

するため、政府はMOWに対策を命じ、MOWは直ちに対策を立て、次の施策を実施した。

- a) サリーによる被害実態を調査した。
- b) アバルア海岸に延長700mの海岸保全工事を実施した。
- c) 太平洋州諸国の過去の経験に基づいて新たな建築基準を作成し、配布を行なった。

建築基準は近隣諸国と協調して、注意深く人々が容易に理解できるように作られ、各種の図表もつけられている。この基準は1989年から試行されており、サイクロンの力に耐えるよう最低限の建築構造上の基準が示されている。

4.5.4 1991年に実施された海岸保全工事

政府の政策に従い、MOWは緊急海岸保全計画を準備した。この工事は海岸埋立と斜面保護とでなっている。前者は海岸道路と海岸までの空間の拡張を目的とし、後者は埋立地を侵食から守るために斜面の表面に被覆石を敷設することである。国の予算約百万ドルがこの工事に使用された。アバルア港東海岸の保全工事も1992年度の予算に計上されたといわれる。この新しい埋立地はサイクロンの波に対し有効な緩衝帯となる他、この島の一番混雑しているこの地に公共用地をもたらず効果もある。

アバルア海岸での工事は1991年8月に開始され、1992年3月にはほぼ90%が完成した。約8ヶ月でMOWは素晴らしい仕事を行なったことになる。工事の仕上げも良く1992年3月のサイクロンGeneではその効果を十分に発揮した。緩衝帯は第二海岸道路や駐車場として整備され、海岸保全と公共用地確保を同時に行なったことになる。調査団はMOWおよびクック政府の努力に敬意を示したい。

この工事の埋立材料はアリテトンガ村の海岸から掘削した珊瑚礫である。全ての掘削地は海岸のすぐ背後であった。しかし、この掘削跡は元あったものよりかなり細かい一般土砂で埋戻された。アバルアでの海岸保全工事が他の海岸に被害を起こさぬよう配慮されることが望ましい。

4.5.5 環境保全

海岸一般の管理はプエ村にあるConservation Depで監視調整されている。この局

は高潮汀線の海岸線から50m内にある海岸地域のいかなる変化も監視する。同局によれば、海岸環境保全基準を検討中で、1992年中頃までに政府の承認を受けて施行されるとのことである。同基準では監視区域や排水規準等が述べられているとのことである。

この局はサリーによる海岸地域の被災を示す地図を作成した。これには次のものが示されている。

- 1) 地 形
標高、潮流の方向、道路、河川、湿地、リーフ線
- 2) 土 質
礫、泥、砂、珊瑚性基盤、石灰岩、火成岩、海岸勾配
- 3) 海岸保全構造物
被覆石、コンクリート壁、突堤
- 4) 被害記録
サリーによる被害、高侵食帯、低侵食帯、堆積地帯、安定海岸

MOWで準備された被災記録と合せ上記の記録は海岸保全計画の立案に極めて有効である。この局は海岸での秩序ある開発のための土地利用に関する適切な提案ができると期待されている。海岸地域の改変に対する監視は地形的観点からだけでなく、水質、自然景観や海洋生物を含む、自然環境も取り入れるよう期待される。

この局は海岸での珊瑚礫掘削に関する認可判断にも参加すべきだろう。村民の実態調査によると、海岸地域の掘削には多くの人々が関心を持っている。政府は1988年から海岸での砂の掘削を禁止している。

注：報告書で多用する技術用語の定義を次頁以降に示す。

技術用語の定義

1) リーフ (Reef)

リーフはほぼ平均潮位の高さでラグーンの手側端部にあり、その先は珊瑚崖で深海に連なっている。ほとんどの波はここより300mの沖合より浅い部分で碎波する。珊瑚崖は水深3mのところであり、ここからは比較的平らな海底面が緩やかな勾配でより深海部に続いている。

2) ラグーン (Lagoon)

ラグーンはリーフと汀線の間にある珊瑚基盤でできた平坦な水域をいう。この水深はリーフ上端の水深とほぼ同じである。幅は島の東北部での10mより南部の700mまで変化する。ラグーンはリーフ波が作用したあと、波の残留エネルギーを少しずつ減少させる自然の緩衝帯である。ここでは波の動的エネルギーが静的エネルギーに変わることによって水位は上昇する。これは海岸斜面に波の遡上が多発する理由の一つである。珊瑚基盤は珊瑚性の砂が化学的作用で結合したものであり、前浜水際線付近で露頭している様子が良く見られる。

3) ビーチ (Beach)

ビーチはラグーンの手側端部と人が住んでいる平坦地の間にある海浜斜面をいう。斜面勾配は場所により異なるが1:2ないし1:10である(1:2、1/2または50%の傾斜勾配というのは水平距離に1mで高さが0.5m高くなる勾配である)。

ビーチの天端はMSL+2mから+6.0mである。ビーチは主に珊瑚礫からできている。ビーチの先端には珊瑚砂がある。しかし前述のように基盤が露出している地域もある。ビーチの上端はつる草やつた類が生えている。あるビーチでは上端部に人工的な盛土が見られる。

ビーチは前浜と後浜の2つに区分できる。前浜は斜面の低い部分でいつも波が打ち上がっている。また後浜はサイクロンで発生した波が打ち上がる斜面の高い部分をいう。侵食海岸では多くの場合、後浜後部に段丘が見られる。

4) コースト (Coast)

コーストは海浜斜面の背後にある比較的平坦な海岸地域をいう。ここにはココナツやutuなどの樹木の生える自然林が見られる。自然の海岸では20mから50mの幅があり、ここには砂とともに珊瑚の破片が堆積する。樹木と石塊が混在している海岸地域は波の遡上や越波に対し適当な緩衝帯となっている。

5) 海岸地域 (Coastal Area)

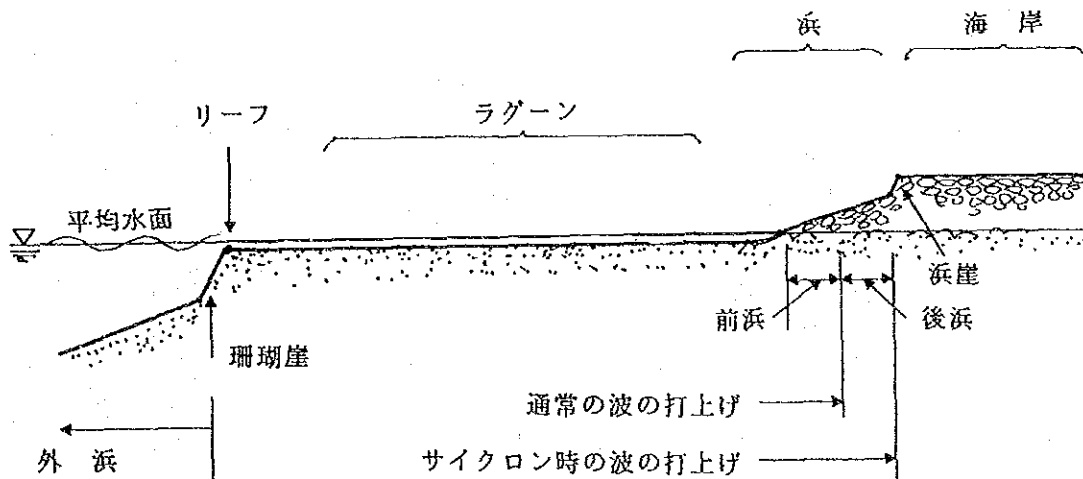
この調査では海岸地域とは、浜と海岸とそこから陸側で過去において波や異常水位上昇が作用したり、また将来被災が予想される陸域をいう。海外保全の対象はこの海岸地域の防災対策である。

6) パッセージ (Passage) : 天然水路

パッセージとは河口のラグーンに欠けた天然水路状のところをいう。ここは水深が深く船舶の出入航路となっている。この島にはいくつかの天然水路がある。現在このうち3ヶ所は港への進入航路として利用されている。アバルア、アバチウ天然水路はそのうちで最も開発されたものである。これらの水路は次のようにして形成されたものと考えられる。

- a) 河川から流出された清水が海生生物の生育を抑えた。
- b) 洪水時の清水に含まれる微粒子が海生生物に影響した。
- c) 離岸流が海生生物に影響した。

天然水路はラグーン上での異常水位上昇による沿岸流が深海部へ逆流する際の水路でもある。この天然水路はラグーン水位上昇を緩和しているものと思われる。しかし大きな波が水路を通り容易に浅水域まで伝達される。戻り流れ（離岸流）が進入波のエネルギーを相殺しているかもしれぬという報告もある。



7) 潮位

潮位とは天文潮のことで、太陽や月の引力によって生ずる海水面の上昇や低下である。将来の定められた時間での潮位は計算で求めることができ、潮位表として公版されている。

8) 気象潮

気圧による水位の変化である。サイクロンの際の低気圧で水面が吸い上げられることによって上昇する。潮位表の値は気圧が1013mbの場合の水位である。1mbの気圧低下は1cmの水位上昇をもたらす。

9) 異常水位上昇

上述 2) ラグーンの項で説明したように、サイクロン時にラグーンでの水位が上昇する。この水位上昇より潮位や気象潮を差引いた純増分を異常水位とよぶ。

10) 波

通常波は風によって起こされる。強い風が長時間吹くと大きな波が生まれる。ある一定期間波を観測してみると波高は一定でなく大きい波や中位の波や小さい波の組み合わせとなっていることが分かる。この天然の状態を不規則波とよぶ。例えば、サイクロン前後の波を予測して見ると次のようになる。

(単位 : m)			
日 時	最高波 (H _{max})	平均波 (H)	有義波 (H _{1/3})
5日前	3.0	1.3	2.0
4日前	3.0	1.3	2.0
3日前	4.5	1.9	3.0
2日前	6.5	2.7	4.3
1日前	8.0	3.4	5.3
当 日	12.2	5.1	8.1
1日後	10.2	4.3	6.8
2日後	7.5	3.2	5.0
3日後	5.5	2.3	3.7
4日後	3.0	1.3	2.0
5日後	3.0	1.3	2.0
6日後	3.0	1.3	2.0
7日後	3.0	1.3	2.0
8日後	3.0	1.3	2.0
9日後	3.0	1.3	2.0
10日後	3.0	1.3	2.0
11日後	3.0	1.3	2.0
12日後	3.0	1.3	2.0
13日後	3.0	1.3	2.0
⋮	⋮	⋮	⋮
95日後	3.0	1.3	2.0
合計 100日			平均 2.2

注：最高波、平均波、有義波等の意味は12.2.1項に説明してある。これらの波は“沖波”といわれ、屈折や回折の影響を受けていない波である。構造物の設計や港の静穏度解析にはその時の波群を代表する波として有義波を使用している。

