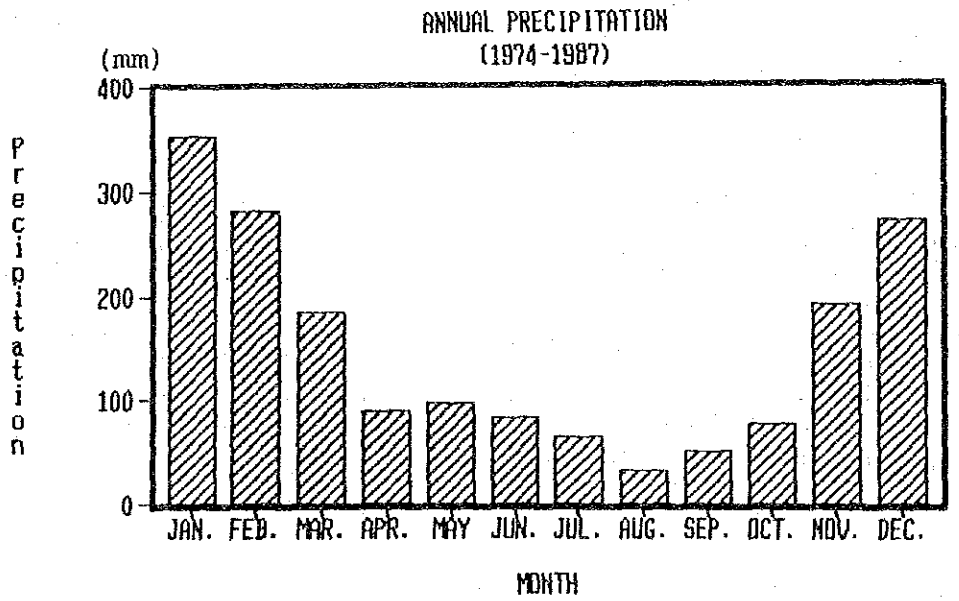
	GDP (Mil. Rp.)			Share (%)		
	1983	1984	1985	1983	1984	1985
1. Agriculture	390,268	427,110	423,440	43.3	43.2	39.8
2. Quarrying	5,907	4,497	4,227	0.7	0.5	0.4
3. Manufacturing	38,993	41,869	48,939	4.3	4.2	4.6
4. Electricity and Water Supply	6,748	7,239	10,160	0.8	0.7	1.0
5. Construction	61,714	62,374	64,196	6.9	6.3	6.0
6. Trade, Hotels and Restaurants	126,911	147,316	166,482	14.1	14.9	15.6
7. Transportation and Communication	83,716	93,397	101,329	9.3	9.5	9.5
8. Banking and Other Financial	18,956	21,549	21,989	2.1	2.2	2.1
9. Ownership of Dwellings	7,903	8,838	8,993	0.9	0.9	0.8
10. General Government and Defense	77,856	78,453	96,547	8.6	7.9	9.1
11. Services	82,225	95,533	118,453	9.1	9.7	11.1
Total	901,195	988,178	1,064,756	100.0	100.0	100.0

第2章 自 然 条 件

バリ島は西側のバリ海峡と東側のロンボク海峡にはさまれている。バリ海峡は水深わずか－60mにすぎないが、ロンボク海峡はインドネシア諸島にある最も深い海峡の1つである。バリ島は北側にジャワ海、南側にインド洋に面している。

1. 気　象

バリ島の気候は6ヶ月ごとに変化する。6月から9月はオーストラリア大陸気団の影響を受け乾季となり、12月から3月の期間はアジア大陸と外洋を通る太平洋気団の影響により雨季となり、大気は水分を含みバリに雨をもたらす。乾季と雨季の間、即ち4月～5月と10月～11月は変遷期である。雨季には強風が強く、西及び北西風となる。一方、乾季はオーストラリア大陸から吹く東風となり、やはり強風となることが多い。付図2-2-1 にデンパサールで測得した降水量を示す。



付図 2-2-1　降水量（1974－1987）

2. 海　象

(1) 潮　汐

北部海岸の実測潮位差は南部海岸よりも小さい。ヌサドゥア・ビーチ近傍のベノア地点での潮差は2.0mである（表 2-3-1）。

(2) 海　　流

乾季の海流は東のオーストラリア方面から西側へ流れ、風向と一致する。雨季になるとカリマンタン海峡を通る流れは、西から東へと逆転する。一般に、バリ島沖合の海流は乾季（0.8ノット）より雨季（0.7ノット）のほうが流速の小さくなる傾向が認められる（図 2-3-1）。

(3) 沖　　波

バリ島の南方沖合のインド洋上地点で米軍によりまとめられた海洋気象台帳に波高、周期および波向の統計データが記載されている（図 2-3-2）。当データは、バリ島調査域に対する沖波波浪特性を示しており、バリ島南岸域への卓越波向は南東から南西方向の範囲であることが理解できる。

(4) 現 地 観 測

クタ、サヌールおよびヌサドゥアの各地点において、波浪、沿岸流および漂砂に関する現地観測が実施された。

1) 波　　浪

海岸に入射してくる波は沿岸域の漂砂を引き起こす主要因である。図2-3-6～7はクタ、ヌサドゥア・ビーチの沖合とリーフ内と各々における有義波高および有義周期の分布である。バリ海岸においては、リーフは天然の防波堤機能を果し、リーフ内波高は沖合のそれの１／２～１／３に減少する。

2) 沿　岸　流

流速計をクタ、ヌサドゥアおよびサヌールの３海岸各々の１～２箇所に設置し、侵食域に発生している典型的な流れの測定を試みた。

クタ・ビーチでの侵食域はプルタミナコテージの北側海浜であり、当地点のリーフ幅は空港の滑走路近傍で１kmと広いが、侵食域前面ではその幅が急激に狭くなっている。流速計はこの狭いリーフ地点に設置された。観測結果によると、当地点の流速は大きく、リーフの沖合へ流出する状況も認められた。また、流向はほぼＮＮＥである。

ヌサドゥア・ビーチでは、海谷（リーフ切れ目の深み）をはさんでその両側に流速計が設置された。測定結果によると、リーフ内の両側から海谷へ向かう流れが観測された。

サヌール・ビーチの侵食対象域にも海谷が存在する。ここでも、その南北の両側に流速計を配置した。両者の流向は異なり、南側地点が北側より大きな流速値を示した。

3) 螢 光 砂

螢光砂の広がりから底質は海岸線に沿って沿岸方向へ移動することが明らかとなった。また、その拡散の卓越方向はその地点の流向とほぼ一致することが認められる。ヌサドゥア・ビーチの螢光砂調査結果によると、底質は北側からの移動量が大きいものの、リーフ内南北両側から海谷へ落ち込んでいることが認められた。

表 2-3-1 潮 位 表

(In Meters)

Place	S. Lat.	E. Long	MHWS	MHWN	MLWN	MLWS	ML
Buleleng	8.06	115.05	+1.0	+0.6	+0.4	0	0.5
Teluk Padang	8.32	115.03	+1.2	+0.7	+0.5	0	0.6
Benoa	8.45	115.13	+2.0	+1.4	+0.6	0	1.0

MHWS : Mean High Water Springs
MHWN : Mean High Water Neaps
MLWN : Mean Low Water Neaps
ML : Mean Sea-levels
Source: Admiralty Tide Tables, Volume 3, 1988.

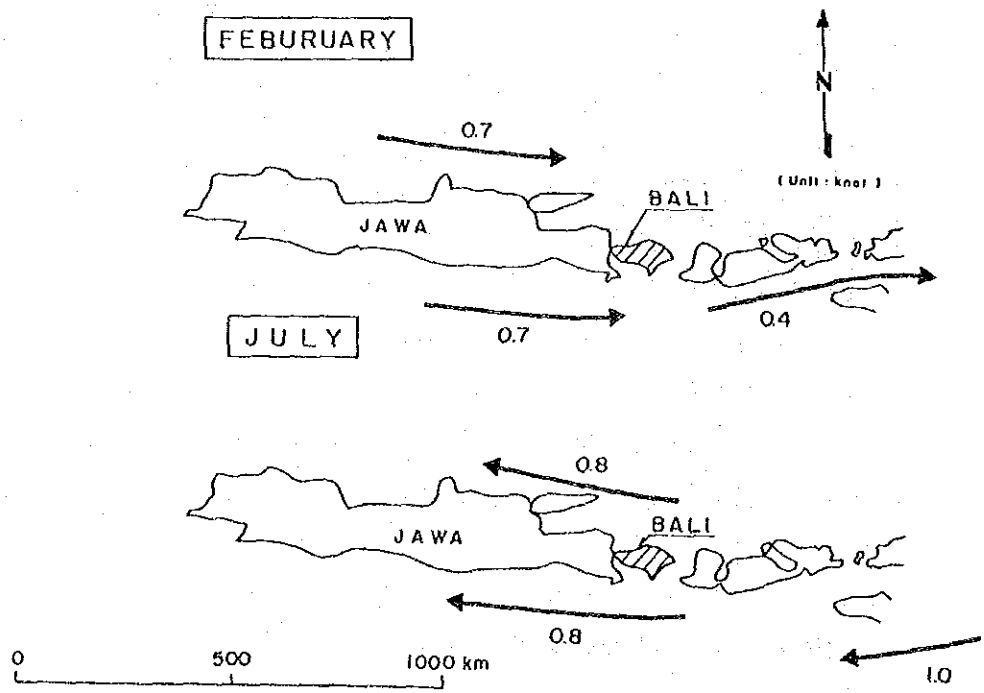
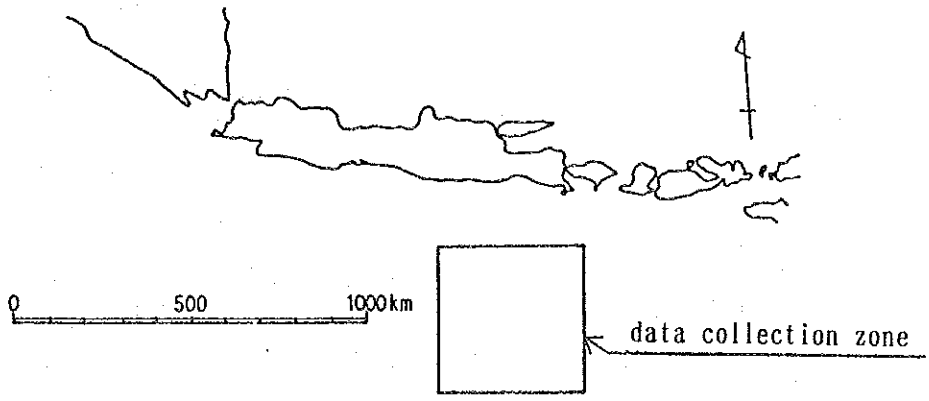
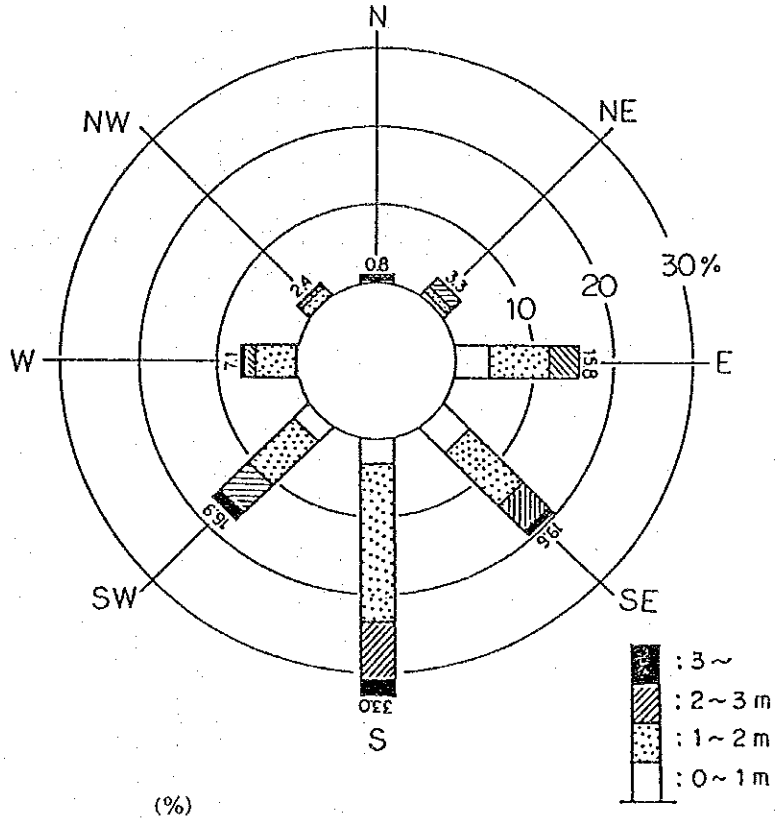


図 2-3-1 潮 流


0
500
1000km
data collection zone


N
NE
E
SE
S
SW
W
NW
0.8
3.3
15.8
19.6
33.0
16.9
7.1
2.4
10
20
30%
: 3～
: 2～3 m
: 1～2 m
: 0～1 m

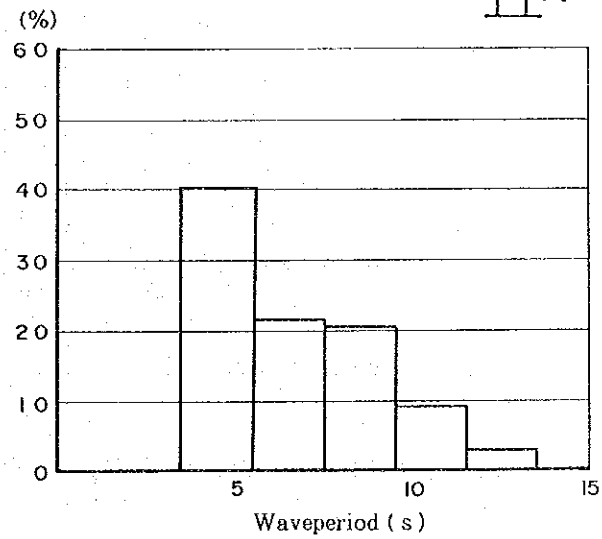
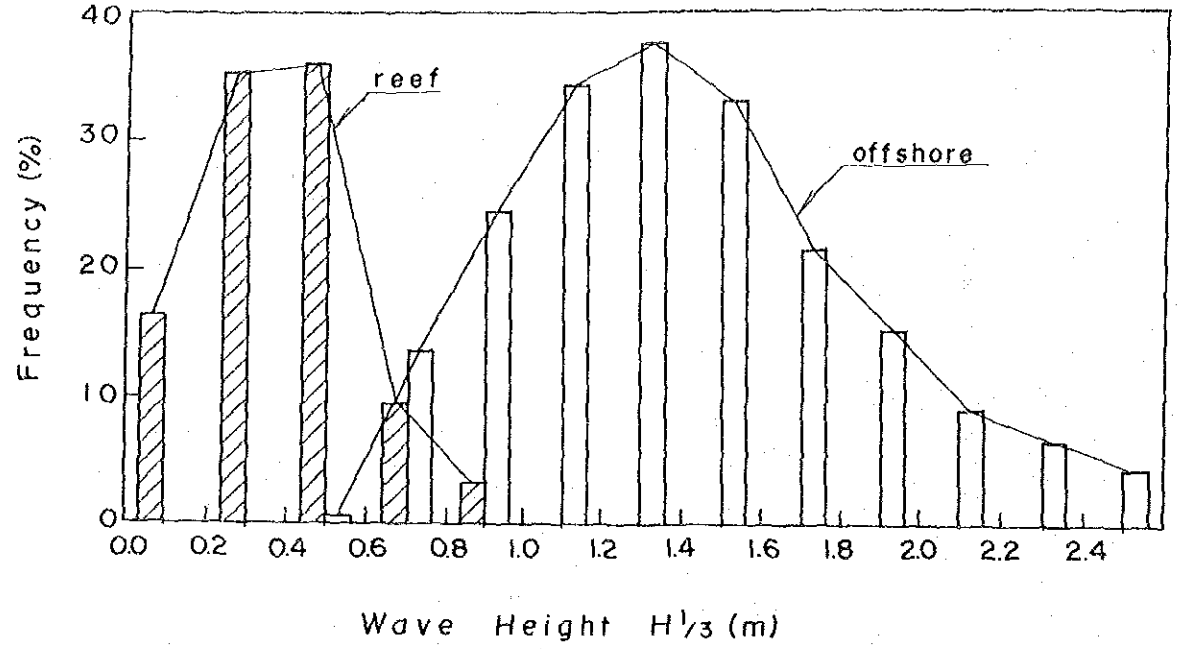