前出の表が設計対象サイクロン時の波を表わすとすれば、

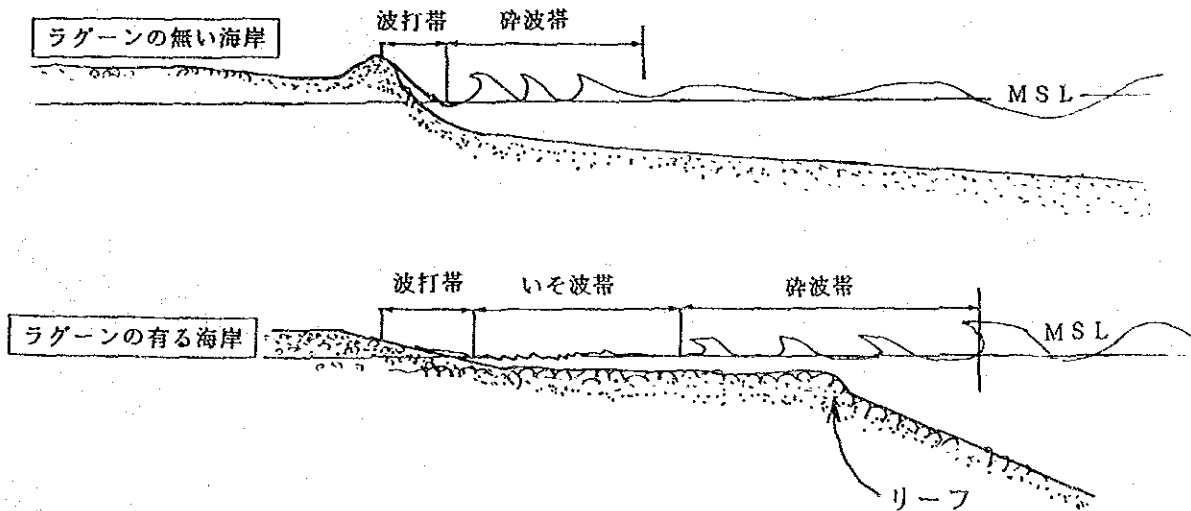
- ・ 構造物設計用の設計波 …… 8.1m
- ・ 沖波が4 m以上では港が使用できないときの静穏度は、
 $(100 - 5) \div 100 = 95\%$

ということになる。

沖波が浅海域に接近すると、海底や地形の影響を受けて波形が変化する。変化の要素は次の3つである。

- ・ 屈折によるもの
- ・ 回折によるもの
- ・ 浅海変形によるもの

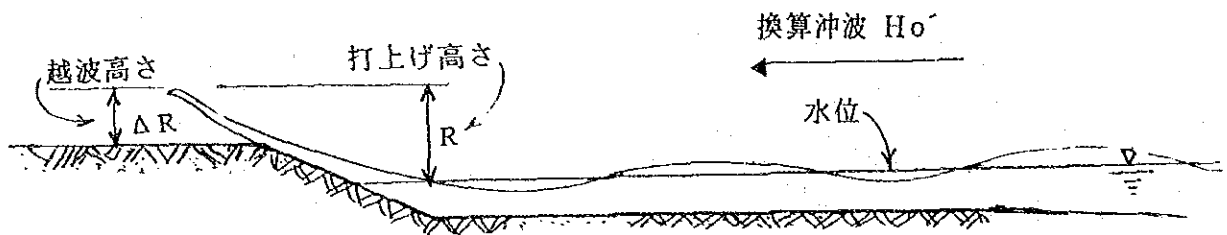
このうち屈折と回折の影響を考慮した沖波を“換算沖波”と呼ぶ。波がさらに海岸に接近すると碎波帯に到達し、さらに変化する。碎波帯より海岸までの波の変形を下図に示す。



ラグーンの無い海岸では砕波帯が汀線に近くなり、砕波後直ちに海岸の打上がることとなる。一方、ラロトンガの海岸のようにラグーンのある海岸で砕波帯はリーフまたはそれより沖側になる。砕波した波はラグーン上の“いそ波帯”を通過し海岸に打ち上がる。

11) 波の打上げ

波の打上げとは波が水際線に到達した際、その地点の海浜や護岸に打上がる状態をいう。波の動的なエネルギーは一部消費され、残されたエネルギーは反射波となって沖合に戻る。打上げ高さは水際線付近の水位よりの高さで表示する。



打上げ高さを求める場合、一般的には前出の“換算沖波”を使用する。

打上げ高さを求める場合、一般的には前出の“換算沖波”を使用する。

12) 越 波

越波とは、海浜天端や護岸天端を越えた波の打ち上げである。越波高さは前出の図で ΔR として示した高さである。

波による陸上施設の被災は主にこの越波による。被災は単位時間の越波流量と関係があるとされている。越波流量は ΔR の関数として求めることができる。

第 5 章 波浪や異常水位による被災

第5章 波浪や異常水位による被災

サイクロンによる被災は国土の消失と陸上施設の破壊とに分けて考えられる。前者は海岸段丘が異常水位上昇をともなった高波に襲われた時に生じ、後者は海岸近くにある諸陸上施設が強風をともなった高波に襲われた時に起きる。この章では主にサイクロン時の波と水位上昇によって海岸域に生ずる諸々の災害について検討して見たい。

調査団の行なったサイクロン災害実態調査によれば、強風によって施設災害の約80%が起きていることが分かる。しかしながら、海岸保全の目的は主に波や水位上昇による海岸侵食や施設破壊対策にある。従って、この章では被災の種類、過去の被災記録およびそれら災害の主原因等につき分析してみたい。特にラロトンガ島での水位上昇、波の打上げおよび侵食機構などの特性を概観してみたい。また、開発行為と災害の関係および海岸保全の目標などについても検討することとする。

本調査の計画対象サイクロンは1987年のサリーである。実態調査によれば、サリーは全海岸で既往最悪であったとされている。また、サリーに関する資料や記録も多いので計画の立案が進めやすい。

5.1 被災の種類

5.1.1 被災記録

政府の2省庁（MOWおよびConservation Dep.）でサリーによる被災記録が作られた。

a) サリーによる物質的損害

他の政府機関の協力を得て1987年にMOWがサイクロン来襲直後にとりまとめたものである。この調査は公共および民間の主に物的損害に焦点を当てている。調査記録には次が示されている。

- 被災者
- 施設
- 復旧に必要な材料費によって被害の程度を示す。

b) 水際線付近の主要な被災

この調査は1989年6月にConservation Dep.がSurvey Dep.の協力を得て行なったものである。すべての調査記録が地図上に表示されている。記録は主に侵食を含む汀線付近の被災を対象としている。図5-1-aを参照されたい。

これらの既往の調査記録の他に調査団は過去の海岸災害に関して村民を対象とした実態調査を実施した。4.4節に同調査の概要を示してある。これらの調査結果より、サイクロンの波や異常水位による被災は次のように分類できる。

a) 直接的被害

定量的に表示できる被害で次のとおりである。

- 陸上施設の被害
- 海岸決壊や海浜侵食

本章はこの種の海岸災害の分析を行なうことになる。

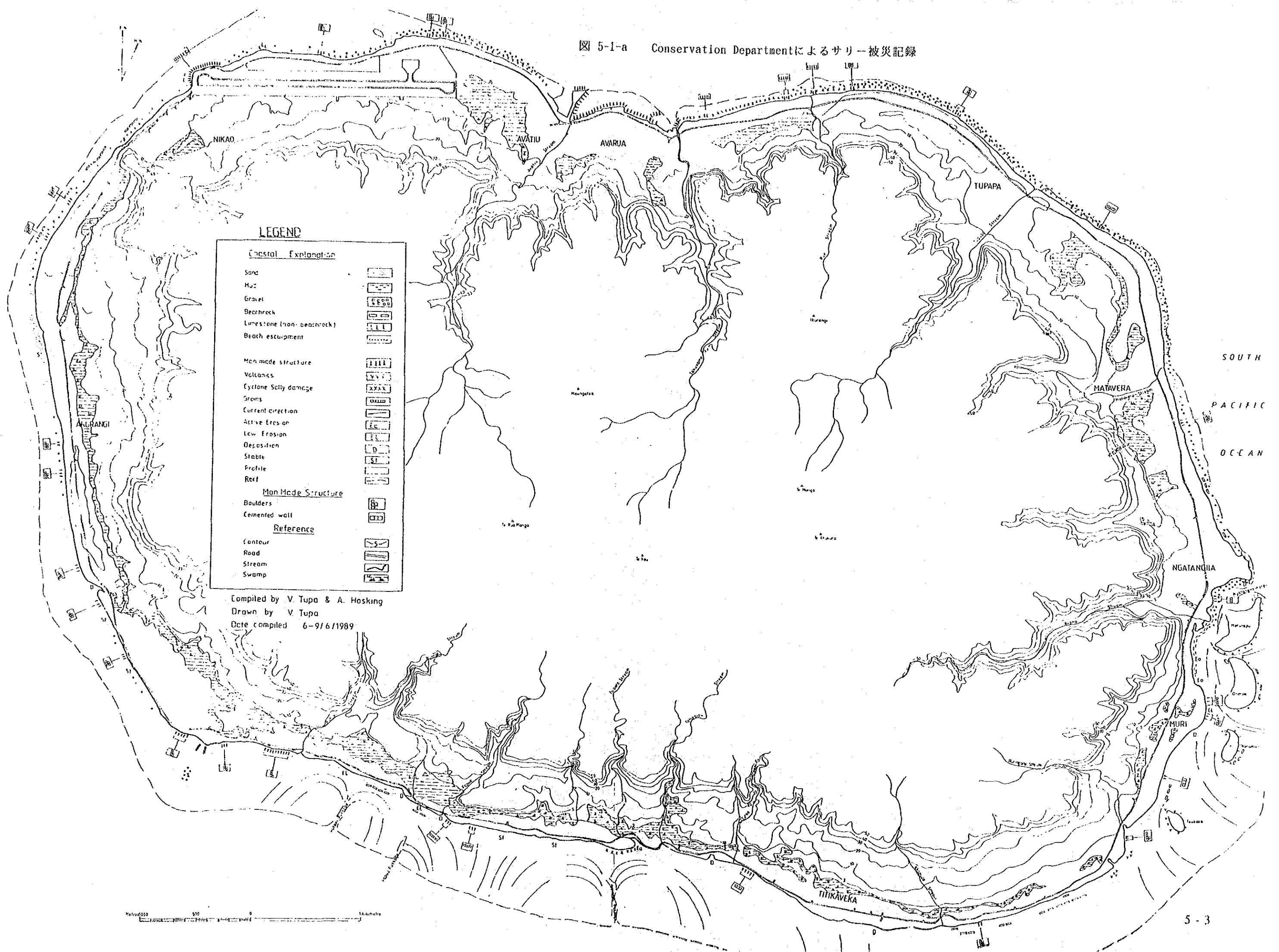
b) 間接的被害

定量化の困難な被害で次のとおりである。

- 環境面への悪影響
- 国の経済への悪影響
- 保険が適用されないことによる損失
- その他

注：国の経済とこれら被災とのかかわり合いについては、報告書第2編短期計画のフィージビリティスタディの中で検討されている。

図 5-1-a Conservation Departmentによるサリー被災記録



LEGEND

Coastal Explanation

- Sand
- Mud
- Gravel
- Beachrock
- Limestone (non-beachrock)
- Beach escarpment

Man made structure

- Volcanics
- Cyclone Sally damage
- Stairs
- Current direction
- Active Erosion
- Low Erosion
- Deposition
- Stable
- Profile
- Reef

Man Made Structure

- Boulders
- Cemented wall

Reference

- Contour
- Road
- Stream
- Swamp

Compiled by V. Tupa & A. Hosking
 Drawn by V. Tupa
 Date compiled 6-9/6/1989

Metres 0 500 1000

5.1.2 サイクロン

1987年1月のサイクロンサリーによる施設災害の記録が前述のように2省庁によってまとめられている。しかし、ラロトンガ島を襲ったサイクロンはサリーばかりではない。実態調査より過去のサイクロンの災害強度を見てみたい。調査結果で明確なことは海岸災害に関する最強のサイクロンはサリーで全海岸におよび、他のサイクロンに比較して際立っている。表5-1に村民の被災実感によって分類した各サイクロンの災害強度を示した。

表5-1 サイクロンと災害強度

単位：回答数を％で表示

No	サイクロン名	年	波に関する最強サイクロン(%)	波及び風に関する最強サイクロン(%)	順位
1.	Peni	1990	4.9	31.5	第2位
2.	Sini	1990	0	0.6	
3.	Wini	1987	0	2.2	第1位(最悪)
4.	Sally(サリー)	1987	88.5	49.7	
5.	Ima	1976	1.6	1.1	
6.	Charlie	1976	0	3.3	第3位
7.	Dolly	1965	4.9	10.5	
8.	Ofa	-	0	1.1	
			100.0%	100.0%	

出典：MOPEDと調査団合同チームによる実態調査

波や異常水位による被災よりみると、1987年のサリーが最悪である。引き続き主に風による被災であるが、1990年のペニーおよび第3位は1965年のドリーである。調査団の推算による上位2サイクロンによる波の強度は次のごとくである。

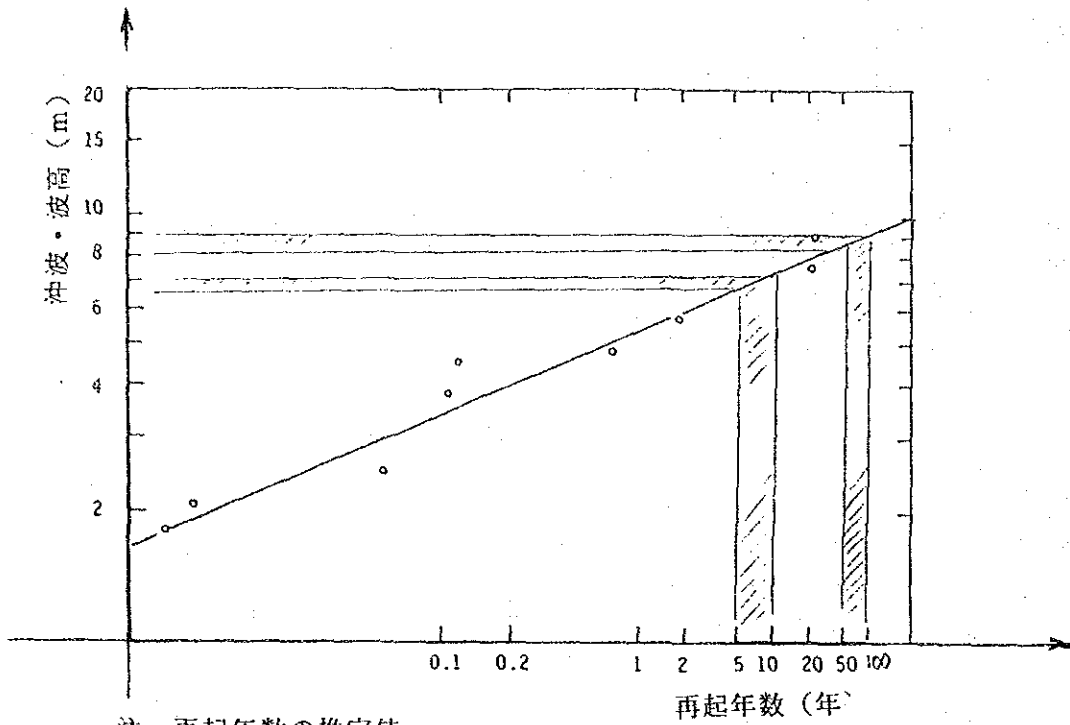
サイクロン名	波高(m)	波の周期(秒)	波の方位
Sally	8.1	12.5	N 6° W
Sally	7.1	13.1	N 21° W
Peni	3.4	7.3	S

出典：調査団

注：表に示される波は沖波有義波である。浅海域の実際の波は海底地形の影響を受けて変化する。

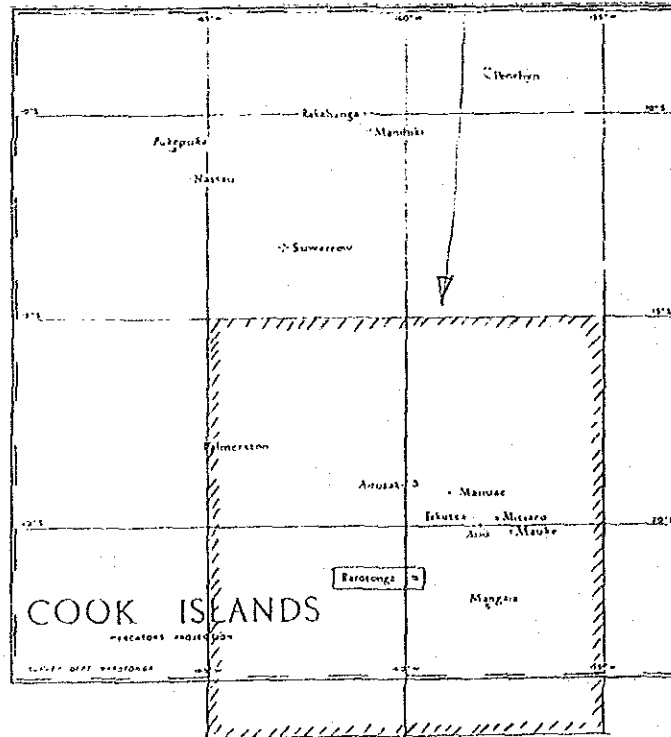
この報告書で取り扱う施設災害調査はサイクロンサリーによってもたらされたものに関してである。図5-1-bにラロトンガ島におけるサイクロン波の強度別再起年数を示した。サリーのような8.1mの沖波は30年に一度生ずることになる。

図 5-1-b ラロトンガ島でのサイクロン性沖波の再起年数



注：再起年数の推定値

は対象海域を下に示す grid square No 5 (15.0-25.0°S, 155.1-165.0°W) の船舶情報による。



5.1.3 陸上施設への直接的被害

MOWの行なった被害調査の範囲は、極めて広いものであった。これは公共インフラ施設を含むほとんどの開発が海岸道路に沿ってなされたためである。陸上施設そのものの被害は公共施設と民間施設に分けて考えることができる。MOWによる調査結果に示された被災施設の分類項目を次に示す。

a) 公共施設

- － 政府機関の建築物
- － 教会および付属建築物
- － 病院および公会堂
- － 上水道施設
- － 電力施設
- － 道路および雨水排水施設
- － 橋および排水カルバート
- － 河川治水工
- － 前浜侵食防止工
- － その他

b) 民間施設

- － 民家
- － ホテルおよびモーテル
- － 店舗およびマーケット
- － その他

5.1.4 水際線での直接的被害

サイクロン来襲のたびに波や沿岸流で水際線付近の堆積物が流出し、海浜が狭くなる。この海浜災害は砂のような細粒子の消失と珊瑚礫などの粗大な堆積物の消失とに分けて考えてみたい。本報告書ではこれを明確に分けて検討することとしたい。

a) 細粒子の消失 : “海浜侵食”とする。

b) 粗大粒子の消失 : “海岸侵食”とする。

前者は細粒子が沿岸流の影響を受けやすいため小規模のサイクロンでも発生するだろう。一方、後者は大型のサイクロンによって引き起こされるものと考えられ

る。時には珊瑚礫等の粗大粒子が海岸陸側に打上げられ、そこに堆積することにより海岸地盤を高めることもある。海岸地帯は基本的に長時間このような堆積現象が累積することで成長してきたと考えられる。水際線被害は汀線付近の人工的な埋立地が流出する形をとることもある。

c) 埋立地の消失

この手の被災は埋立護岸の基礎が十分でない場合等に生ずる。

5.2 サイクロンによる過去の直接的被害

この節ではサリーによってもたらされた直接的な被害について検討したい。1987年1月にMOWが発表した報告書「ラロトンガ島におけるサイクロン被災復旧計画」より引用した。

5.2.1 概 要

報告書は公共および民間施設双方の広範囲な被害を取り扱っている。復旧対策費のうち材料費が詳細に検討されている。材料費の要約を表5-2に示す。国土消失による損害額は次のようにして求めた。

$$C = L \cdot E \cdot P$$

ここに、C : 国土消失による被害額

L : ラロトンガ島の全海岸面積

E : 全31,000mの海岸の平均侵食幅 1.8m

P : 平方m当りの平均土地価格

土地価格は1992年2月調査団がLand Commissionの協力を得て調査したところ、現在の平方m当りの平均土地価格は約40ドルである。1987年の土地価格は28%割り戻して求めることとした。

従って、 $P = 33 \text{ドル}/\text{m}^2$

ゆえに、 $C = 31,000\text{m} \times 1.8\text{m} \times 33 \text{ドル}/\text{m}^2$
 $= 1,841,400 \text{ドル}$

表5-2 サリーによる災害の復旧材料費

単位：千ドル（1987年代価）

復 旧 項 目	波による災害分	全災害分
a) 公共施設		
— 政府機関の建築物	230.2	1,033.0
— 教会および付属建築物	3.2	58.7
— 病院および公会堂	5.1	93.5
— 上水道施設	90.1	409.7
— 電力施設	—	—
— 道路および雨水排水溝	440.3	1,407.0
— 橋、排水カルバート、河川治水工、 前浜侵食防止工	875.0	1,750.0
— 国土損失*	1,841.4	1,841.4
— その他（上記計の20%を計上） 3,485.3×0.2=	697.1	1,318.7
小 計	4,182.4	7,912.0
b) 民間施設		
— 民 家	189.2	1,719.7
— ホテルおよびモーテル	3.6	65.5
— 店舗およびマーケット	7.6	68.8
— その他（上記計の20%を計上） 200.4×0.2=	40.1	370.8
小 計	240.5	2,224.8
材 料 費 の 合 計	4,422.9	10,136.8

注 1. 原報告書に示されている他島の費用は除外している。

2. 波による災害とはMOW報告書のデータを波のみによる災害に分離したものである。

3. 全災害分は強風による災害も含んでいる。

4. 「国土損失」と「その他」は調査団が前述の手法で推定して加算した。

実際の工事には材料費の他、労賃、機械および燃費などが加算されねばならない。工事の性格を考え、費用構成を次のように想定してみたい。

費用構成	構成比率
材料費	25%
労賃	25%
機械損料	20%
燃料代	10%
管理費他	20%
合計	100%

これらから分かるように、実際の工事費は材料費の約4倍に達するだろう。表5-3に1992年現在価格でサリーの波による被災の復旧に必要な費用を示した。

表5-3 波による被害の復旧に要する総費用：サリー

単位：千ドル（1992年代価）

復旧項目	波による災害分
a) 公共施設	
- 政府機関の建築物	1,151.0
- 教会および付属建築物	16.0
- 病院および公会堂	25.5
- 上水道施設	450.5
- 電力施設	-
- 道路および雨水排水溝	2,201.5
- 橋、排水カルバート、河川治水工、 前浜侵食	4,375.0
- 国土損失*	2,356.9
- その他（上記計の20%を計上）	
10,576.4 × 0.2 =	2,115.3
小計	12,691.7
b) 民間施設	
- 民家	946.0
- ホテルおよびモーテル	18.0
- 店舗およびマーケット	38.0
- その他（上記計の20%を計上）	
1,002.0 × 0.2 =	200.4
小計	1,202.4
被災害合計	13,894.1