(%)
60
50
40
30
20
10
0
5
10
15
Waveperiod (s)

図 2-3-2　　深　海　波

KUTA (MAY-JUNE : 1988)



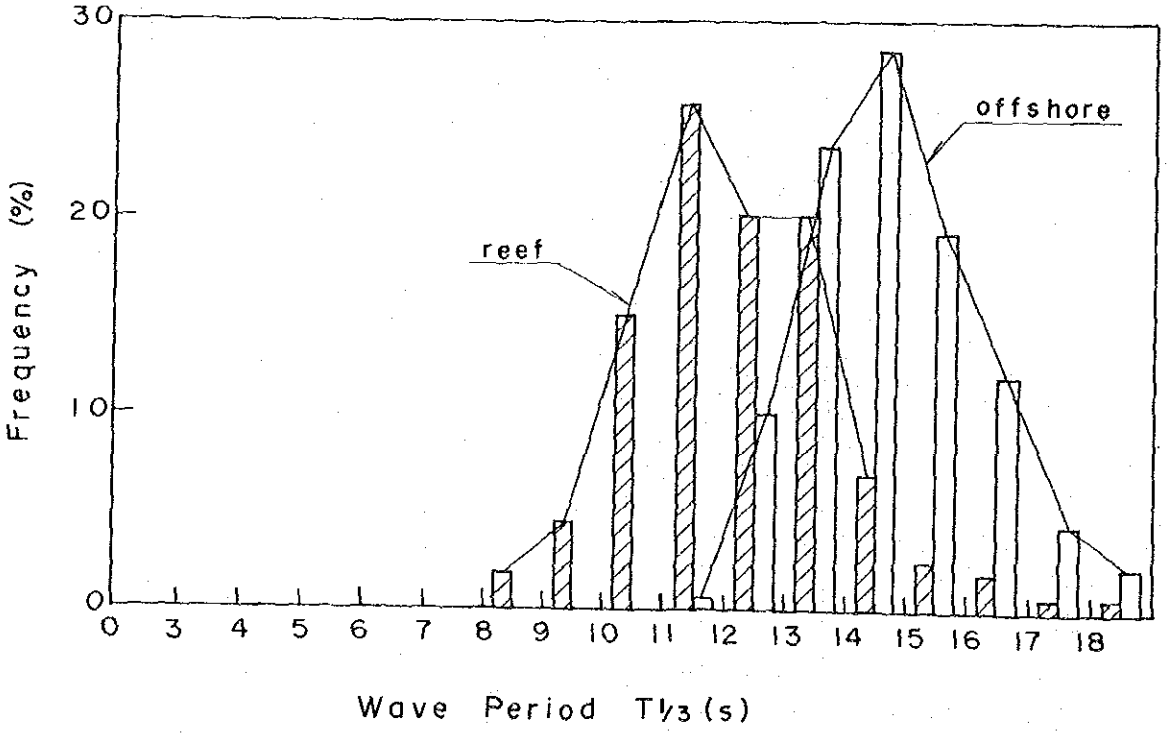
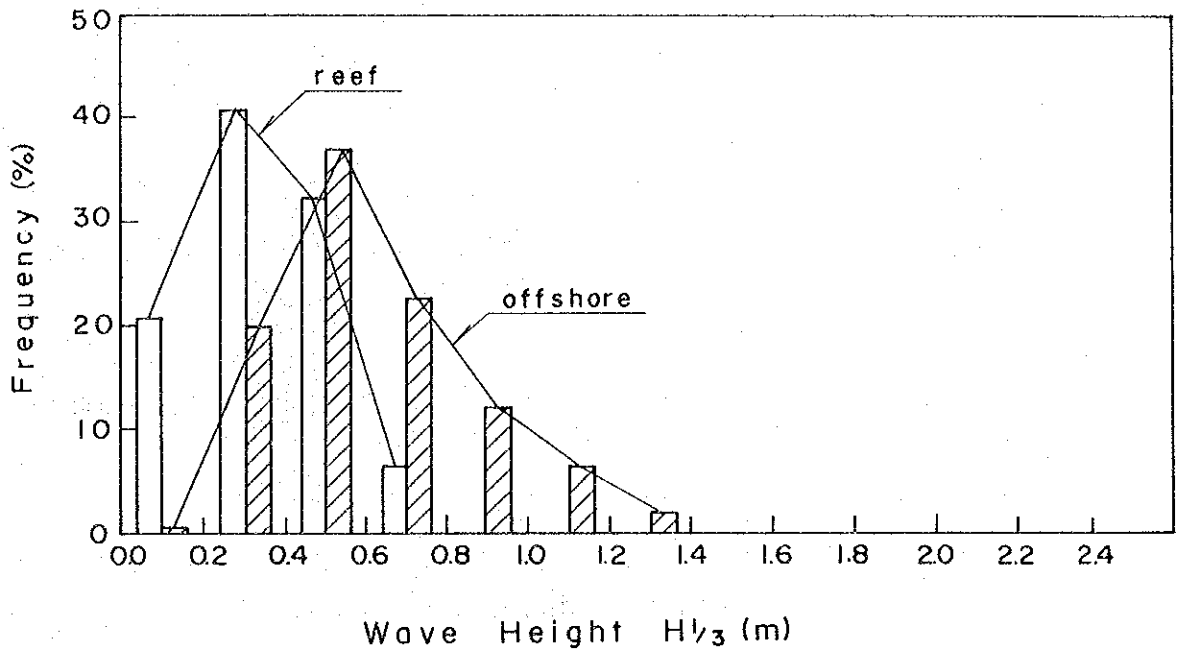


図 2-3-6(1)　　波高、周期分布（クタ）

NUSA DUA (MAY-JUNE:1988)



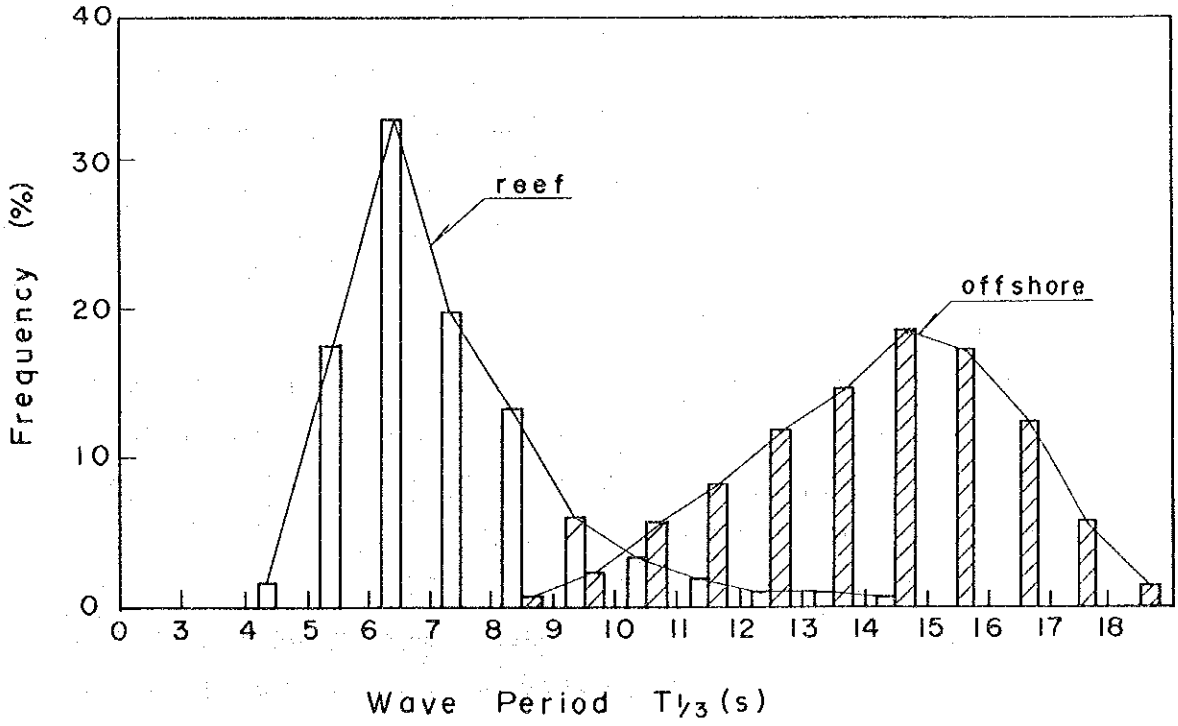


図 2-3-7(1)　　波高、周期分布（ヌサドゥア）

3. 地形及び地質

(1) 地　形

バリ島は次の4つの地形区分に分けられる。

① バリ島の北部を東西に走る火山山岳地区

② その火山山岳地区の南斜面を形成する南部山麓地区

③ 南部山麓地区と南部半島 Bukit Badung 地区との間に位置する低地地区

④ 南部半島を東西に走り、海抜 100～200mの平坦な丘陵を形成するBukit Badung 地区

1) 火山山岳地区

火山山岳地区は、バリ島西部の比較的古い火山群と東部の新しい火山群から成る。

古い火山群は侵食によって開析され、原火山地形を失っている。Kelatakan 山（海抜 698m）、Merbuk 山（海抜 1,388m）及び Patas 山（海抜 1,412m）がこの古い火山群に属する。新しい火山群はまだ原火山地形を残している。Batukau 山（海抜 2,276m）、Buyan-Bratan 火山（Pohen 山 Lesong 山及び Catur 山から成る）、Batur 山（海抜 1,717m）及び Agung 山（海抜 3,142m）がこの新しい火山群に属する。

Buyan-Bratan 火山及びBatur 火山は、二重式火山であり、Tamblingan、Buyan 、Bratanの各カルデラ湖とBatur カルデラ湖をそれぞれ有している。Agung 火山は単一の成層火山で、美しい円錐形を示し、頂上に河口を有している。

2) 南部山麓地区

南部山麓地区は河川によって肥沃な水田地帯となり扇状に拡がっている。主な河川は He、Empass、Penet、Ayung、Wos、Petamu、Sangsang 及び Unda である。これらの河川は、互に平行して流れ、火山山麓において沖積扇状地を形成している。南部山麓地区の南西海岸には、タナロット海岸のような海食崖がみられるが、同地区の南東海岸にはみられない。

3) 低 地 地 区

低地地区は沖積平野、砂浜、砂丘、陸繋砂州、海跡湖及び砂嘴から成っている。この低地地区の地形は海岸侵食及び堆積によって絶えず変化しており、サヌール・ビーチ、ヌサドゥア・ビーチ、及びクタ・ビーチの主要な調査地域を含んでいる。

4) Bukit Badung 地区

南部半島の Bukit Badung 地区は陸繋島であり、サンゴ石灰岩の平坦な丘陵から成っている。サンゴ石灰岩はドリーネや鍾乳洞がみられるカルスト地形を示している。美しい急崖をなす海食崖が Bukit Badung 地区の南西海岸にみられる。しかし、Bukit Badung 地区の北東側では、緩やかな斜面となっている。