- 注 1. 「国土損失」の増加率は5年間5%の増加として28%とした。
 2. その他の項目は5年間5%の増加と材料以外の必要費用を加算した。
 3. ホテル、モーテルおよび店舗の復旧費は低く過ぎるかもしれない。

5.2.2 推定被害額の評価

被災額の合計は1,390万ドルであった。このうち、公共施設の被災が91%を占めている。

民間施設の被災は更に多額だったのではないかと思われる。実態調査によれば、1家族当りの波による被害は9,300ドルであるから、被災家族数を概算すると約100軒ということになる。MOW報告書には波の被害を受けた家族は136軒で、そのうちの50軒はMOWに近いアロランギ村にある。アパチウおよびアバルアの被害軒数は29である。

施設災害額は1,110万ドルで全体の80%を占める。残りの280万ドルは海岸侵食による国土消失で比率は20%である。

5.2.3 今後30年間の被害額

第16章で述べるように海岸保全施設の平均耐用年数は約30年と考えられる。この間にサリー級のサイクロンは1回程度の来襲と考えられているが、他の中小規模のサイクロン被災も無視できない。12.2.7節で検討するように、中小規模のサイクロンを含む30年間に発生するサイクロンによる被害額を求めてみたい。図12.2.7では30年間の全サイクロンをサリー級に換算すると9.3個分と計算している。これは海岸保全“短期計画”対象地区で計算したものである。

サイクロン被災を完全になくすことは、減少する被災額に比較して多額の保全工事費が必要で経済的ではない。従って、短期計画によってサリー級サイクロン換算で6.2個分の被災額が減少すると予想している。

一方、マスタープランはラロトンガ島全海岸31kmを対象とする。短期計画対象に比較して海岸保全の優先度が低い地域も含まれている。当面、マスタープランでは30年間にサリー級のサイクロン換算で2個分程度の減少を目標とする。

5.2.4 間接的被災

直接金額に換算できないような被災もある。これを間接的被災と呼ぶこととする。それらには、

- a) 海岸道路の被災は交通に支障を及ぼすばかりでなく、島の経済に悪影響を与える。
- b) 既設空港の被災は国際交通に支障を及ぼす他、観光産業に与える影響は大なるものがある。
- c) 港湾施設の被災は生活物資の輸入に支障を及ぼすばかりでなく内航海運にも大きな問題となろう。
- d) 海岸道路沿いに埋設されている電力線の切断は、産業活動に支障を及ぼすだろう。
- e) 同様に上水道施設配水管の被災も上水供給の不足で村民の日常生活に支障を及ぼすだろう。
- f) 河口閉塞が起きると内陸部に洪水を起こす。
- g) 海浜侵食は背後に植生する樹木に影響し、自然環境を悪化させる。
- h) アバルア地区の大規模な被災は観光産業に影響する。
- i) 大規模な施設災害は再び保険料率を高める。
- j) 大規模な被災を恐れて投資家は開発するのをためらい、本来あるべき就業機会が失われる。

間接被災については、報告書第2編のフィージビリティスタディの中で更に検討することとしたい。第16章を参照されたい。

5.3 サイクロンサリー

本節では1987年1月にラロトンガ島を直撃したサイクロンサリーの強度について検討してみたい。サリーによる沖波の付属推算を資料C-5に添付したので参照されたい。

5.3.1 サリーの概要

サリーは南緯13度のスワロー島付近を1986年12月27日に通過し、更に南下を続けた。南緯18度付近のパルマーストーン島に達した時、移動速度が弱まり12月28日より同31日までその付近を一回転した。年が明けのを待って前進方位を南東に変えてラロトンガ島には1987年1月2日早朝到着した。移動速度は平均21km/時であった。ラロトンガ気象観測所で測定した気圧断面によれば、サリーは1月1日頃最も発達しラロトンガ島に達した時には多少衰弱していたと思われる。しかし、衰弱度は少ない。中心地気圧は1月1日で955mbと計算される。ラロトンガ島に到着した際の中心気圧は968mbで、気圧1,000mb以下の範囲は直径約900kmに及んだ。

注：「mb」は気圧の単位で気温20℃での通常気圧は1,013mbである。

最大平均風速は29m/秒でサイクロン中心より約80kmのところ連続的に発生している。瞬間最大風速は44m/秒で1月2日2時15分に観測されている。中心がラロトンガ島を通過した間約3時間の平均風速は約7.5m/秒であった。風の主方向はサイクロン中心が島に到着する直前・直後で、東南東および西南西であった。次に図でサリーの経路とラロトンガ気象観測所METで得られた気圧を示す。

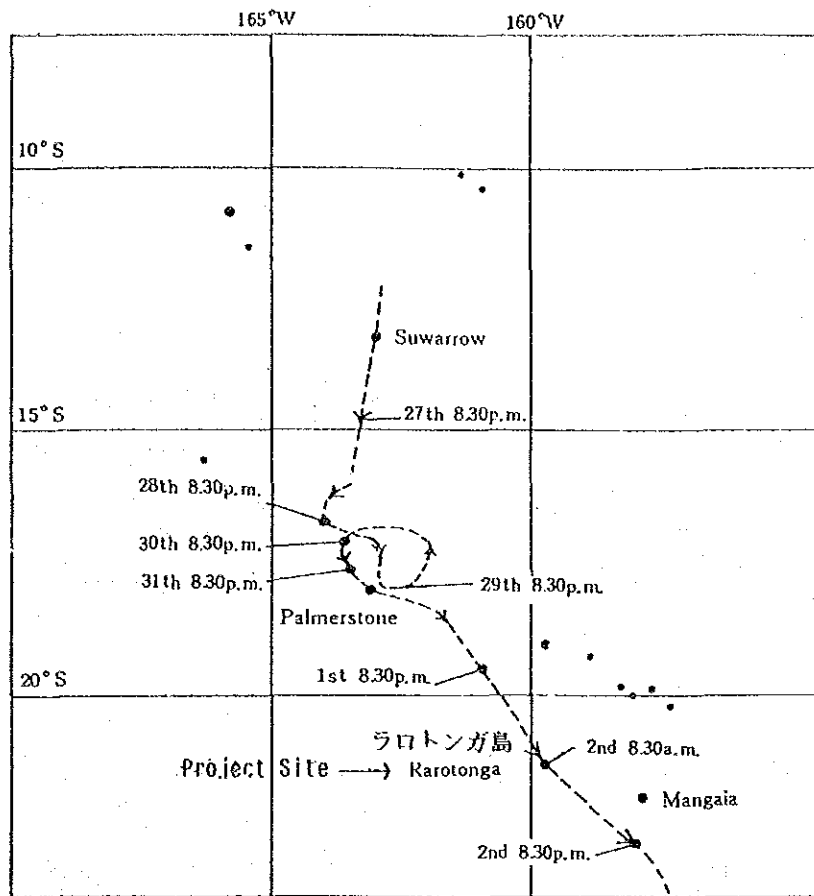


図5-1-c サイクロンサリーの通路 (1986年12月~1987年1月)

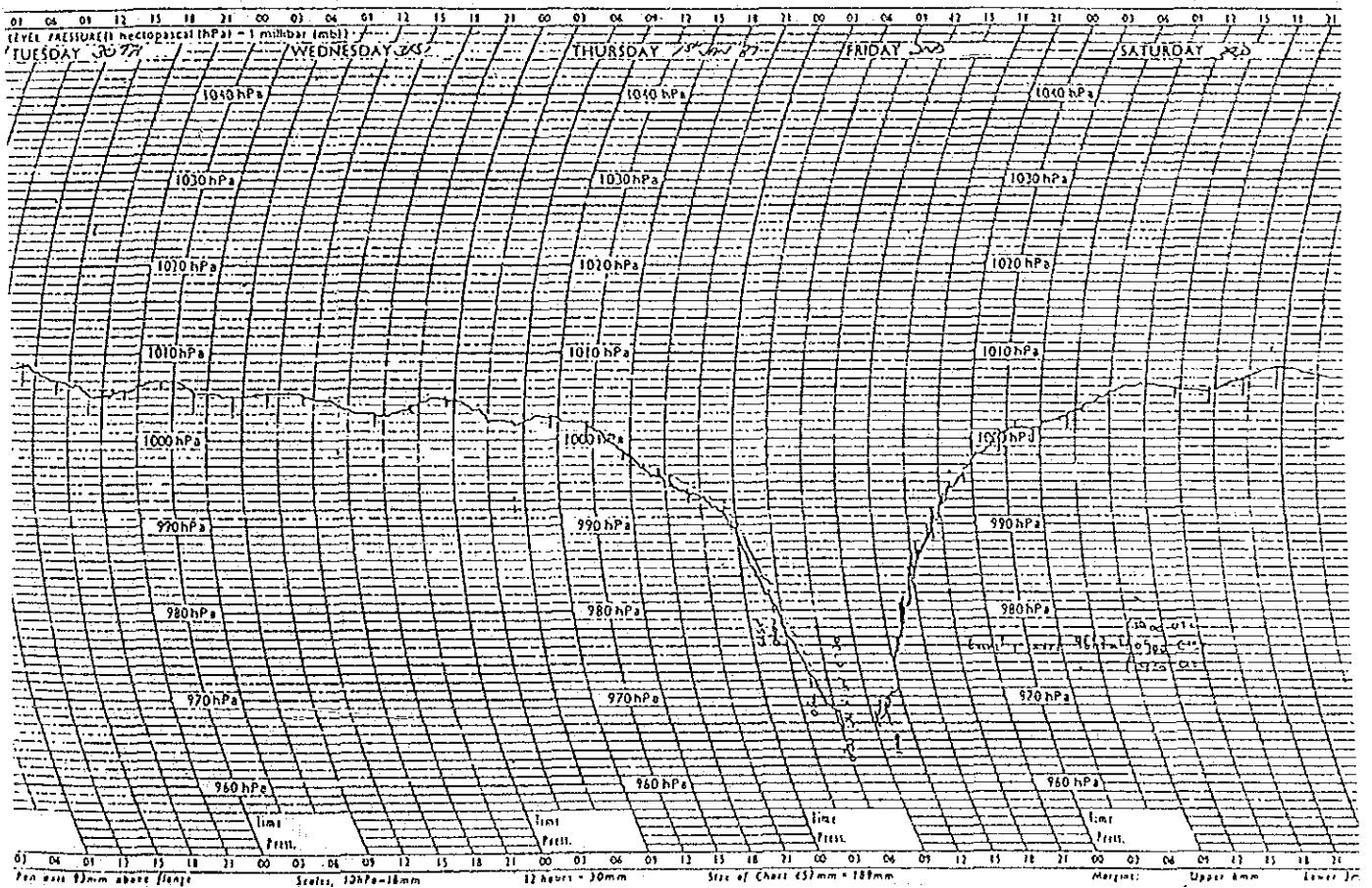


図5-1-d ラロトンガ島で観測したサリー気圧

5.3.2 設計沖波の選定

海岸保全構造の計画のための設計沖波を選定する必要がある。この調査では次の理由で、サイクロンサリーによる波を設計沖波とした。

- a) 今回の調査のきっかけはサイクロンサリーによる被災対策にある。
- b) 島民のサイクロン災害実態調査によれば、サリーは過去25年間で最悪のサイクロンであった。これは全海岸31kmについてもいえる。
- c) サリーに関するデータは豊富であって分析が容易である。
- d) サリーの再起確率は約30年で、これはちょうど事業施設の平均耐用年数に近い。