バリ島の地質分布は図 2-4-2-1（バリ島地質図、インドネシア地質調査所発行）に示される。

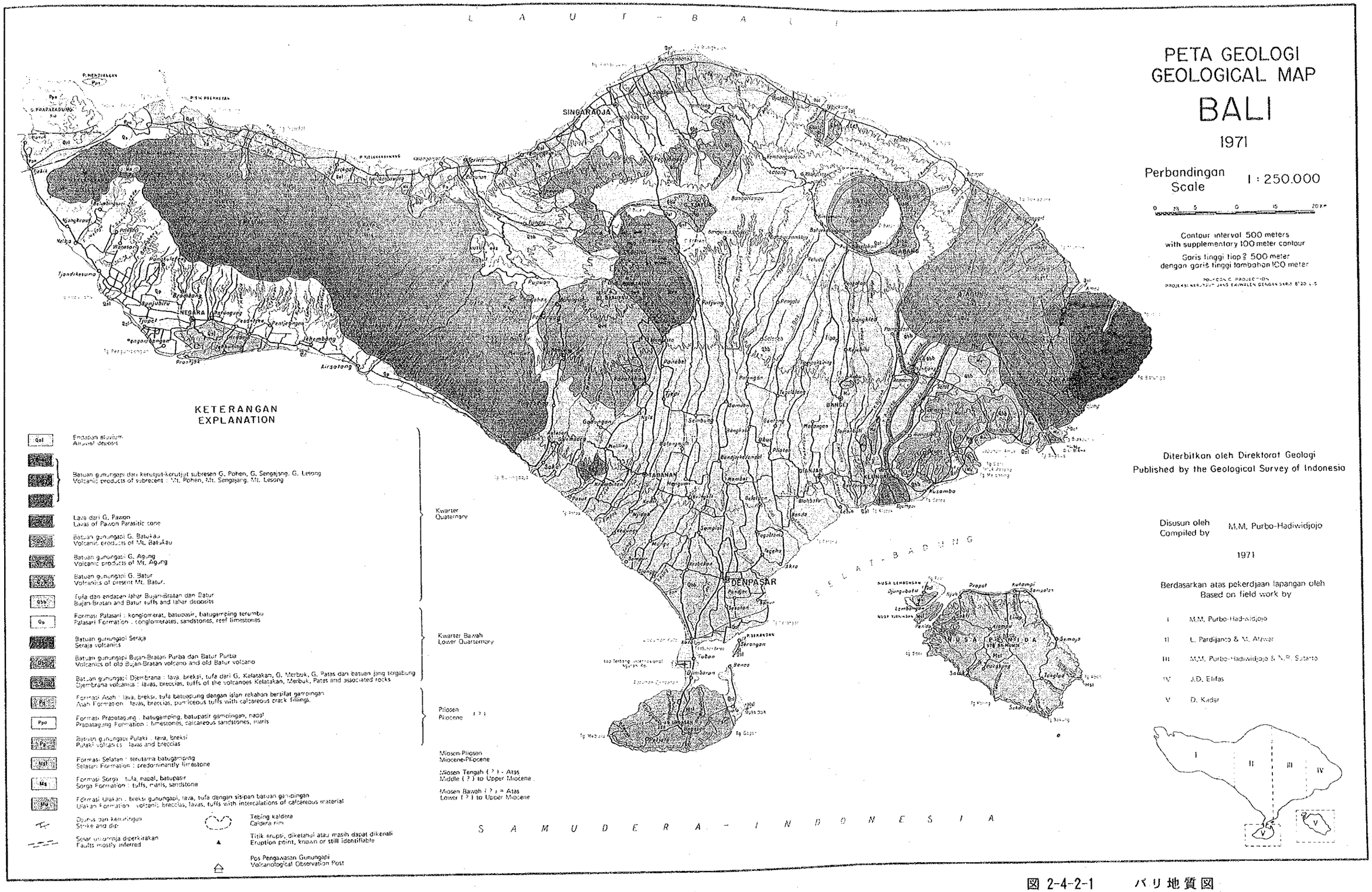

PETA GEOLOGI
GEOLOGICAL MAP
BALI
1971
Perbandingan
Scale
1 : 250.000
Contour interval 500 meters
with supplementary 100 meter contour
Garis tinggi tiap 2 500 meter
dengan garis tinggi tambahan 100 meter
Diterbitkan oleh Direktorat Geologi
Published by the Geological Survey of Indonesia
Disusun oleh
Compiled by
M.M. Purbo-Hadiwidjojo
1971
Berdasarkan atas pekerdjaan lapangan oleh
Based on field work by
I M.M. Purbo-Hadiwidjojo
II L. Pardijanto & M. Atawar
III M.M. Purbo-Hadiwidjojo & N.R. Sutarto
IV J.D. Elifas
V D. Kadar
L A U T - B A L I
S A M U D E R A - I N D O N E S I A
SELAT - BADUNG
SINGARADJA
NEGARA
DENPASAR
KETERANGAN
EXPLANATION
Qal Endapan aluvium
Alluvial deposit
Batuan gunungapi dari kerutjut-kerutjut subresen G. Pohen, G. Sengajang, G. Lesong
Volcanic products of subrecent : Mt. Pohen, Mt. Sengajang, Mt. Lesong
Lava dari G. Pawon
Lavas of Pawon Parasitic cone
Batuan gunungapi G. Batukau
Volcanic products of Mt. Batukau
Batuan gunungapi G. Agung
Volcanic products of Mt. Agung
Batuan gunungapi G. Batur
Volcanics of present Mt. Batur.
Tufa dan endapan lahar Bujan-Bratan dan Batur
Bujan-Bratan and Batur tuffs and lahar deposits
Formasi Palasari : konglomerat, batupasir, batugamping terumbu
Palasari Formation : conglomerates, sandstones, reef limestones
Batuan gunungapi Seraja
Seraja volcanics
Batuan gunungapi Bujan-Bratan Purba dan Batur Purba
Volcanics of old Bujan-Bratan volcano and old Batur volcano
Batuan gunungapi Djembrana : lava, breksi, tufa dari G. Kelatakan, G. Merbuk, G. Patas dan batuan jang tergabung
Djembrana volcanics : lavas, breccias, tuffs of the volcanoes Kelatakan, Merbuk, Patas and associated rocks
Formasi Asah : lava, breksi, tufa batuapung dengan isian rekahan bersifat gampingan
Asah Formation : lavas, breccias, pumiceous tuffs with calcareous crack fillings.
Formasi Prapatagung : batugamping, batupasir gampingan, napal
Prapatagung Formation : limestones, calcareous sandstones, marls
Batuan gunungapi Pulaki : lava, breksi
Pulaki volcanics : lavas and breccias
Formasi Selatan : terutama batugamping
Selatan Formation : predominantly limestone
Formasi Sorga : tufa, napal, batupasir
Sorga Formation : tuffs, marls, sandstone
Formasi Ulakan : breksi gunungapi, lava, tufa dengan sisipan batuan gampingan
Ulakan Formation : volcanic breccias, lavas, tuffs with intercalations of calcareous material
Djurus dan kemiringan
Strike and dip
Sesar umumnja diperkirakan
Faults mostly inferred
Tebing kaldera
Caldera rim
Titik erupsi, diketahui atau masih dapat dikenali
Eruption point, known or still identifiable
Pos Pengamatan Gunungapi
Volcanological Observation Post
Kwarter
Quaternary
Kwarter Bawah
Lower Quaternary
Pliosen
Pliocene
Miosen-Pliosen
Miocene-Pliocene
Miosen Tengah (?) - Atas
Middle (?) to Upper Miocene
Miosen Bawah (?) - Atas
Lower (?) to Upper Miocene
I
II
III
IV
V

図 2-4-2-1　バリ地質図

(2) 地　震

バリ島は前述の島弧に沿う地震帯中に位置している。しかし、バリ島は地震の高密度地帯ではない。1911年から1984年に至る間に、Denpasarから 300km以内の地域に起った6.0 MB（実体波マグニチュード）以上の地震のうち最も強い地震は、Denpasarの北東 300km、深度 543kmで起きた7.3 MB（実体波マグニチュード）である。また、バリ島内で発生した地震は4つあり、それぞれ6.4、6.2、6.1及び6.0 MB（実体波マグニチュード）及び深度80、40、25及び38kmである。

4. 地質及び底質調査

(1) 地 質 調 査

タナロット海岸において、奥行4～20m、幅5～30mの規模の波食窪が島及び海食崖に数多くみられる。これらの波食窪はしばしば火山砕屑岩類下部の火山角礫岩中に存在する。この事実は、火山砕屑岩類下部が海水準付近に位置し、かつ、主として層間隔の厚い火山角礫岩から成るためと考えられる。

一軸圧縮試験のために、5つの火山角礫岩の試料が火山砕屑岩類の下部から採取された。

上述の5つの火山角礫岩試料から得られた8つの一軸圧縮試験結果は、圧縮強度16.0～79.1kg／cm²（平均36.7kg／cm²）であった。これらの圧縮強度の値は、日本の海岸の後退速度とその岩石強度との関係を示す　図 2-5-1-3にプロットされた。

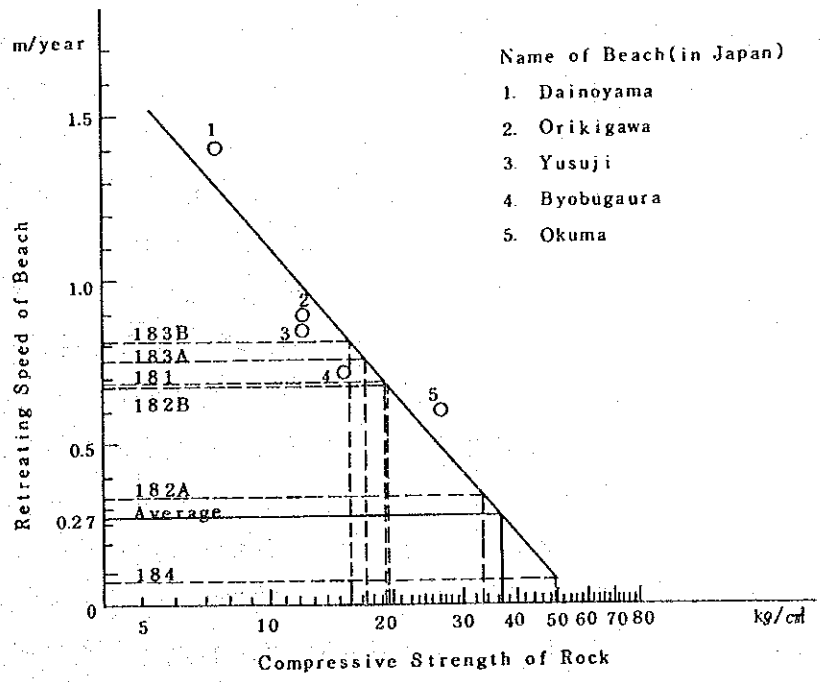


図 2-5-1-3　　日本の海岸の後退速度と岩石圧縮強度との関係図

註(2) "Sunamura T.: A review of recent studies of rock coast transformation due to waves, Geographical Review of Japan, 48-6, 395～411, 1975." から引用。

上図によればタナロット海岸の後退速度は80cm／年以下であり、そして、その平均値は27cm／年と推定される。しかしながら、海岸の後退は主として海食洞の崩落によるものであり、突然起るもので継続的なものではない。

(2) 海浜における底質調査

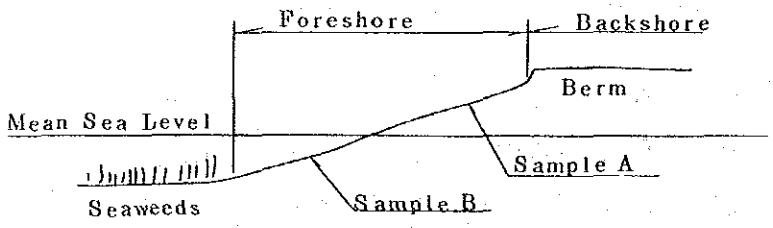


図 2-5-2-7　　海浜底質試料Ａ及びＢの採取位置関係説明図

1) クタ・ビーチ地区

クタ・ビーチでは、ヌサドゥア・ビーチ、サヌール・ビーチに比し、緩い斜面の海浜がみられる。海浜砂の色は北に向って白色から黒色に漸移的に変化している。

この海浜の底質（海浜砂）の中間粒度は、0.13mm～0.99mmであり、海浜の緩斜面のため中間粒度はヌサドゥア及び、サヌール・ビーチより細粒である。

磁性物質の含有量及び珪酸塩物質の含有量は、北に向って漸移的に、それぞれ２％から15％及び１％から35％増加している。しかし、2.4規定塩酸溶解物質の含有量は、南に向って55％から96％に増加している。磁性物質と珪酸塩物質は火山岩起源であるため、これらはバリ島の火山山岳地区と南部山麓地区から供給されたものである。このような、磁性物質と珪酸塩物質が北方に向って増加する分布は、これらが北方の河川や海岸から供給されたことを意味している。所が一方、2.4規定塩酸溶解物質は、主として沖合のサンゴ礁から供給されたもので、一部は南部半島のサンゴ石灰岩からもたらされたものであろう。この海浜の底質の比重は北に向って2.71から2.77と多少増加している。

2) ヌサドゥア・ビーチ地区

ヌサドゥア・ビーチでは、クタ・ビーチ、サヌール・ビーチに比し、急な斜面の海浜がみられる。海浜砂の色はNusa Dua海岸の全域において白色である。それ故に、ヌサドゥア・ビーチは最も美しく、未だ自然の状態を残している。

この海浜の底質の中間粒度は、Ｂ試料で0.62mm～1.28mm、Ａ試料で0.28mm～1.12mmを示す。従って、中間粒度は Mediterranean Club （地中海クラブ）付近

を除いて、B試料（海側）が粗粒で、A試料（陸側）が細粒である。

ヌサドゥア・ビーチでは海浜が急斜面であるため、その底質の中間粒度はクタ・ビーチより粗い。

この海浜の底質の鉱物組成は余り変化がなく、磁性物質の含有量が1％～4％、珪酸塩物質の含有量が0％～7％、そして、2.4規定塩酸溶解物質の含有量が92％～99％となっている。従って、この底質の鉱物組成は、殆んど大部分が2.4規定塩酸溶解物質であり、この溶解物質は、主として破砕されたサンゴから成り、一部にサンゴ石灰岩の砕屑片を含んでいる。それ故に、ヌサドゥア・ビーチの底質は大部分が沖合のサンゴ礁から供給され、一部分が Bukit Badung 地区のサンゴ石灰岩と地表の火山灰から供給されたものと推定される。

この海浜の底質の比重は、2.63～2.77の間にあるが、特に意味のある傾向はみられない。

3) サヌール・ビーチ地区

サヌール・ビーチの海浜の傾斜はヌサドゥア・ビーチより緩く、クタ・ビーチより急である。海浜砂の色は Bali Beach Hotel の突堤から南側では白色、北側では黒色の2つに明瞭に分けられる。

この海浜の底質の中間粒度は、サンゴ礁の縁から南側では0.36㎜～1.30㎜、北側では0.21㎜～0.40㎜であるので、南側は北側より明瞭に粗粒である。

ヌサドゥア・ビーチのようにB試料（海側）の中間粒度がA試料（陸側）のそれより粗いというパターンは、サヌール・ビーチでも Besakih Hotelから北側でみられる。

この海浜の底質の鉱物組成は、3つの型に分けられる。第1の型は Bali Beach Hotel の突堤から南側でみられ、ヌサドゥア・ビーチと同じように白色で、磁性物質含有量 0.1％～2％、珪酸塩物質含有量が0％～2％、そして2.4規定塩酸溶解物質含有量が、97％～ 100％を示し、大部分が2.4規定塩酸溶解物質から成っている。第2の型はサンゴ礁の縁の北側でみられ、重くて黒色の海浜砂から成り、磁性物質含有量が81％～97％、珪酸塩物質が0％～10％、2.4規定塩酸溶解物質が6％～10％を示し、大部分が磁性物質から成っている。第3の型は Bali Beach Hotel の突堤とサンゴ礁の縁の間にみられるもので、第1と第2の型の混合であり、磁性物質含有量が21％、珪酸塩物質が7％、2.4規定塩酸溶解物質が72％を示すものである。

これらの事実から、サンゴ礁と Bali Beach Hotel の突堤が、北方から供給された火山起源の磁性物質と珪酸塩物を堰止めたものと推定される。

この海浜の底質の比重は、磁性物質含有量と関係があり、サンゴ礁の縁から北側では非常に高く（4.1～4.7）、南側では普通（2.6～2.8）である。

第３章　調査地域の概況

1.　環境及び景観

(1)　海域生態と鳥類

1)　３つの砂浜海岸における動植物相の劣化の要因は、サンゴ礁の採取や沈澱物の発生によるものであると思われる。サンゴ礁と海岸線との間にみられる海草床の状況はサンゴ礁の状況による所が大きい。

2)　クタにおける海域生態は劣悪な状況にあるが、ヌサドゥア及びサヌールについては、破壊の程度が増加しないならば環境状態は良好であると思われる。

3)　海鳥や海岸に生息する鳥類調査により、入込者数が鳥類生態に影響を与えることが明らかとなった。ヌサドゥアのように入込者数の少ない地域では鳥類摂食活動が維持されている。本調査時期が、渡りの時期ではなかったため、多様な鳥相はみられなかった。

4)　海岸侵食防止の手法としては景観や海域及びその他の海域動物の保全を考慮し、侵食防止施設を設ける場合は自然と調和するよう計画しなければならない。

5)　動植物相を含めた生態系に関して、本調査地域内には保護すべき種は確認されなかった。

(2)　現存侵食防止施設の印象

侵食防止施設は各地点各タイプ共に“midium”（評価値：０）以上に評価されており、各施設共にそう悪いとは思われないが、“nice”（評価値：１）よりも高く評価された景観全体の印象よりも低い評価であった。このことは、優れた景観を有しているバリにおいては侵食防止施設の形状、色彩、肌理等に配慮しなければ景観の阻害要因となって了うことを示している。

調査結果において特徴的なのは、ヌサドゥアのＵ型離岸堤と離岸堤が他のものより高く評価されていることである。このことは、これらの施設は新設であり、サンゴ片を貼りつける等、形状、色彩、肌理に工夫がなされているからであると思われる。

また、各地点の突堤については、他のタイプのものより低い評価であったが、バリビーチホテルの前の突堤については特に形状について他の突堤よりも高く評価された。これは、この突堤には手すりや外灯が設置されていることにより良い印象を得たものと思われる。