サリー時より大きなサイクロン災害が将来起きる可能性もあるが、サリーの災害が既往最大であるとの判断でサリーによる沖波を設計沖波とした。なお、南方向ではサリーの影響が小さいので、サイクロンペニーによって沖波を求めている。サリー5方位、ペニー1方位の沖波を推算してみた。設計沖波を表5-4に示す。

表5-4 設計沖波（ラロトンガ島）

方 向	サイクロン名	沖波・波高 H _o (m)	沖波・周期 T _o (秒)
N 6° W	Sally	8.1	12.5
N 21° W	Sally	7.1	13.1
W S W	Sally	4.9	7.9
S S W	Sally	4.3	7.5
S	Peni	3.4	7.3
E N E	Sally	5.2	8.7

出典：調査団

5.3.3 換算沖波・波高：H_o

深海で発達した波のことを「沖波」と呼んでいる。この波は未だ海底面の摩擦抵抗の影響を受けていない。これらが浅海域まで達すると波高が変化する。ここでの波はより浅い方向に屈折する傾向がある。また、碎波帯までに達すると波高は徐々に低くなりやがて残された慣性力で汀線に向けなだれ込む。この屈折した沖波を「換算沖波」といっている。この波の波高は屈折の程度で沖波より大きくなったり小さくなったりもする。

換算沖波は次のように求めた。

$$H_o' = K_r \cdot H_o$$

ここに、 H_o' : 換算沖波・波高 m

K_r : 屈折係数

H_o : 沖波・波高 m

ラロトンガ島全海岸31kmを海岸形状を考慮して13に区分した。屈折係数 K_r は次の仮定によって求めた。

- a) 沖波は海岸線より約500m沖合（-100m付近）で屈折を開始する。
- b) リーフ付近ではリーフに直交する波向となっている。
- c) 屈折係数、 K_r

$$K_r = \sqrt{b/b_o}$$

ここに、 b : 沖波での幅 m

b_o : リーフ付近の幅 m

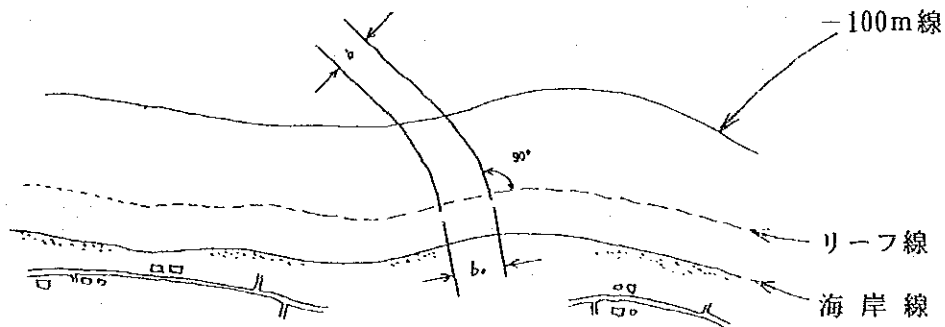
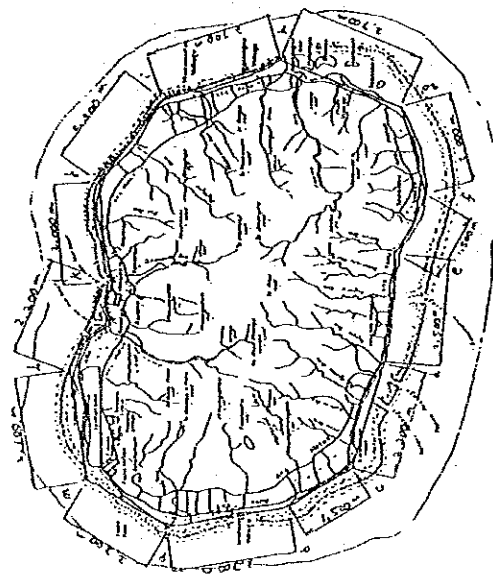
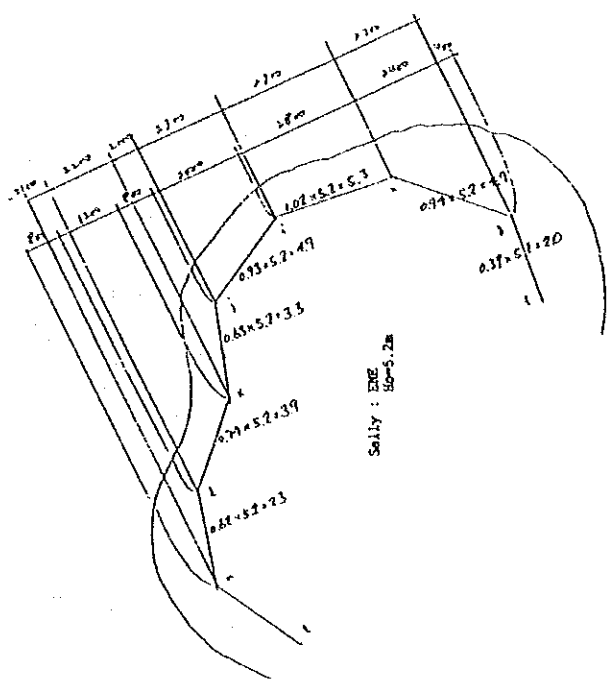
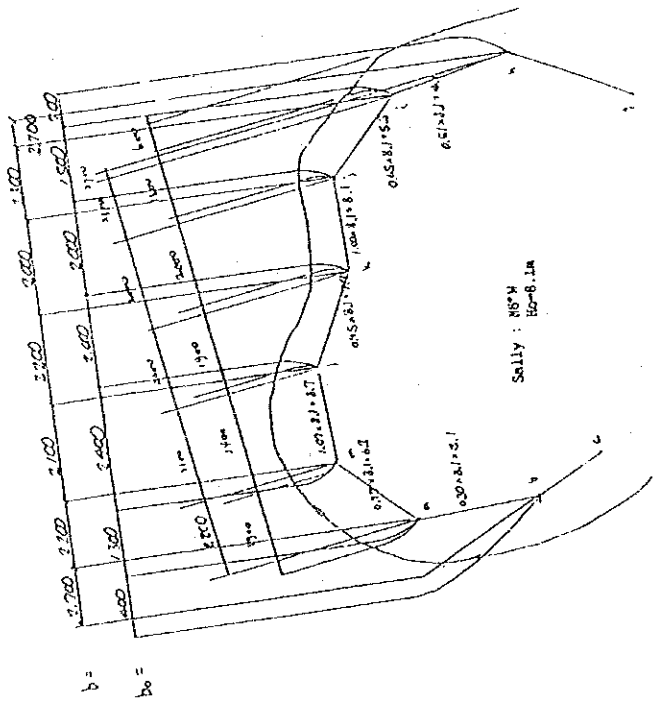


図5-1-eに13海岸の屈折係数 K_r と換算沖波 H_o' を示した。

図5-2には各村落毎の換算沖波を示した。



H₀ : 冲波・波高 (m)
H₀ : 換算冲波・波高 (m)
(超折後)

図5-1-e 13海岸での超折係数(X_r)と換算冲波

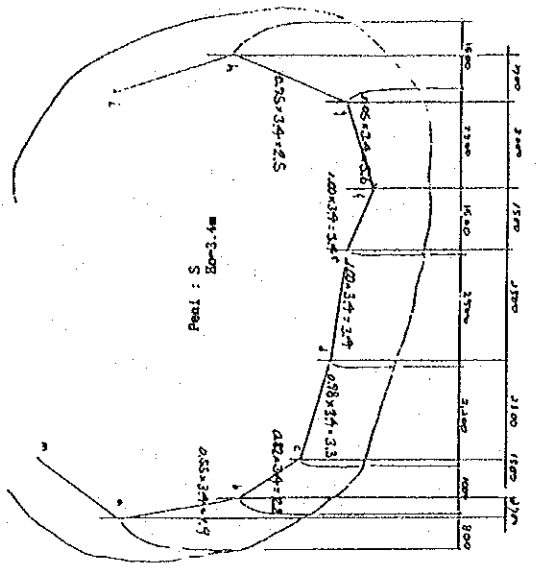
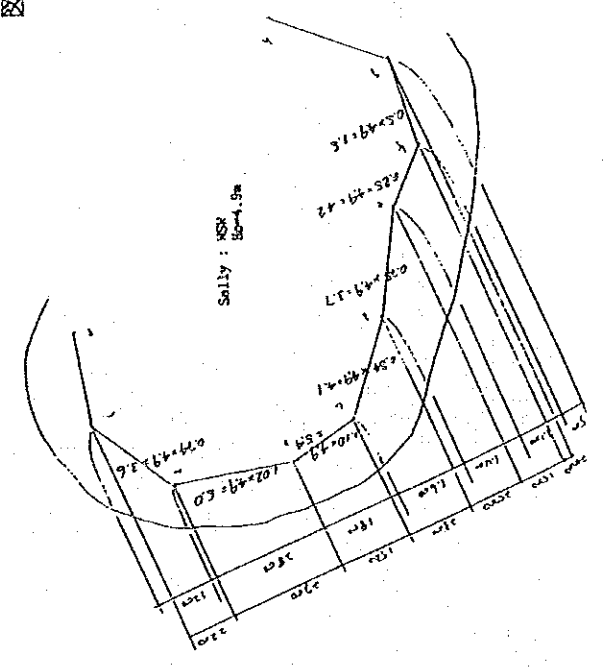
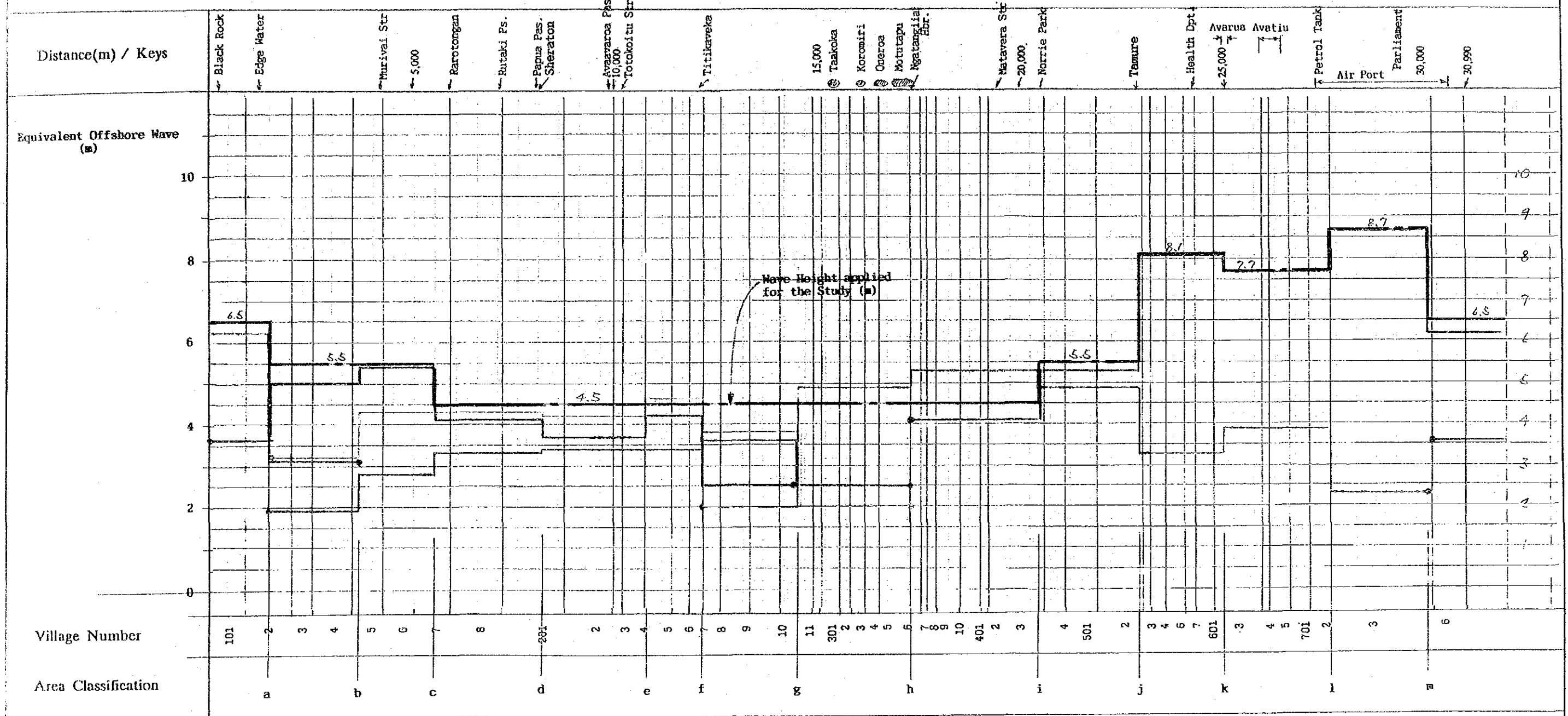


図 5 - 2 村落毎の換算沖波



Village Number

Area Classification

Legend

- Design Wave
- Sally N6° W Ho=8.1m
- Sally ENE Ho=5.2m
- Peni S Ho=3.4m
- Sally SSW Ho=4.3m
- Sally WSW Ho=4.9m

5.3.4 異常水位上昇

サイクロンの特徴は高波を起こすことであるが、その他に水位上昇をもたらすことが多い。これは次の場合によく起こる。

- a) 湾の状態でも奥行きが深い場合
- b) 浅瀬が長く続く場合

島全体が円形で天然水路 (Passage) を除いてラグーンによって囲まれているラロトンガ島は後者に当てはまる。天然水路の水位も高まるが、近接するラグーン上の水位がより高まることはよく知られている。サイクロンサリーのアバルア海岸での水位上昇を電算で再現したところ次のようであった。

天然水路 (リーフの延長線上)	0.9~1.0m
ラグーン (リーフ上)	1.3~1.4m
差	平均 0.4m

これらについては5.3.7節で詳細に説明する。この水位上昇は波の打上げを増加させたり、また河川の背水によって内陸部に洪水を起こしたりする。

5.3.5 ラグーン幅と海浜天端高さ

サイクロンは悪物だろうか？

サイクロンはサリーのように海岸地帯の人工構造物を破壊することがある。人工構造物が海岸付近に作られたのは、約200年前からだがサイクロンはそれよりずっと以前よりこの島の海岸に襲ってきた。サイクロンは波のエネルギーで珊瑚礫を少しずつ海岸に打上げ、陸地を高め陸地を前進させてきた。海岸の成長は主に次の2つの方法による。

- a) 山の砂が雨水とともに川を流れ、下流部に堆積し河口に到着し海に流入する。海に流入した土砂は海浜に打上げられ陸地となる。
- b) 河川よりの供給が少なく、主に海より海浜に補強される。強い波で海浜の土砂が陸上に打上げられ陸地となる。

ラロトンガ島は主に後者によって海岸域が形成されてきた。海岸の地層は珊瑚礫と珊瑚性の砂の混合したものである。これは海岸付近の掘削穴で見るとよく分かる。現在、ラロトンガ島のほとんどの人はサイクロンが営々として作り上げた海岸珊瑚堆積地盤の上で生活している。サイクロンがなければ平坦なこれら海岸はなかっただろうから、サイクロンを一方的に悪物とみることはできない。ラロトンガ島の人々はこのことをよく知っていたように見える。Survey Dep.のまとめ

3) ビーチ (Beach)

ビーチはラグーンの内側端部と人が住んでいる平坦地の間にある海浜斜面をいう。斜面勾配は場所により異なるが1:2ないし1:10である(1:2、1/2または50%の傾斜勾配というのは水平距離に1mで高さが0.5m高くなる勾配である)。

ビーチの天端はMSL+2mから+6.0mである。ビーチは主に珊瑚礫からできている。ビーチの先端には珊瑚砂がある。しかし前述のように基盤が露出している地域もある。ビーチの上端はつる草やつた類が生えている。あるビーチでは上端部に人工的な盛土が見られる。

ビーチは前浜と後浜の2つに区分できる。前浜は斜面の低い部分でいつも波が打ち上がっている。また後浜はサイクロンで発生した波が打ち上がる斜面の高い部分をいう。侵食海岸では多くの場合、後浜後部に段丘が見られる。

4) コースト (Coast)

コーストは海浜斜面の背後にある比較的平坦な海岸地域をいう。ここにはココナツやutuなどの樹木の生える自然林が見られる。自然の海岸では20mから50mの幅があり、ここには砂とともに珊瑚の破片が堆積する。樹木と石塊が混在している海岸地域は波の遡上や越波に対し適当な緩衝帯となっている。

5) 海岸地域 (Coastal Area)

この調査では海岸地域とは、浜と海岸とそこから陸側で過去において波や異常水位上昇が作用したり、また将来被災が予想される陸域をいう。海外保全の対象はこの海岸地域の防災対策である。

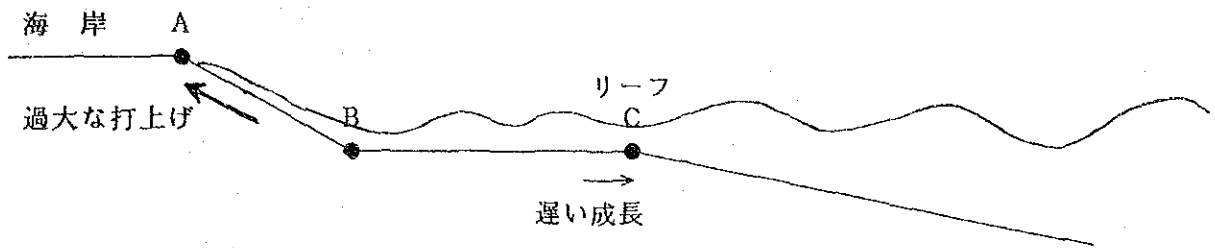
6) パッセージ (Passage) : 天然水路

パッセージとは河口のラグーンの欠けた天然水路状のところをいう。ここは水深が深く船舶の出入航路となっている。この島にはいくつかの天然水路がある。現在このうち3ヶ所は港への進入航路として利用されている。アバルア、アバチウ天然水路はそのうちで最も開発されたものである。これらの水路は次のようにして形成されたものと考えられる。

- a) 河川から流出された清水が海生生物の生育を抑えた。
- b) 洪水時の清水に含まれる微粒子が海生生物に影響した。
- c) 離岸流が海生生物に影響した。

た地図によれば、波の弱い南部海岸のラグーン幅は広いが波の強い北東または北部海岸のラグーン幅は狭いことが分かる。この図式より大きな波のエネルギーによってラグーンの成長が遅められているのではないかと推定できる。

大波の襲来のため狭いラグーン



穏やかな波のため広いラグーン

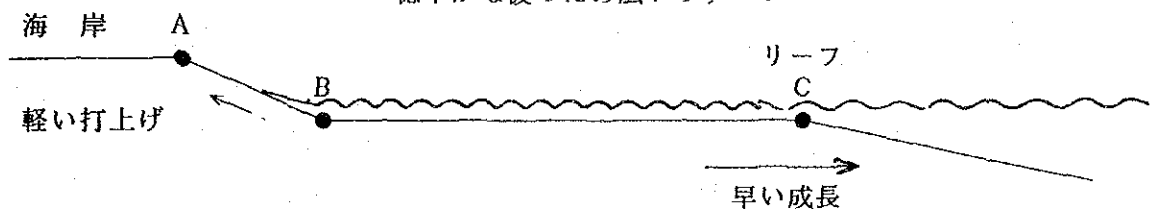
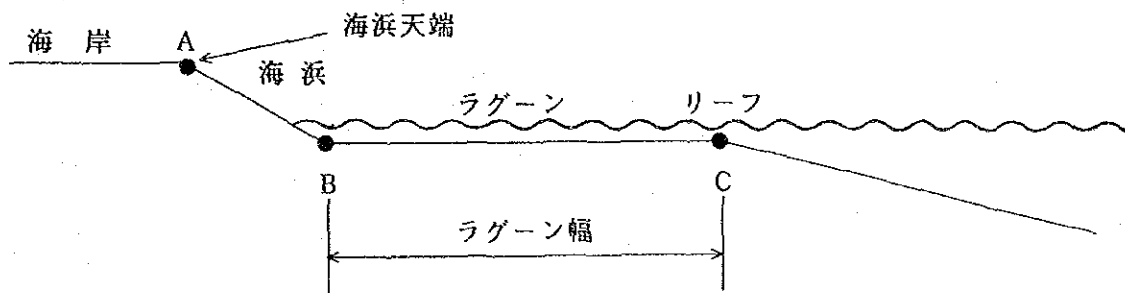
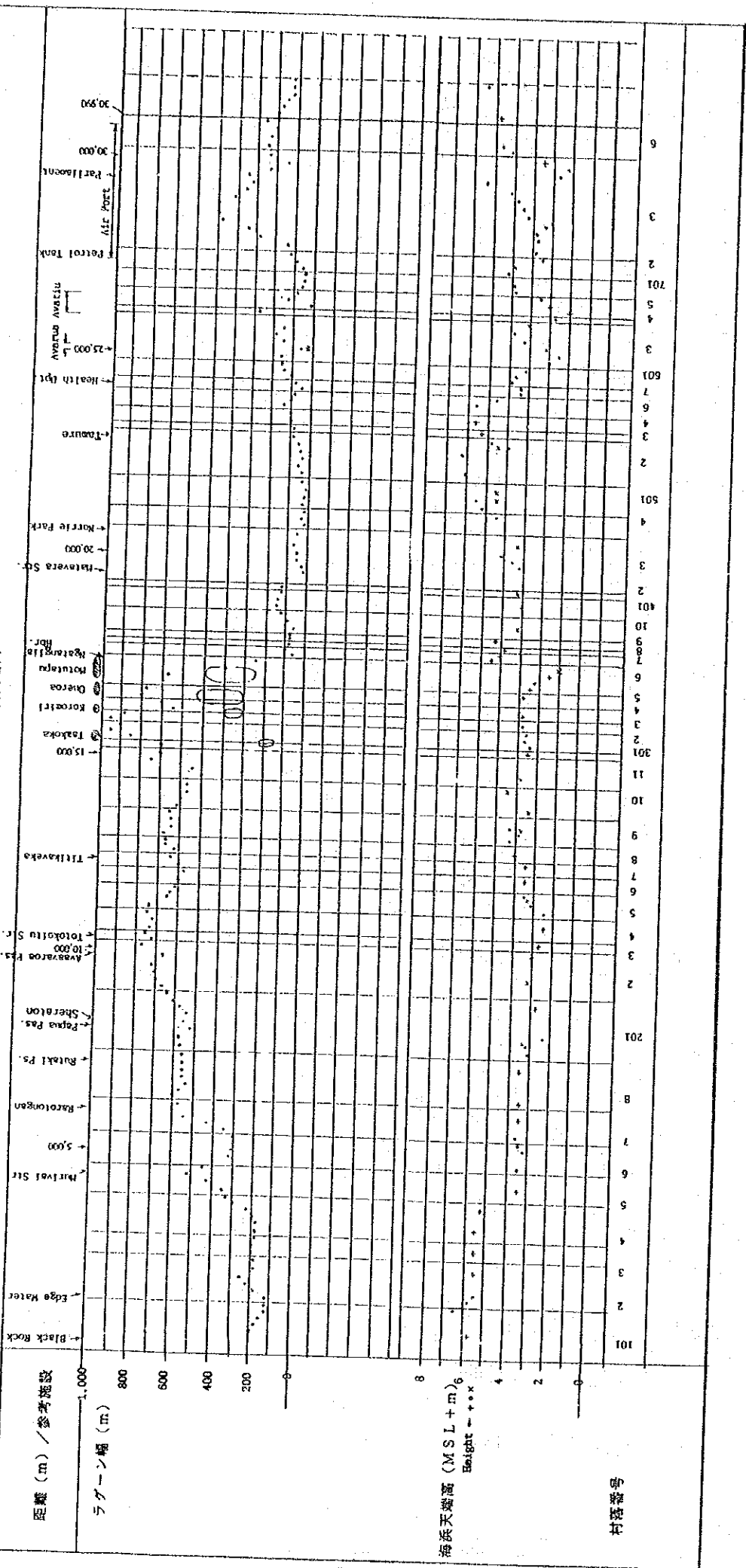