(3) 水質調査

バリ州政府は、ブノア港付近において水質を測定している。

現地調査結果は地元政府による調査結果と類似しており、4地域の水質は概ね良好であるが、南部バリにおいては水質汚濁が進行することが予測される。

2. 土地利用

(1) 土地利用の現況

1950年代までの、サヌール、クタ、ヌサドゥアの3地区は、わずかな農地と少数の村落が散在する農・漁村地帯であった。

'60年代中頃以降、島の観光産業の急成長に伴うホテルその他観光関連サービス等施設の急増とともに、各地区における土地利用も大変貌を遂げ、国際観光地の現況に脱皮したのである。土地利用現況については、地区別の主要特徴を以下に述べる。

1) クタ（図 3-2-1-1）

当地区ではビーチ沿いの細い地帯にホテルやロスメンが立ち並び、ビーチ通りの裏には水田地帯が広がる。

－地区内の土地利用は主としてホテル地帯とロスメン地帯とに区分することができ、両者によってビーチ通沿いの土地すべて塡め尽され、新規ホテル建設の余地は全く残っていない。

－メーン・ストリート沿いには主に観光客を相手とする商店やレテトランがひしめき、バリ島における最大密度の商業施設の集積を成している。

－住居地帯は Ngurah Rai 国際空港の両脇に集中分布している。

－上記以外の後背地は稲作農地である。

2) ヌサドゥア（図 3-2-1-2）

ヌサドゥア・リゾート地区はバリ観光開発公社（ＢＴＤＣ）により、ヌサドゥア・マスタープラン（1973）に基いて開発・経営されているものである。

－ＢＴＤＣ所轄の地区は、当初よりバリ島独特の雰囲気をもつものとして計画・開発が進められてきた。ここには九ロットのホテル用地が用意され、すべてデベロッパーにリース契約されている。地区内はガーデン・リゾートと称して、低層・低密度開発をすることになっており、建築物の高さは15メーター以下に規制されている他、土地面積の半分以上は庭園緑地として、芝生と花壇等に利用される計画となっているなど、全般的に当初計画通り国際的リゾート地にふさわしい景観が醸し出されている。

－岬周辺にはまだホテル開発用の保留地が残されている。特にYeh Kuwu Kaje,

Terore Tengah, Terore Kaje, Desa Kampial, Desa Benoa の各地点においては、デベロッパーによるホテル等施設の開発建設に関する企画が、盛んになされている。

－当地にあった在来の集落はBualu に移転され、新規にヌサドゥア唯一の住宅地が造成され、その周辺には将来の住居施設開発用保留地が残されている。

3) サヌール（図 3-2-1-3）

当地区は三者のうち、最も高度な混合利用を呈している。

－ビーチ通沿いにはホテルが陣取り

－ホテル・ゾーンの裏には住宅地が広がり

－メーン・ストリート沿いには、特に政府官公庁の周辺地帯に集中して、商店やレストランが並ぶ。

－ロスメン（安い宿泊施設）が少ないのは当地区の特徴であり、地区内に立地する施設は、ほとんどホテル、住宅、及び商店やレストランを含む観光関連商業施設の３種類に限られる。

(2) 土地利用計画

1) クタとサヌールの両地区では、ホテル等施設の適地はすべて開発され尽しており、新規ホテルの参入は考えられない。

2) ヌサドゥアでは開発建設の余地が充分に残されており、ホテルや観光関連施設等の新規開発・建設・拡張の将来展望がある。ＢＴＤＣ所轄地区内の９区画のホテル用地のうち、６区画には既に2000年までの新規ホテルや会議施設の建設が計画されている他、同地区周辺、特にTerore Tengah でも、幾つかのホテルの建設が計画されている。

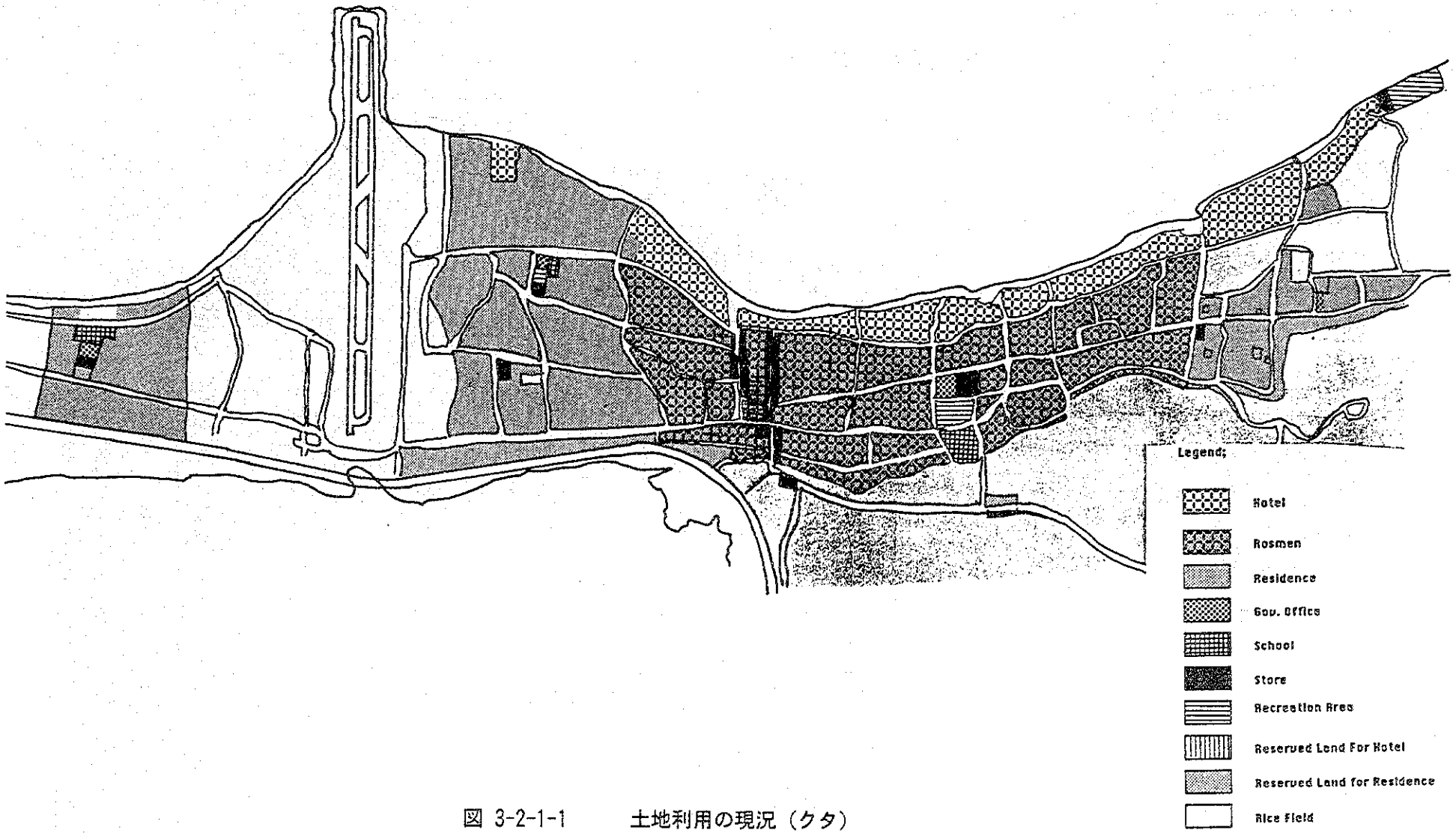


図 3-2-1-1　　土地利用の現況（クタ）

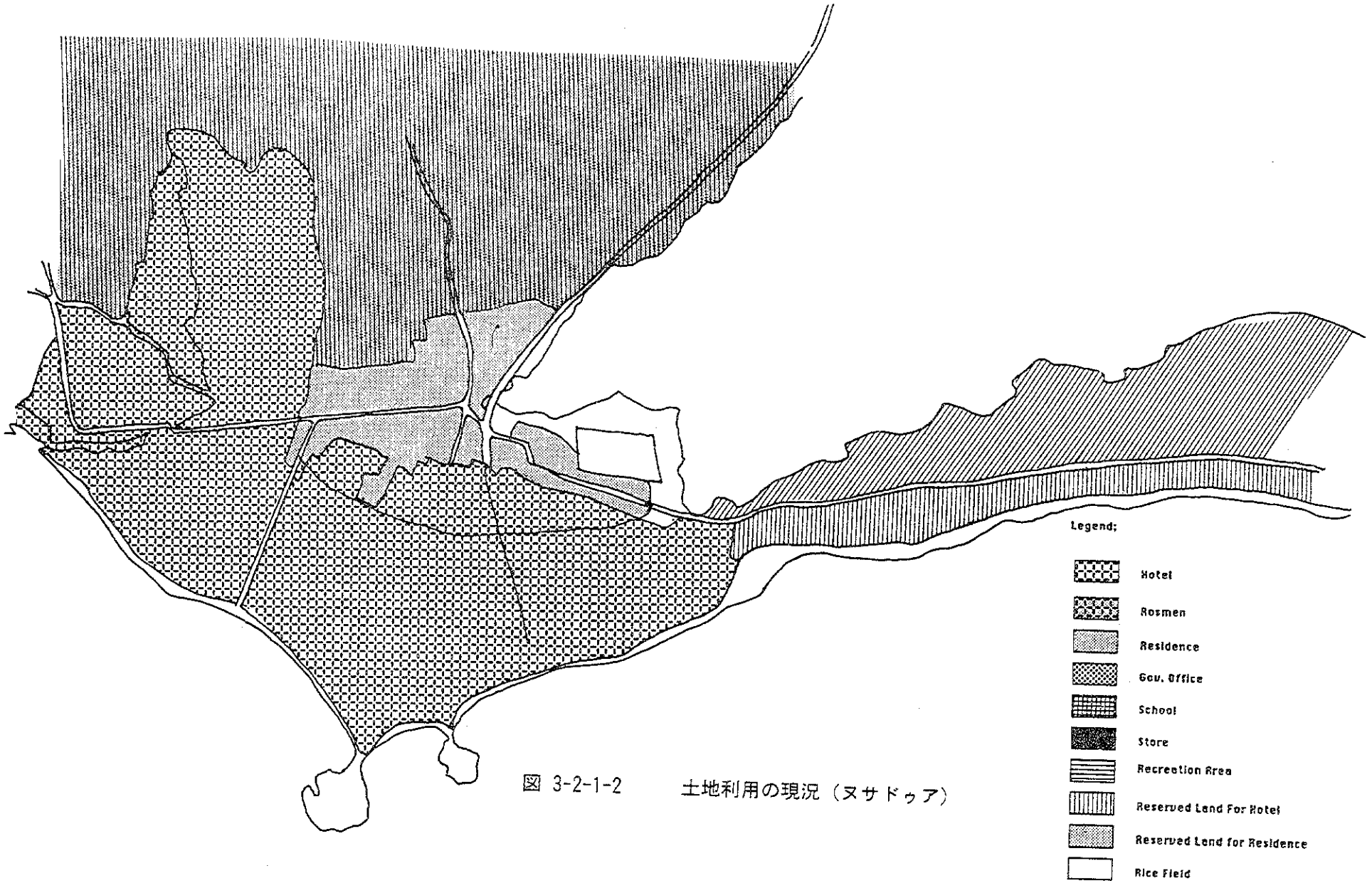


図 3-2-1-2　　土地利用の現況（ヌサドゥア）

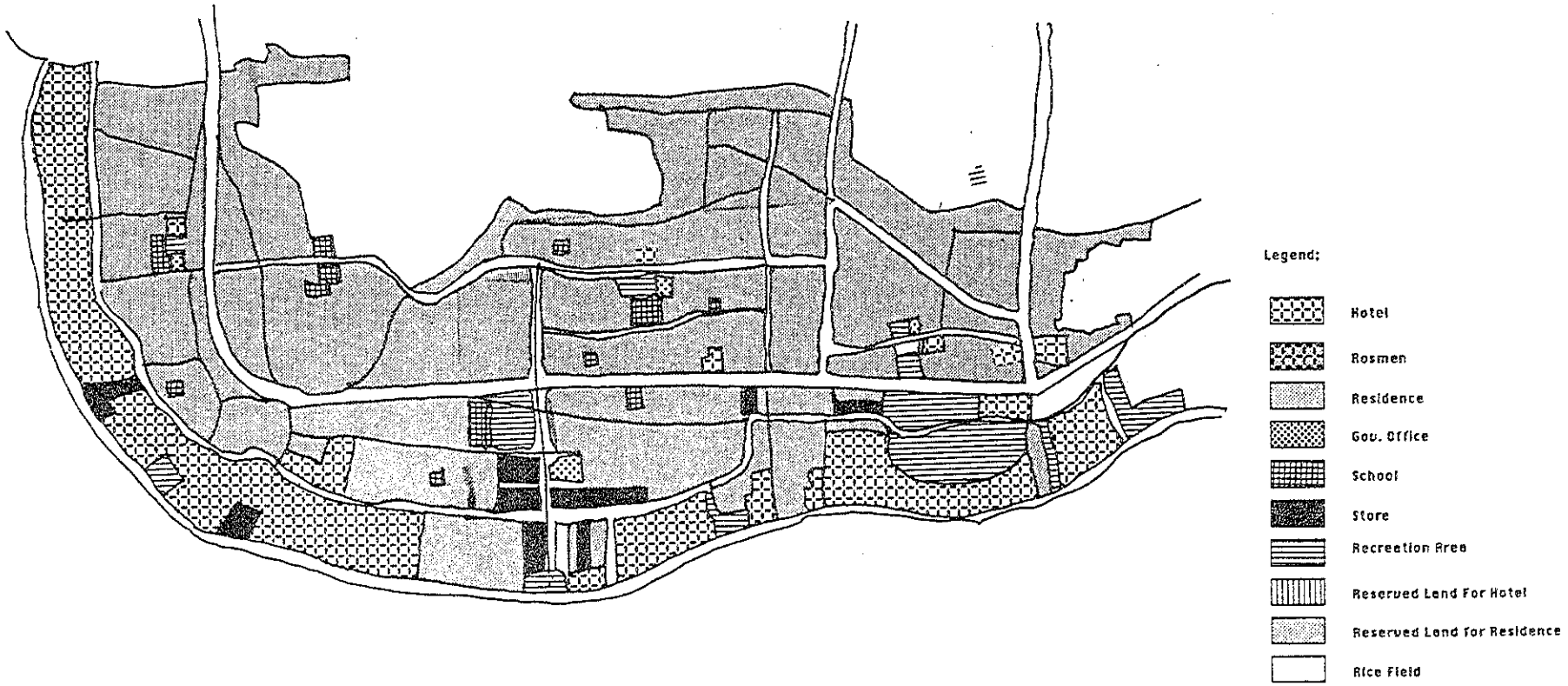


図 3-2-1-3　　土地利用の現況（サヌール）

3. 侵食の現況

(1) バリ島の侵食状況

バリ島全周の約 430kmの海岸線はすべて波浪の活発な攻撃と侵食にさらされている。海岸の侵食は主として波浪、潮汐、及び海流の影響によって進行する。これら3因子によって複合されるエネルギーのバランスの条件によって、海岸の形状が形成される。

砂浜侵食の起きているほとんどのケースは、漂砂流出に対する補足材料源の欠如と、周辺のサンゴ礁の採掘の結果によるものと考えられる。一方、ホテル等施設の配置が浜に近すぎるため、汀線の後退が直ちに観光利用対象のビーチの喪失につながることも問題点として指摘すべきあろう。