図5-3に200m毎のラグーン幅を示した。この値は前述の地図上の表示による他調査団の行なった測量結果も参考としてある。図は同時に調査団の実施した地形測量より得た村毎の海浜天端高さも含めて示している。基準高さは平均水面(MSL)である。ラグーン幅が広いと海浜天端高さが低い。図5-4にこれら2つの指標の相互関係を示した。



図より分かるように各海岸はそれぞれの特徴を持っている。南部海岸部はラグーン幅と海浜天端高との間になんらの相関性が見られない。海浜天端高さが波の打上げに無関係のように見える。一方、北部海岸では相関性が高く海岸の発達波の打上げに関係しているものと見られる。

図 5-3 ラグーン幅と海浜天端高



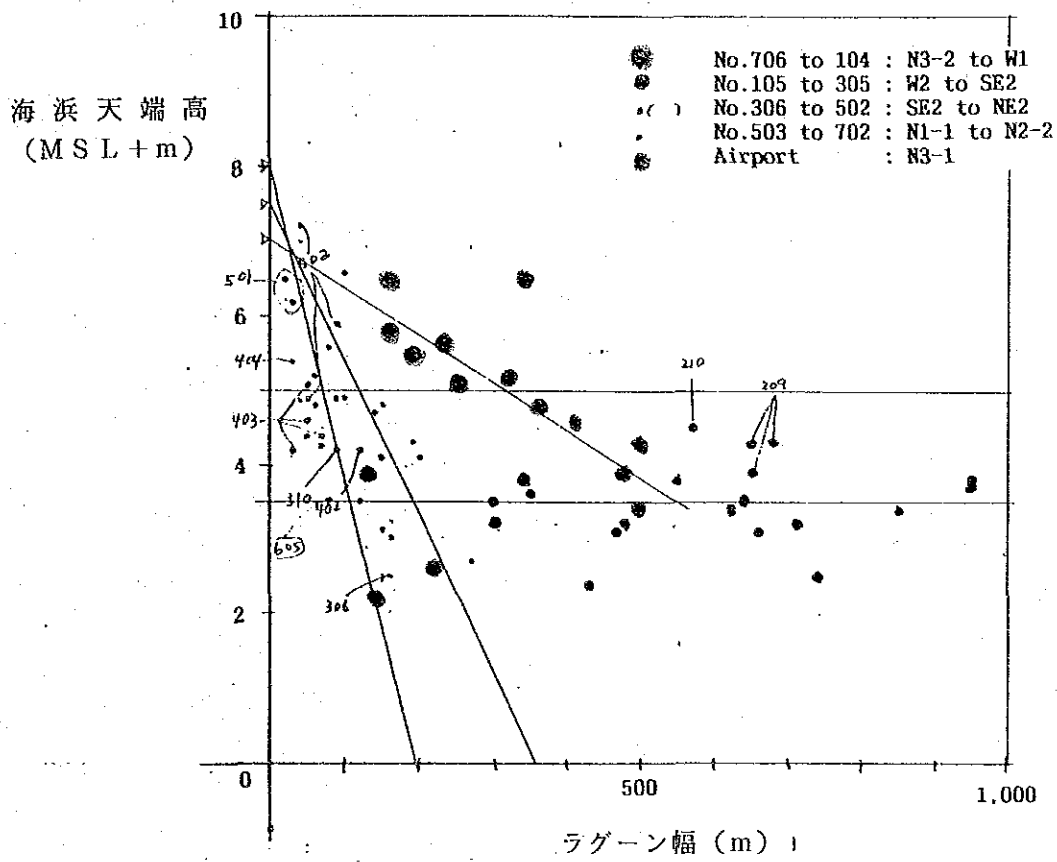


図5-4 ラグーン幅と海浜天端高さの関係

5.3.6 海岸断面と限界波高

前節で述べたように北部海岸の海浜天端高さは前面のラグーン幅に関係しているように見える。前節での結論を要約すれば次のごとくである。

- a) 北東海岸および北海岸の海岸段丘はサイクロンによる珊瑚性の砂や礫打上げによるものである。
- b) ラグーン幅が狭いと海浜天端が高くなる傾向がある。つまり同じ波高でラグーン幅が狭いと砂や礫の打上がる高さが高くなる。

この点をさらに検討するために、サビールによる手法で海浜天端に向けて遡上する海水の打上げ高さについて、サビールによる手法で次の解析をすることとした。計算は全海岸172断面について行なうこととした。計算条件として、波は海岸線に直交するように進入するものと仮定した。ラグーンの幅は付属資料C-1に示すものを用いた。計算結果も同資料に示した。

注：この手法は波の強度とか海岸断面等与えられた条件下で海浜を遡上する水体の打上げ高さを推算するために開発された。12.2.4節でさらに詳細に説明した。

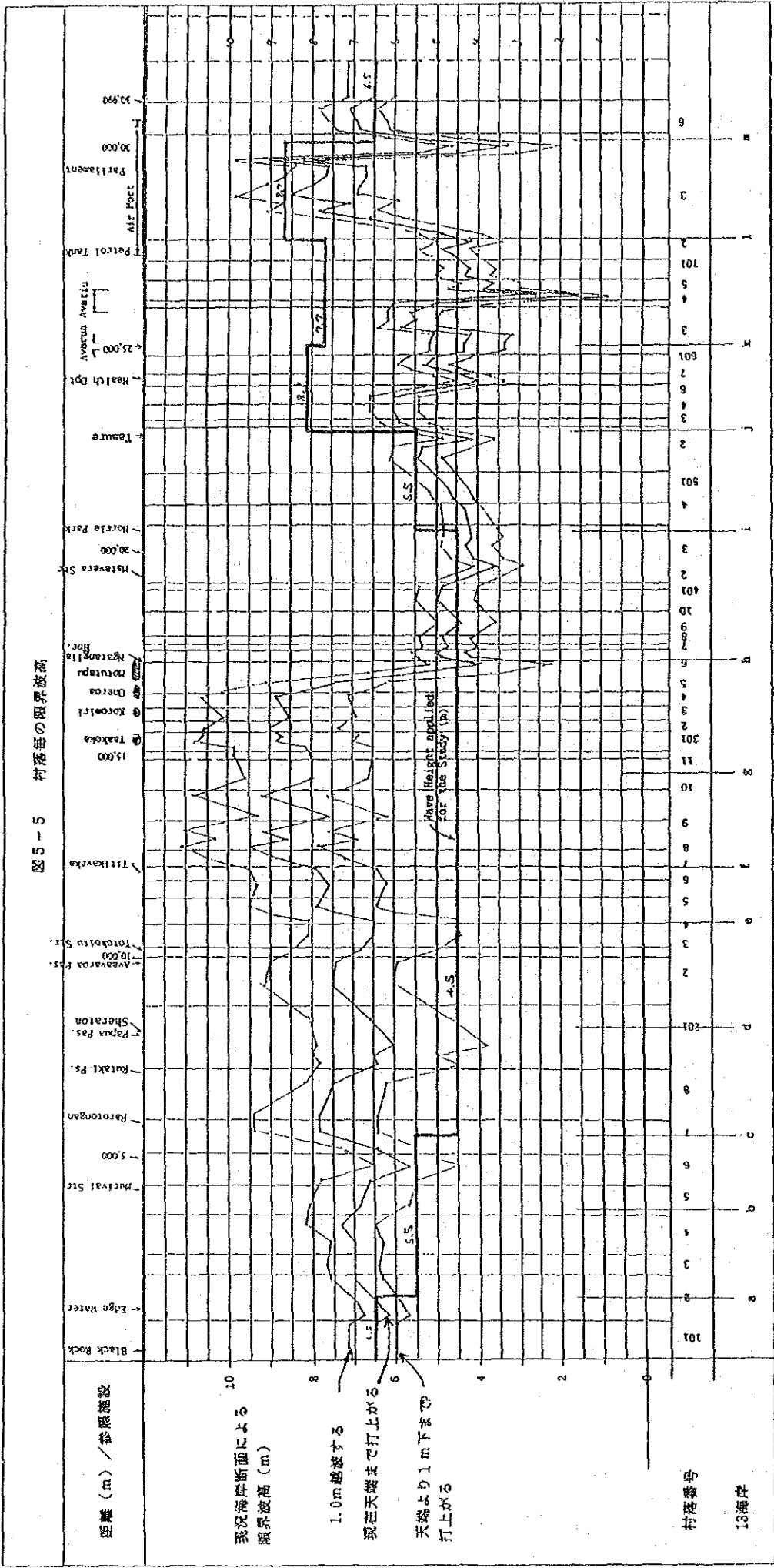
その1 現在の海浜天端を打上げ高さとする波の計算

現在海浜断面での限界波高を図5-5は示している。つまり現在海浜天端に見合った波の大きさを示している。北部海岸での限界波高は約5mであり大きくない。このことはつまり海岸保全をしない場合、ここでの非越波最大波高は約5mであることを示している。一方、南部海岸の同波高は北部海岸より大きく、もし同じ波が来襲した際でも北部海岸に比較して安全であることを示している。