各地点における海岸保全対策事業の必要優先順位について、緊急性の観点から評価し、4段階に区分した結果は下表 3-3-1-2に示す通りである。

表 3-3-1-2　侵食対策の緊急度

No. of Priority	Evaluation of urgency	Location of beach
No. 1	Urgently required	Kuta, Nusa Dua, Sanur, Batu Madeg, Tanah Lot, Uluwatu.
No. 2	Required	Lebih, Siyut, Tegar Besar, Gumicik, Sangsit
No. 3	Protection of Roads	Pulaki, Gondol, Bukit, Gumrih
No. 4	Future Work	Sudimara, Candi Kesuma

上記の評価結果により、クタ、ヌサドゥア、サヌール及びタナロットの四地区が対策事業の優先実施地区として選定されたのである。

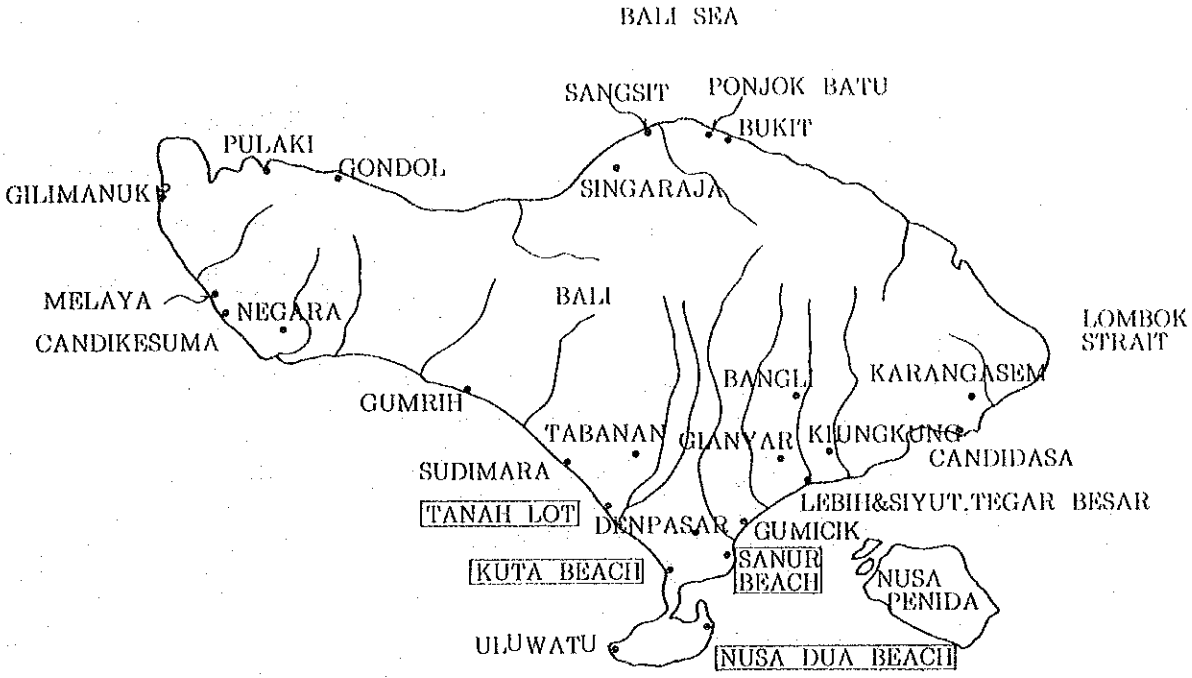


図 3-3-1-1　バリ島の侵食海岸位置図

(2) クタ・ビーチ

1) 汀 線 変 化

クタ・ビーチはバリ島南部の西海岸に位置し観光の重要地点になっている。クタ・ビーチにおける侵食はデンパサール空港の滑走路建設後1970年頃に始まったと思われる。それ以後汀線の後退は進みこの10年間だけでも50mの後退量が見られる。

1960年の資料からは後退量が 200mに達しているところがある。特に区間CからFの汀線後退が大きく、侵食が大きい。調査区間の全長は約3.0 kmでありこれを侵食状況に応じて7区間に分ける（図 3-3-2-1）。

2) 海浜断面の変化

1978年と1988年の海浜断面の変化を図 3-3-2-2に示す。

3) 侵 食 土 量

区　　間	侵食土量
600～1,000 m	42,800 m³
1,000～1,900 m	94,240 m³
1,900～2,400 m	24,200 m³

全長 1,800m　161,240m³／10年

年間侵食土量は約16,000m³である。

(3) ヌサドゥア・ビーチ

1) 汀 線 変 化

ヌサドゥア・ビーチはバリ島の東岸に位置し調査対象区間は約6㎞である。

この海岸はその名が示す二つの小島が本島とつながったため北向きの漂砂の遮断がおこり、これが北側の海岸（ヌサドゥア・ビーチ）の侵食原因であると思われる（図 3-3-2-4）。

2) 海浜断面の変化

1983年と1988年の海浜断面の変化を図 3-3-2-5に示す。

3) 侵 食 土 量

1983年から1988年の5年間の土量の差	81,000 ㎥
同じ5年間に行なわれた養浜の土量	100,000 ㎥
	18,900 ㎥

年間侵食土量は約 4,000㎥である。

(4) サヌール・ビーチ

1) 汀 線 変 化

サヌール・ビーチはバリ島の東岸に位置し延長約6㎞である。汀線の変化は浜全体のいたるところで見られ多くの侵食対策工が設置されている。それらは単に局所的保護を目的としたものに過ぎないものがほとんどである（ 図 3-3-2-7）。

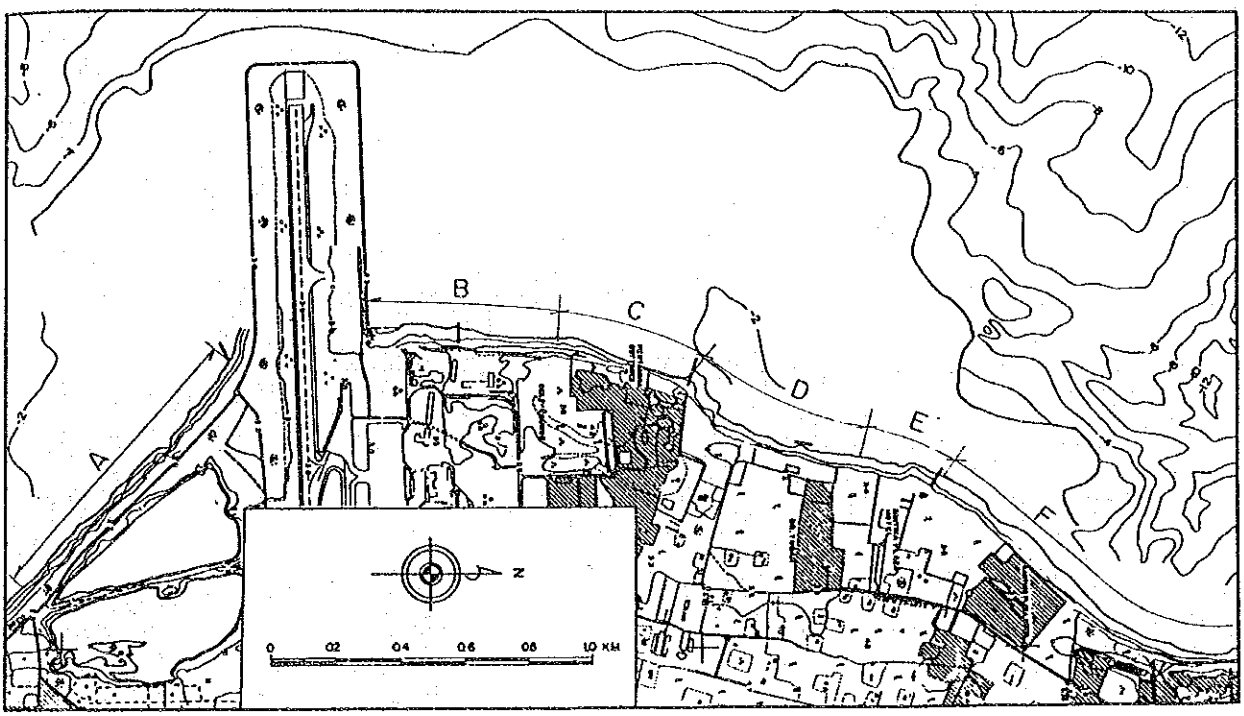
2) 海浜断面の変化

1978年と1988年の海浜断面の変化を図 3-3-2-8に示す。

3) 侵 食 土 量

区　　間	侵食土量
0～ 800 m	27,700 ㎥
3,000～4,000	31,300
4,000～5,000	31,600

年間侵食土量は約 9,000㎥である。



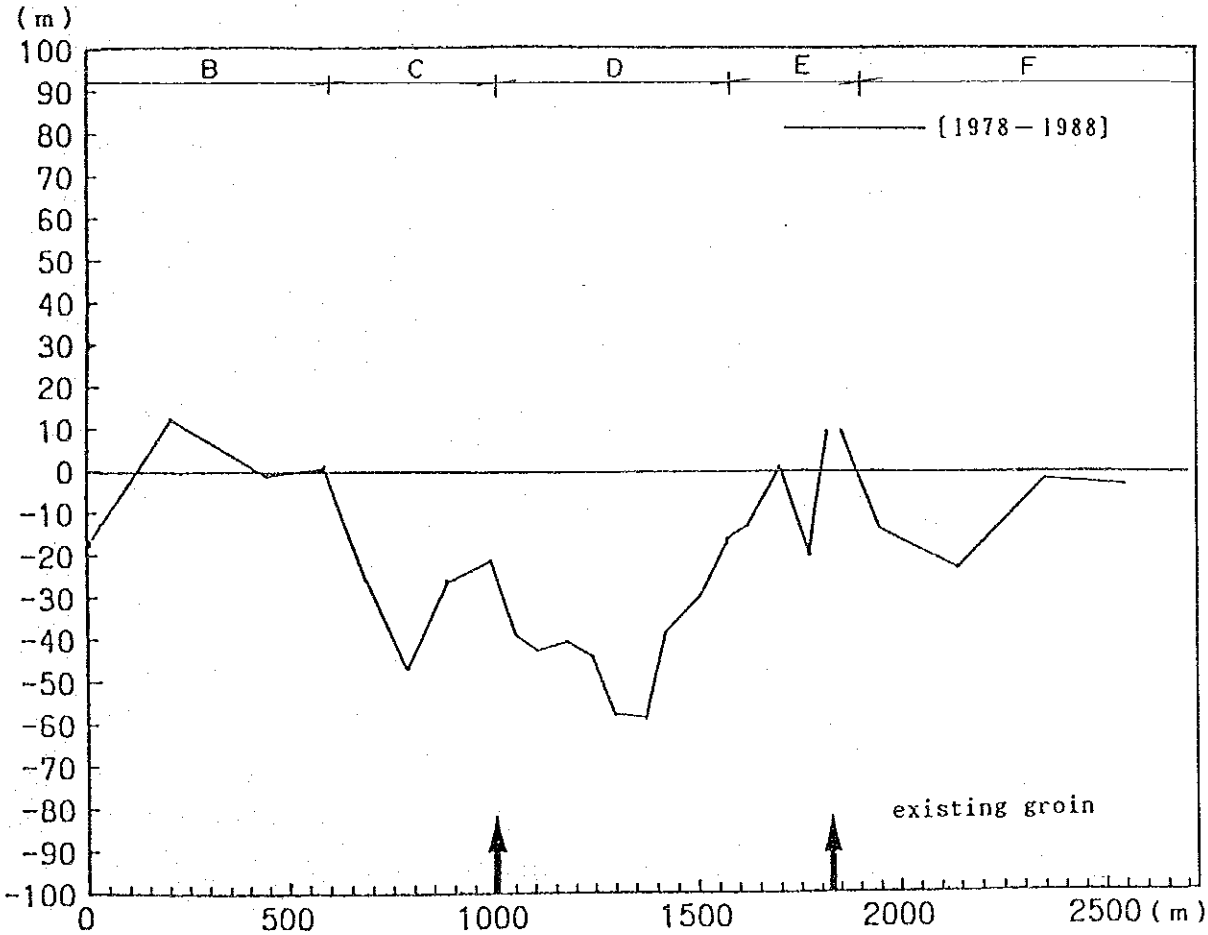


図 3-3-2-1　　汀線変化（クタ）

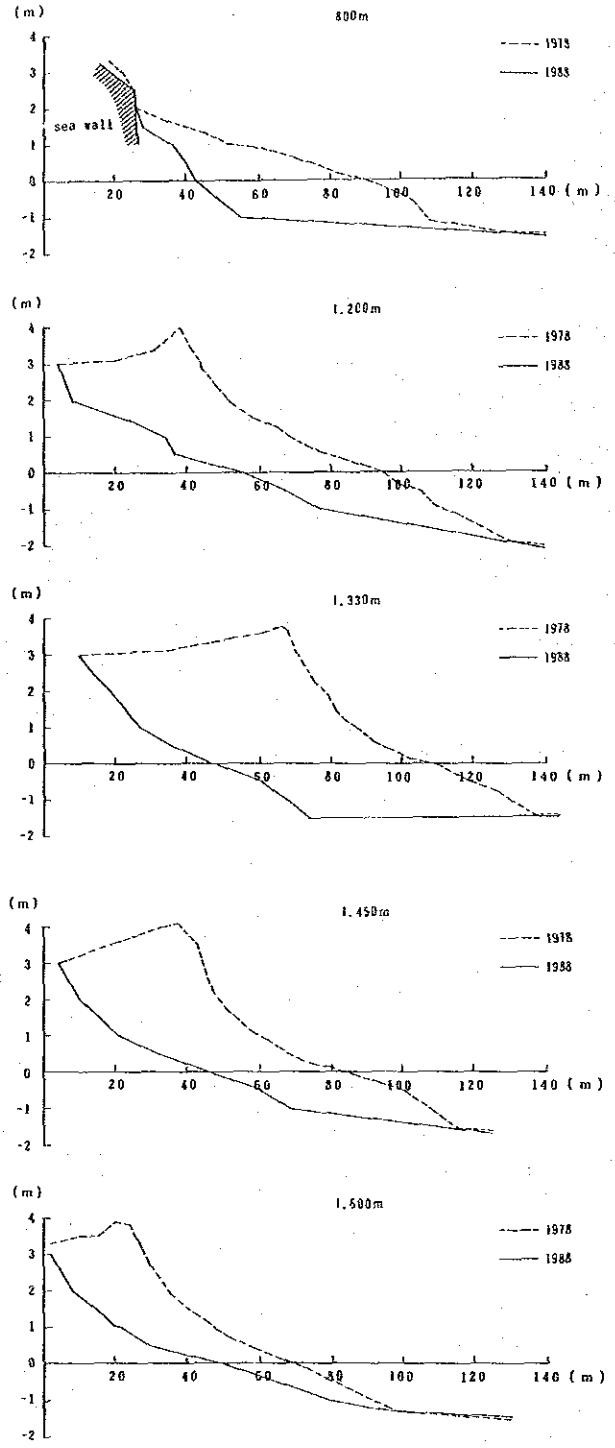
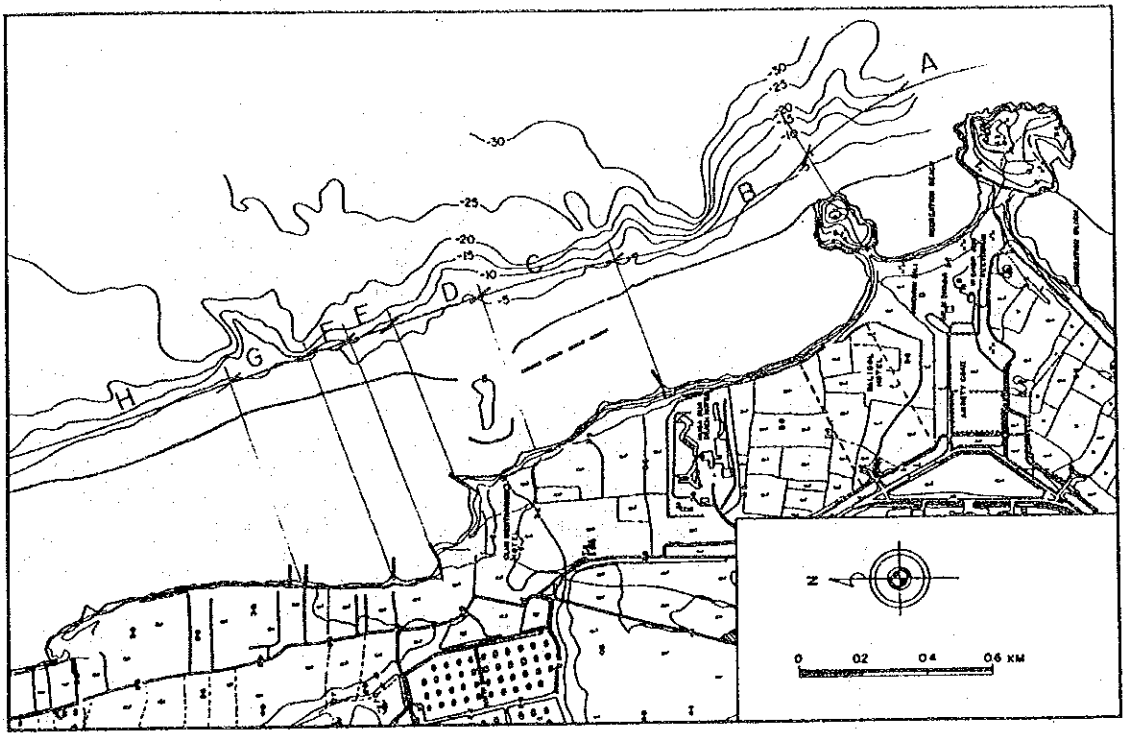


図 3-3-2-2　　海浜断面変化（クタ）



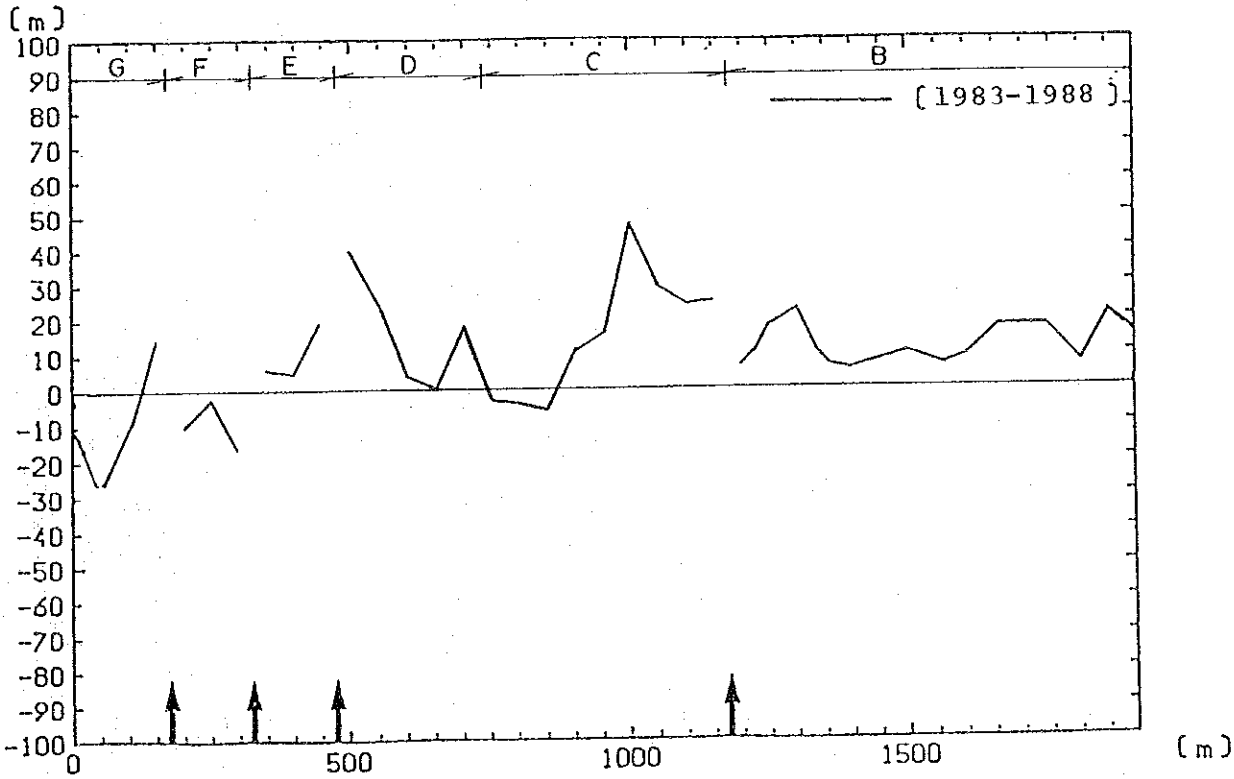


図 3-3-2-4　　汀線変化（ヌサドゥア）

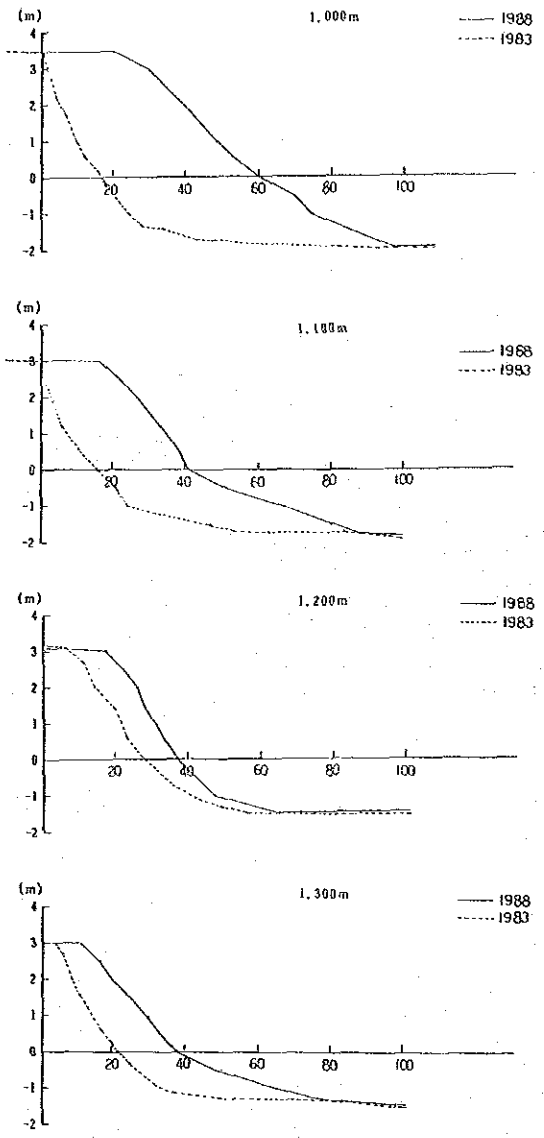
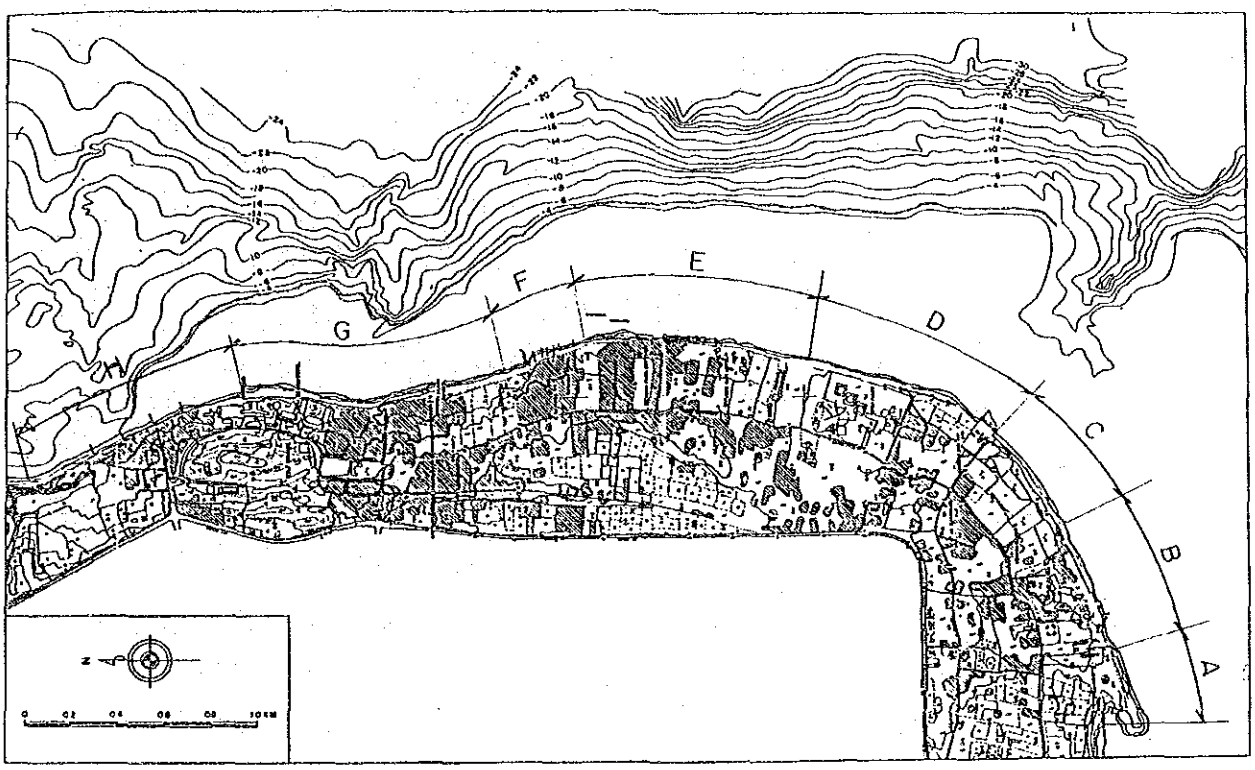


図 3-3-2-5　　海浜断面変化（ヌサドゥア）



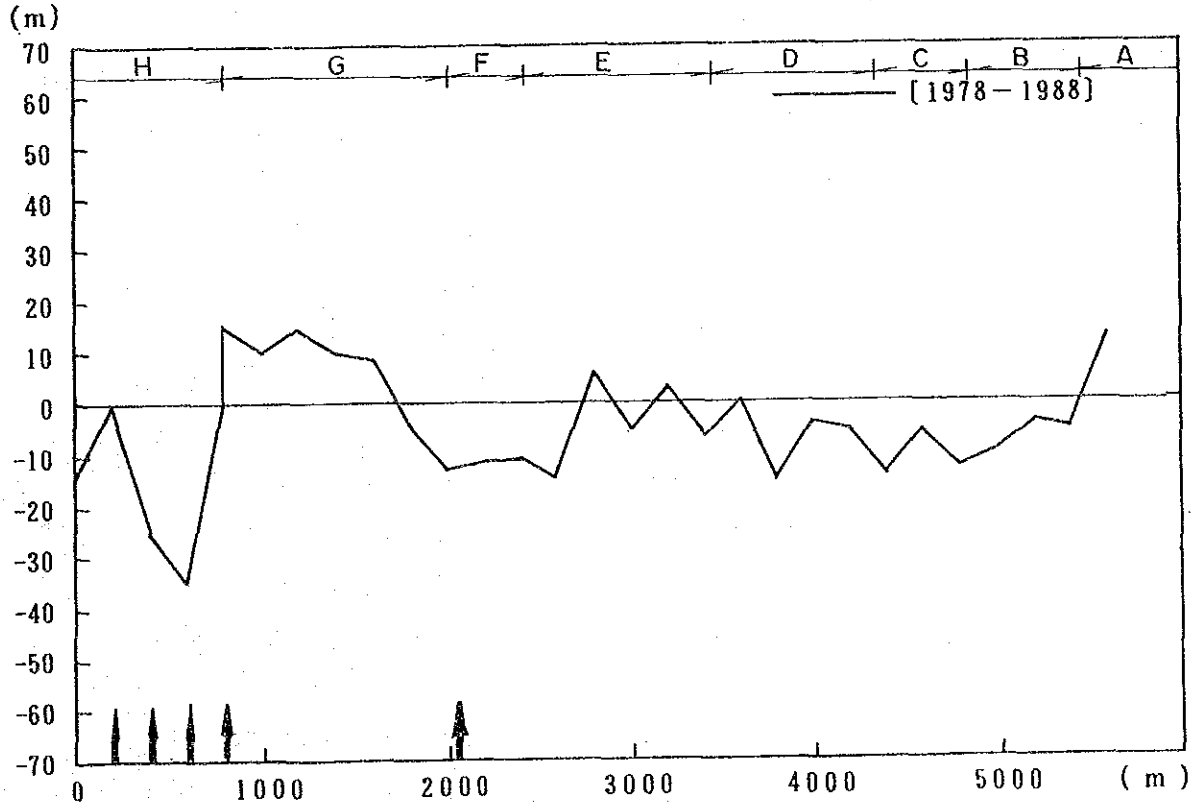


図 3-3-2-7　　汀線変化（サヌール）

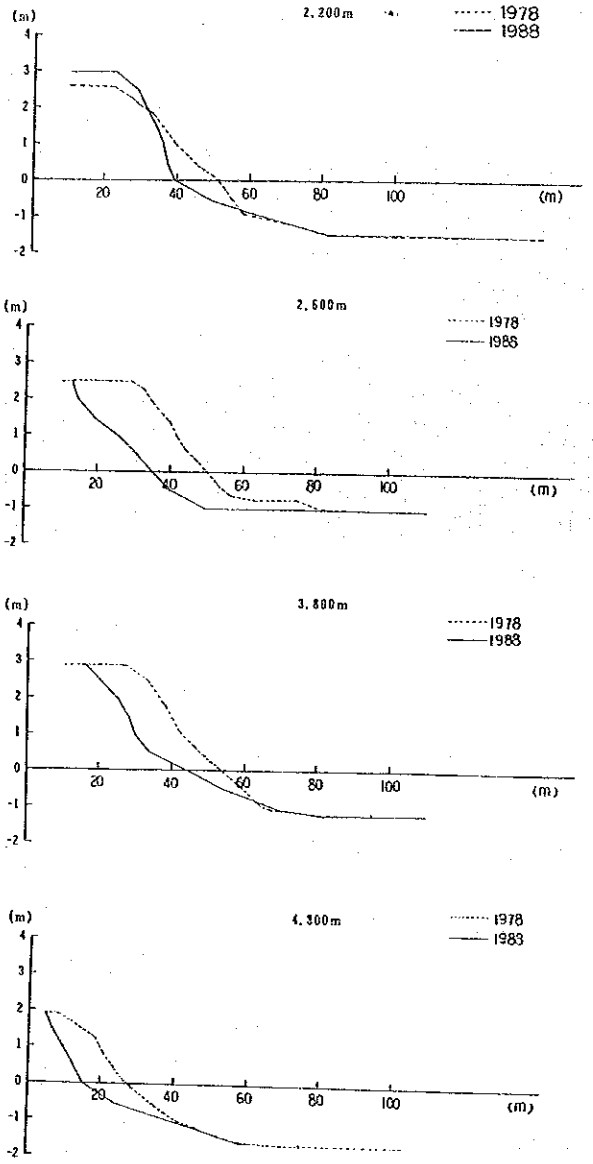


図 3-3-2-8　　海浜断面変化（サヌール）

第4章　海岸侵食の原因

(1) 一　般　論

海岸侵食は暴風時に最も顕著に進行するが、その他にもたくさんの自然及び人為的な諸原因があり、これらを検討しておく必要がある。

侵食の自然原因というのは、自然の作用に対する海浜の応答として発生するものであり、人為的侵食というのは、人間が自然系に対して手を加えた結果、生ずるものである。

自 然 原 因：

a. 海面の上昇

b. 沿岸域への土砂の供給の変化

c. 暴風による波浪と沖合へ向う海浜流

d. 越波と高潮による流失

e. 飛　砂

f. 沿 岸 漂 砂

人為的原因：

a. 地下資源の採掘による地盤沈下

b. 漂砂の阻止

c. 沿岸域への土砂供給の減少

d. 波浪エネルギーの海岸への集中

e. 海面変動量の増加

f. 自然の海浜保護機能の変更

g. 海浜からの土砂の採掘

(2) 調査地域の侵食原因

タナロットでは、海に面する島崖が波の作用で侵食していることが明らかであるが、その他の地点（クタ、ヌサドゥア、サヌール）は砂浜海岸であり、その侵食原因はいくつか考えられ、何が主因であるかは自明ではない。この問題を解く一つの手懸りは、数十年前まではこれらの海岸はほぼ安定していた（侵食も堆積の傾向もない）という伝聞である。

当時、海岸侵食が人々の関心事ではなかった可能性もあるので、その信憑性についてはやや問題はあるものの、深浅図や波浪に関する資料が不十分である現在、最近起った又は変化したことの内から侵食原因を捜すのが当を得ているように思われる。以下では領域A，B，C…を用いて説明するがこれらは図 3-3-2-1，4，7に定義されている。

1) ク　　タ

クタ・ビーチ特に領域Dでは、最近深刻な海岸侵食に悩まされている。その直接の原因は、高い波により砂浜が洗われて沖へ土砂が運ばれることである（自然原因ｄ）。蛍光砂観測期間中、D領域では砂は南から北へ動いており、主に南西から入射するうねりも砂を南から北へ運ぶものと理解される。空港の滑走路は、この南から北へ運ばれようとする土砂を阻止していると考えられる（自然原因f，人為原因ｂ）が、滑走路の南側に土砂の堆積傾向はない。これは滑走路に反射した波が土砂を反対方向に運ぼうとするためかも知れない。プルタミナコテージ前面は護岸で守られており、南西から入射する波も滑走路によりさえぎられて回折波以外はいってこないため、北への沿岸漂砂が抑えられており（人為原因ｃ）、逆に回折波による循環流により、プルタミナコテージ前面の一部には土砂の堆積がみられる。サンゴ礁の掘削により今迄より高い波が海岸に到達するようになっており（人為原因ｆ）、又サンゴ礁の発達していない海底、勾配の急な海岸線付近（領域F）から沖合へ土砂が流出している可能性が強い。（自然原因ｃ）

2) ヌサドゥア

ヌサドゥア・ビーチの領域B以外では、現存の突堤への土砂の堆積傾向から、主として北向きの漂砂が起こっていると考えられる。ヌサドゥアの名前の由来である２つの島は、昔は海岸から離れており現在は接続しているが、いずれにしても巨大な離岸堤と同様の効果をもつので、背後の海岸に沿岸漂砂の起こる余地はない（自然原因ｆ）。ここ数年の養浜の成果で、ヌサドゥア・ビーチは全体として堆積傾向を示している。しかし、蛍光砂及び流速観測の結果によれば、サンゴ礁が未発達の深みへ落ち込む土砂の流れを阻止するために建設されたU字形の離岸堤の背後へ未だ土砂が流失しているようである。（自然原因ｃ）

3) サヌール

サヌール・ビーチは、バリハイアットホテルとサヌールビーチホテルの間で海岸線が急に曲っている。この点から北側では漂砂方向は主に北向きであり、南側では南向きであることが、砂の堆積傾向や蛍光砂及び流速の観測から推定できる。この漂砂が突堤や離岸堤で阻止されたとき、その下手側で侵食がみられ又上手側または背後で堆積がみられる。領域ＣとＤでは、沿岸漂砂による流出量が流入量を上回るため侵食がみられる（自然原因ｆ）。前述の海岸線が急に曲っている地点の前面海域（この更に沖側に海谷がある）に砂の堆積がみられる。これは他所から運ばれた土砂がここに運ばれたものと理解されるが、一方流速観測によればこの海域から沿岸両方向へ流出する流れがみられている。これはヌサドゥアの海谷付近でみられた流れのパターンと定性的に逆である。これは観測結果が単に短い期間の現象を代表している可能性もあり、将来の検討事項とされる。

領域E（ワルダプラホテル前面）にある離岸堤により北向きの沿岸漂砂が阻止されるので下手側の領域Fでは侵食がみられる（人為原因b）。同じメカニズムでバリビーチホテル前面のヘリポートのために領域Hでも侵食が起こっている（人為原因b）。サンゴ礁の掘削により高い波がおしよせるようになっている（人為原因f）。

第５章　計画案の水理的検討

1.　水理模型実験

模型実験の目的は、リーフ海岸において砂移動を生じさせる波及び流れの挙動を明らかにし、侵食対策工の効果を確認することである。

平面水槽を用いた実験によって得られた主な結果を図5-1-3-21及び22にまとめた。クタ・ビーチの波高分布によれば、Ｔ型突堤の背後は静穏域が形成され、リーフによって囲まれた砂浜同様にサンゴ礁のない浜にも砂を堆積できよう。Ｔ型突堤をリーフ上に設置する場合には、リーフ幅の狭い所に堤体を配置するのは沖向きの強い流れを発生させるので適切な配置とは言えない。従ってＴ型突堤の配置はリーフ幅の狭い箇所を避けてクタ・ビーチでは図5-1-3-21のＣ′）のように設置する方が望ましい。

ヌサドゥア・ビーチの波高分布と流況から判断すると、提案された侵食保全対策案では汀線近傍に静穏域が広く形成されるので砂浜の維持に効果があると考えられる。

次に、リーフ帯に入射してくる波の砂浜への遡上高を対策案に対する実験結果に基づき検討する。クタ・ビーチの砂浜前面の測定波高Ｈ＝1.5ｍ、ヌサドゥア・ビーチのＨ＝1.0ｍと測定周期Ｔ＝12秒とが、沖波波高と周期に各々対応すると仮定して、波の遡上高（Ｒu)を算出した。その結果、クタ・ビーチではＲu ＝1.2ｍ、ヌサドゥア・ビーチではＲu ＝1.0ｍと算出された。ただし、深浅測量結果より前浜勾配を $\cot\beta=15$ としている。クタ・ビーチの平均水位上昇量約0.4ｍ、ヌサドゥア・ビーチの平均水位上昇量約0.6ｍとＭＨＷ（＝ＭＳＬ＋1.3ｍ）とを考慮すると、実際の前浜部に遡上する高さは両海岸ともＭＳＬ＋2.9ｍとなる。従って、沖波波高H_0＝5ｍ、T_0＝15秒、水位ＷＬ＝ＭＳＬ＋1.3ｍという厳しい条件下で、リーフ上に入射してきた波は前浜上のＭＳＬ＋3.0ｍ程度まで遡上すると予想される。これより養浜の天端高は最低でもＭＳＬ＋3.0ｍにすべきである。

二次元水路実験結果によれば、リーフ上の底質掘削は、リーフ上の波高を一層増大させるので悪影響を及ぼす。

2. コンピュータ・シミュレーション

シミュレーションに使われるモデルはいくつか考えられるが、ここでは問題の性質と使えるデータから判断し、ワンラインモデルを使用する。ワンラインモデルは一次元モデルであり、砂浜海岸の汀線の前進後退を取り扱う。

ワンラインモデルによるシミュレーションは以下の手順による。まず、過去のある時点（例えば10年前）から、その後のある時点（例えば現在）までに観測された汀線変化をこのモデルによって最もよく再現する代表波を決定する。次にその代表波を用いて、対策工の施された海岸線の将来の変化を予測することになる。

(1) ク　　タ

図 5-2-4-1に養浜を保護するために設置された3基のT型突堤と2基の直突堤からなる対策工が示されている。

図 5-2-4-2は、対策工を設置したときと現在のままで各々10年後にどのような汀線に変化するかを示したものである。実線は対策工あり、破線は無しの場合である。図 5-2-4-3はこの期間の総沿岸漂砂量である。これから以下のことが分る。

1) 対策工を設置しないと侵食が更に進行する。
2) 提案された対策工は沿岸方向に移動しようとする砂を捕捉するのにほぼ十分な長さを持っている。
3) 一対の対策工により捕捉された砂はその汀線が入射波に垂直になるように分布する。

(2) ヌサドゥア

図 5-2-4-6にヌサドゥア・ビーチに提案された対策工が示されている（6－3節参照）。

図 5-2-4-7は汀線変化を図 5-2-4-8は沿岸漂砂量を表わしている。これから、対策工を設けた場合の汀線変化について次のことがいえよう。一番右の防砂堤（x＝1,200)と右端の島（x＝1,900 ）の間の汀線は安定である。その防砂堤とU字型離岸堤との間では離岸堤をとりはらったために砕波により放出されるエネルギーが一様になり図5-2-4-7 に示されるように汀線を向ければ安定汀線が得られよう。又、U字型離岸堤と伸長した防砂堤の間（300＜x＜600）ではかなりの量の砂が動くであろう。

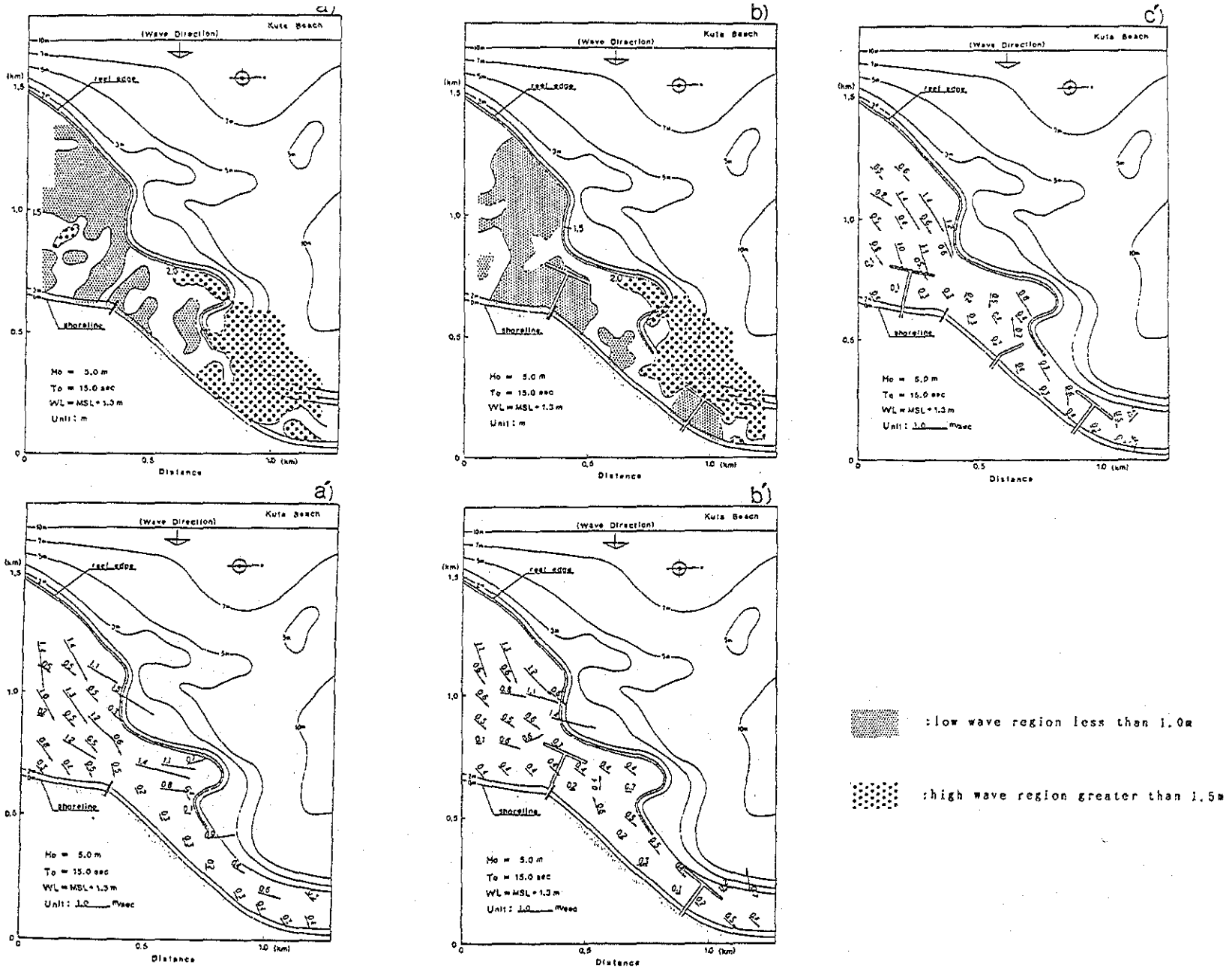


図 5-1-3-21　　クタ・ビーチにおける水理模型実験結果

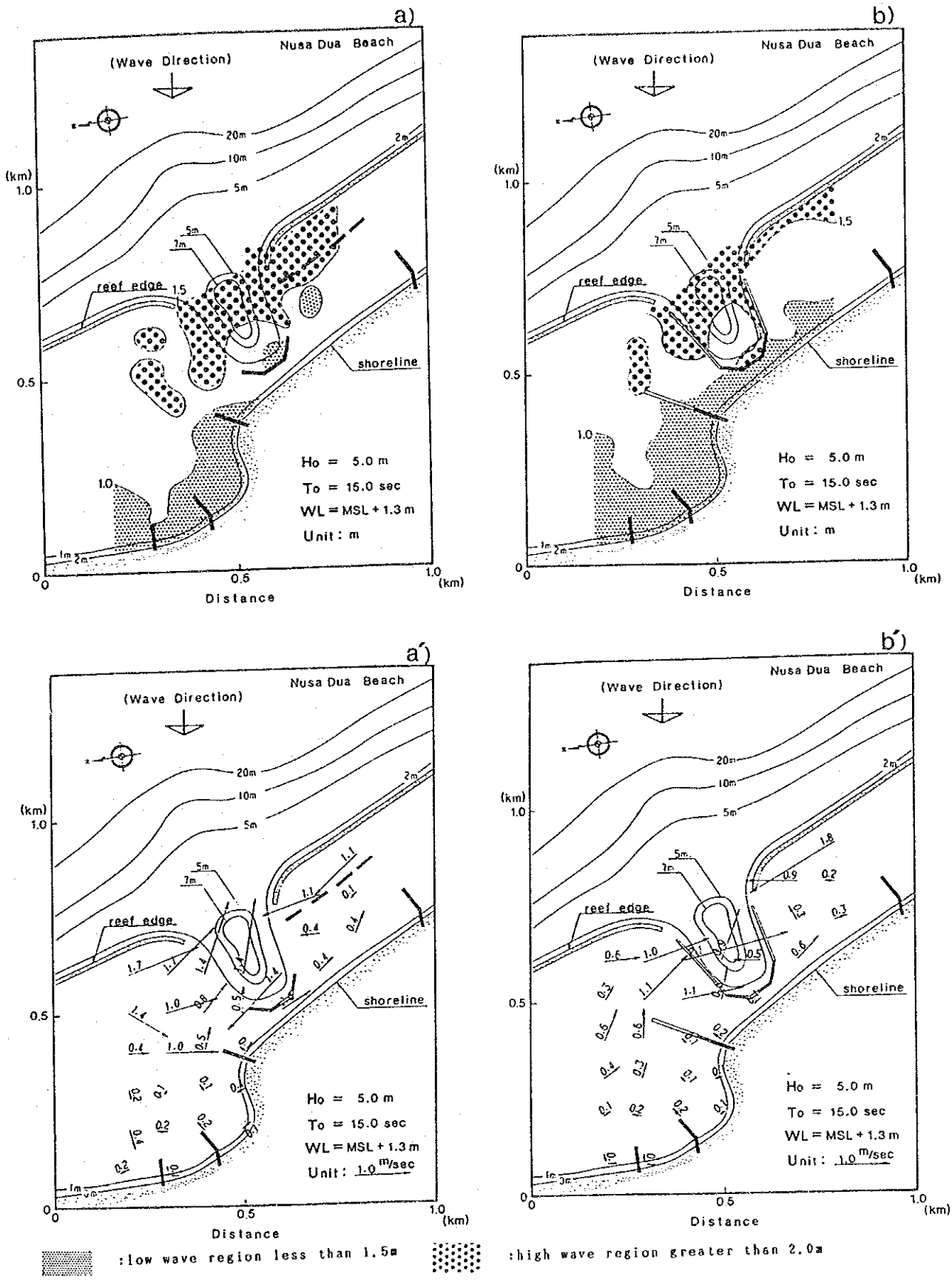


図 5-1-3-22　　ヌサドゥア・ビーチにおける水理模型実験結果

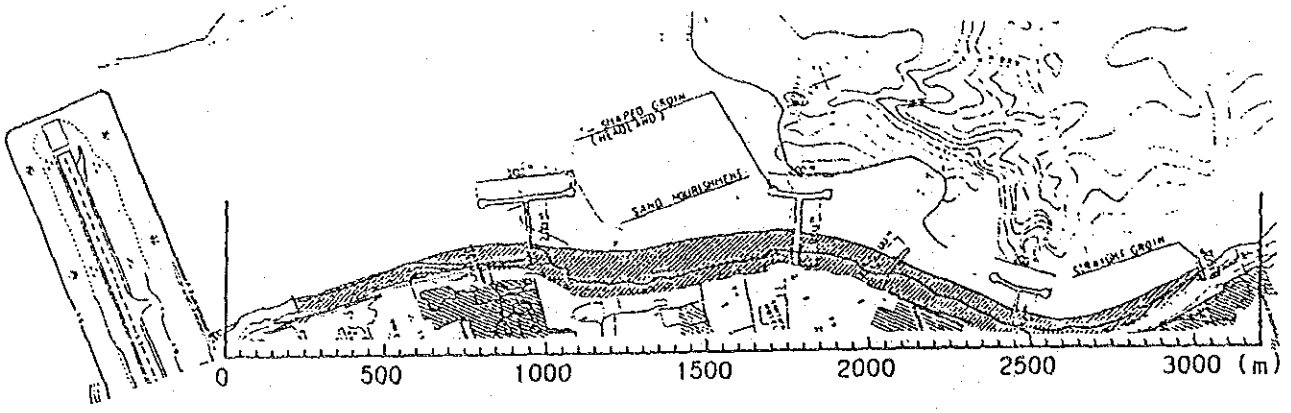


図 5-2-4-1　　対策工1.（クタ）

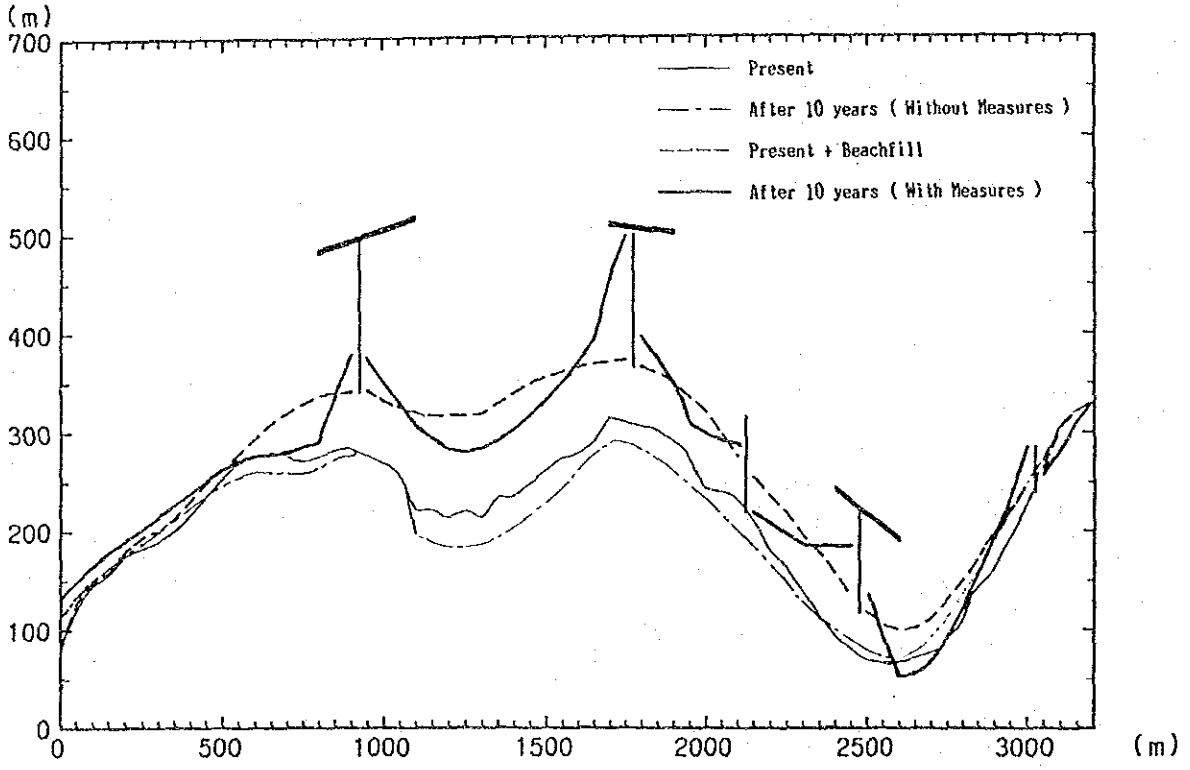


図 5-2-4-2　　汀線変化予測（対策工1.クタ）

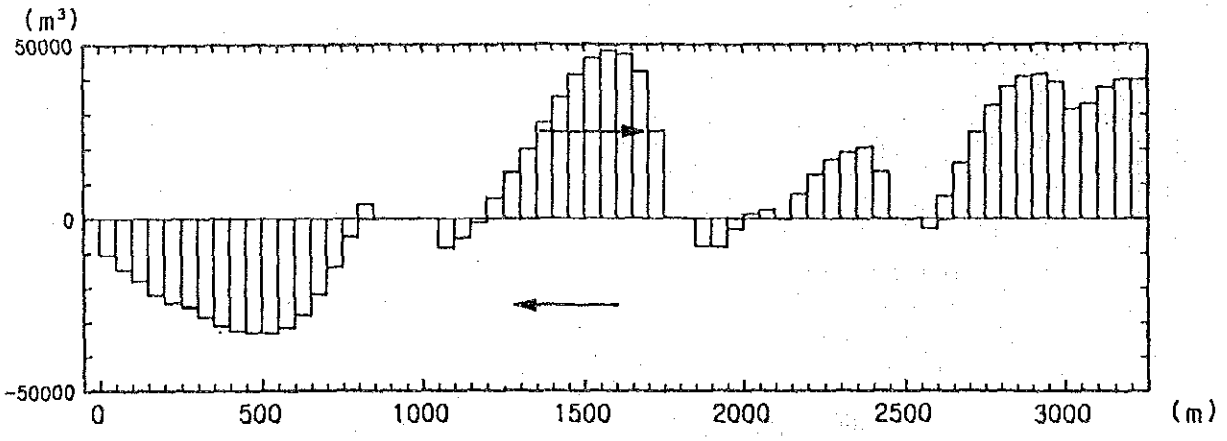


図 5-2-4-3　　総沿岸漂砂量（クタ）

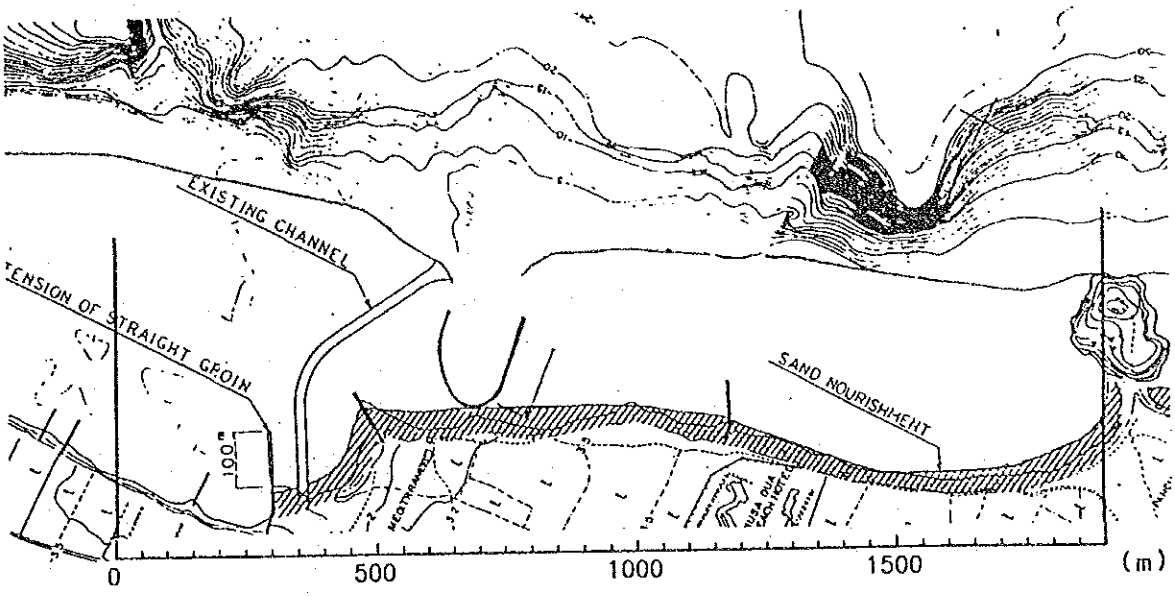


図 5-2-4-6　　対策工（ヌサドゥア）

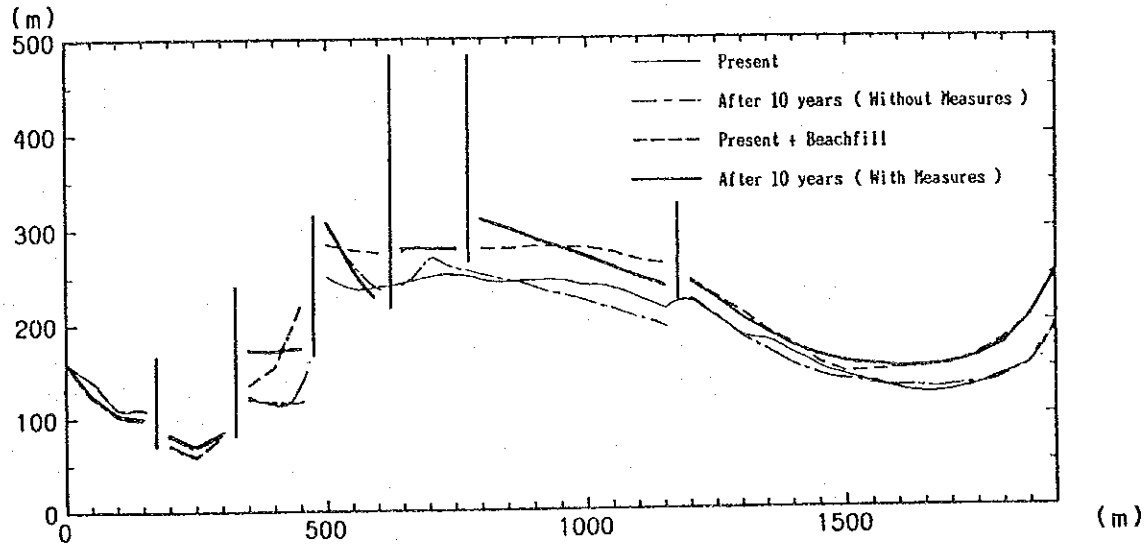


図 5-2-4-7　　汀線変化予測（ヌサドゥア）

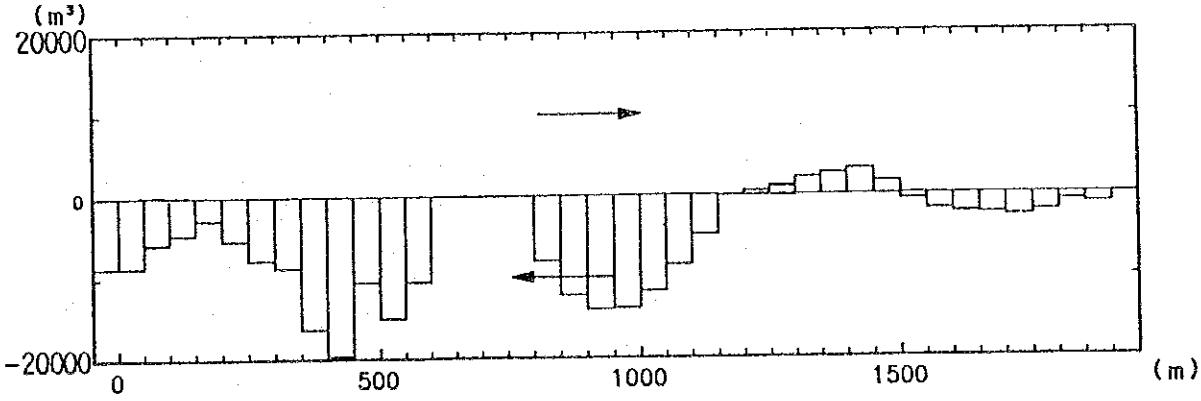


図 5-2-4-8　　総沿岸漂砂量（ヌサドゥア）