その2 設計波による打上げ高さの計算

同じ手法を用いて、172全海岸断面での設計波による打上げ高さを計算して見た。図5-6にその計算結果を示した。計算結果より海岸“安全海岸”と“危険海岸”の2つに区分することにした。前者は越波が2m程度またはそれ以下の場合であり、後者は2m以上の場合である。

図5-5 村落毎の限界波高



距離 (m) / 参照施設

我況海岸断面による
限界波高 (m)

1.0m 越波する

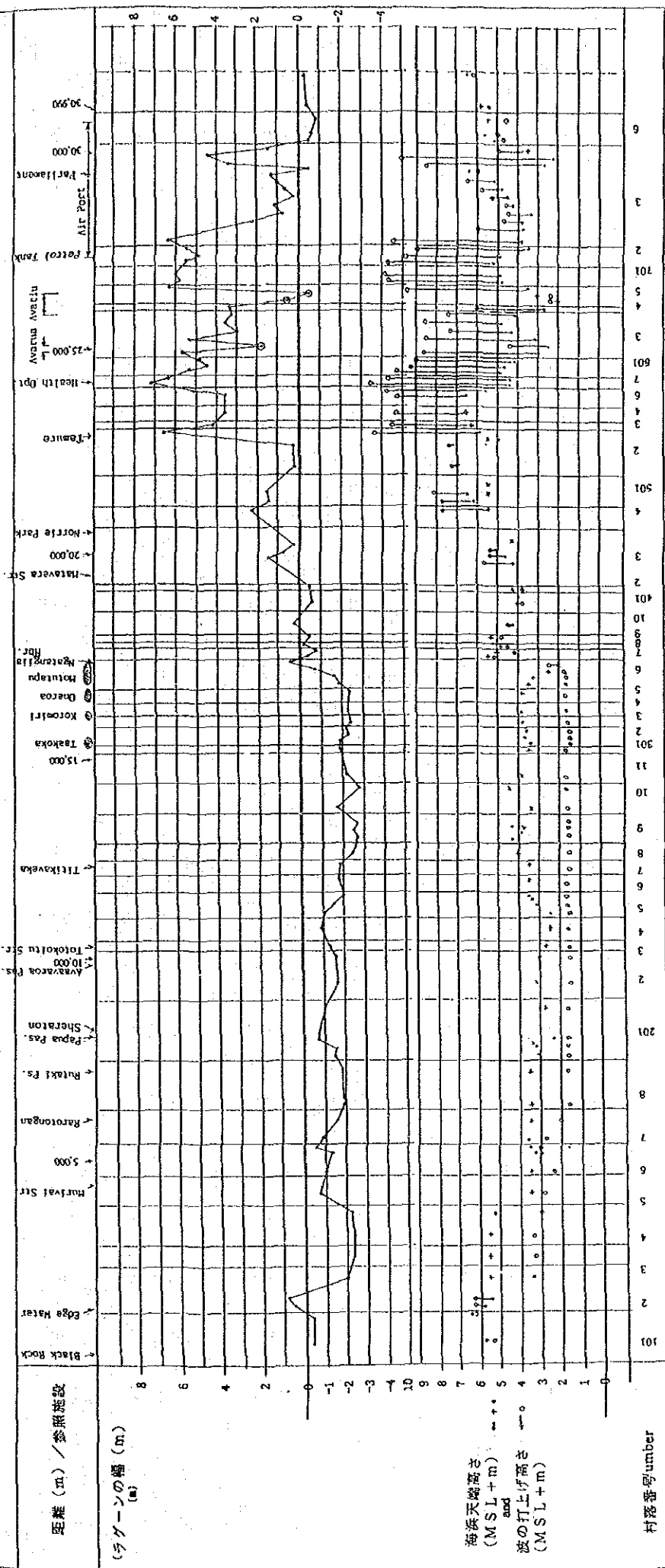
現在天端まで打上がる

天端より1m下まで
打上がる

村落

18海岸

図5-6 設計波による波の打上げ高さ



距離 (m) / 参照施設

(ラグーンの幅 (m))

海浜天端高さ (MSL+m)
and
波の打上げ高さ (MSL+m)

村落番号/umber

13海岸classification

注
海浜天端上の線は
越波高さ(m)を示す。

注：波の打上げ高さが現在の海浜天端高さを超える時、波は陸側に越波する。越波については4.1.5節の12)項を参照されたい。

その2で求められた波の打上げ高さはConservation Dep.でまとめた被災記録とほぼ合致する。最も危険な海岸を4つの地域に分けることができる。

a) Health Department付近のVaikai村

b) アバルア海岸

c) AtupaおよびKaikaveka村

この地域はアバチウより現在空港の東端までの区間である。

(注：空港地域の東側200mも危険地帯である。)

d) 空港西端

この地区の海岸道路仕上げ高さはMSL + 2.5mに過ぎない。

以上その2で求められた打上げ高さに関するデータは第7章「海岸保全マスタープラン」で用いることとしたい。

5.3.7 アバルア海岸でのサリーの再現

サイクロンサリー来襲下での波高、沿岸流あるいは水位上昇を定量的に正確に観測した記録はない。実際これらを激しい気象下で行なうことは技術的に極めて困難であり、また危険なことである。その時、海で何か起きていたか多くの人が知ろうとした。ある人は自分の見た現象よりあれこれ推定した。しかしすべてが動いており、目視観測のデータは大きい小さいは分ってもどの程度であったかを具体的に知ることはできない。また、目視観測はラグーンの岸よりの部分に関するのみで、リーフの外側で何が起こっていたかについてはまったく分からない。

そこで調査団は電算によるシミュレーション解析を行なってみた。検討地域はアバチウ港の中央よりNgatipa村までの1,500mの区間である。ここはサリーによる最大の被災のあったアバルア海岸を含んでいる。解析の目的はサリー来襲時の最も危険な段階での複雑な諸現象の再起を試みることである。

解析入力

a) 波

サリーの最大有義沖波として波高8.1m、周期12.5秒の波を水深120mの海域に入力する。方位はN 6° Wで調査団が推算した値である。

- b) 水 深
- c) 地 形
- d) 水 位

潮位と低気圧による水面上昇を合わせ0.7mとする。

注：アバチウ川、Takvaine川の海岸への流入流量および潮流は無視した。

解析出力

- a) 波向・波高
- b) 沿岸流向と流速
- c) M S L + 0.7m上の水位上昇

出力は4枚の図に表示した。

- 図5-7 水深および波向
- 図5-8 波 高
- 図5-9 水深と沿岸流（流向と流速）
- 図5-10 M S L + 0.7m上の水位上昇
- 図5-11 水深と沿岸流流線

使用した電算機

a) 機 種	<u>Fuji-Tsu, VP-30E</u>
b) 機 能 (1)	<u>スーパーコンピューター</u>
c) 機 能 (2)	<u>メモリー 8MB</u>
d) 機 能 (3)	<u>プリンター 700LPM M</u>

沖縄で海岸保全施設例の見学中の
LTL所属Ata氏。同氏はPCI本社
で、アバルア海岸のシミュレーシ
ョンも見学した。

以下に電算解析結果を概説したい。

波 向

図5-7に見られるように波向は海岸に至るまで徐々に変化している。水深MSL-50mまではほぼ沖波N6°Wの方向で直進するが、その後浅海部では海底地形の影響でかなり変化する。汀線にはほぼ直角に突き当たっている。

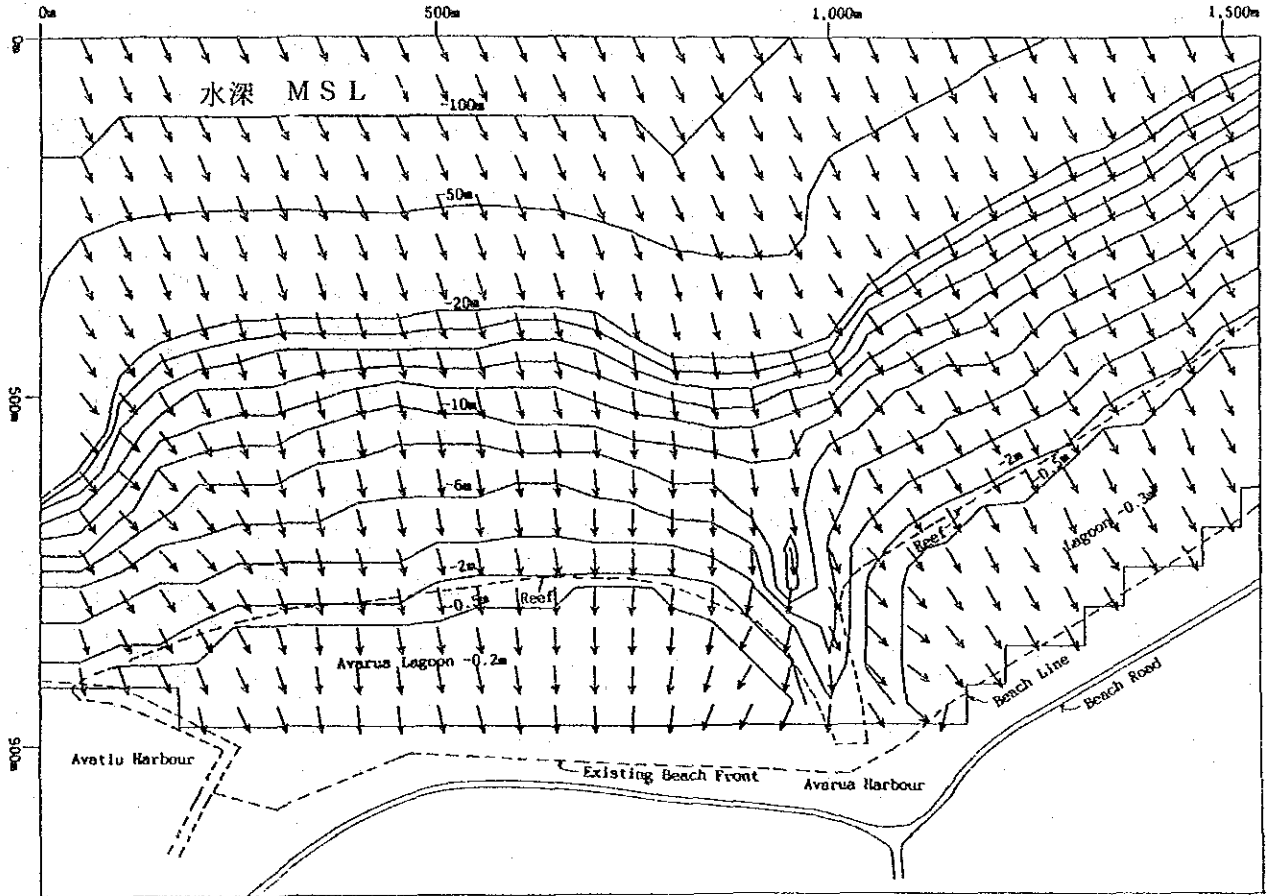


図5-7 電算解析 (1987年1月のサリー再現)
水深と波向

波 高

図5-8に見られるように沖波はMSL-15m等深線付近で砕波をはじめ、リーフの内側約50mまで続く。波高は徐々に減少しリーフ付近で2~3mになる。リーフの内側約50m以降のラグーンでの波高は約1mである。ラグーンより水深のある天然水路ではより大きな波が侵入する。ここでの7m等波高線は沖への返流による影響を受け沖合にふくらんでいる。

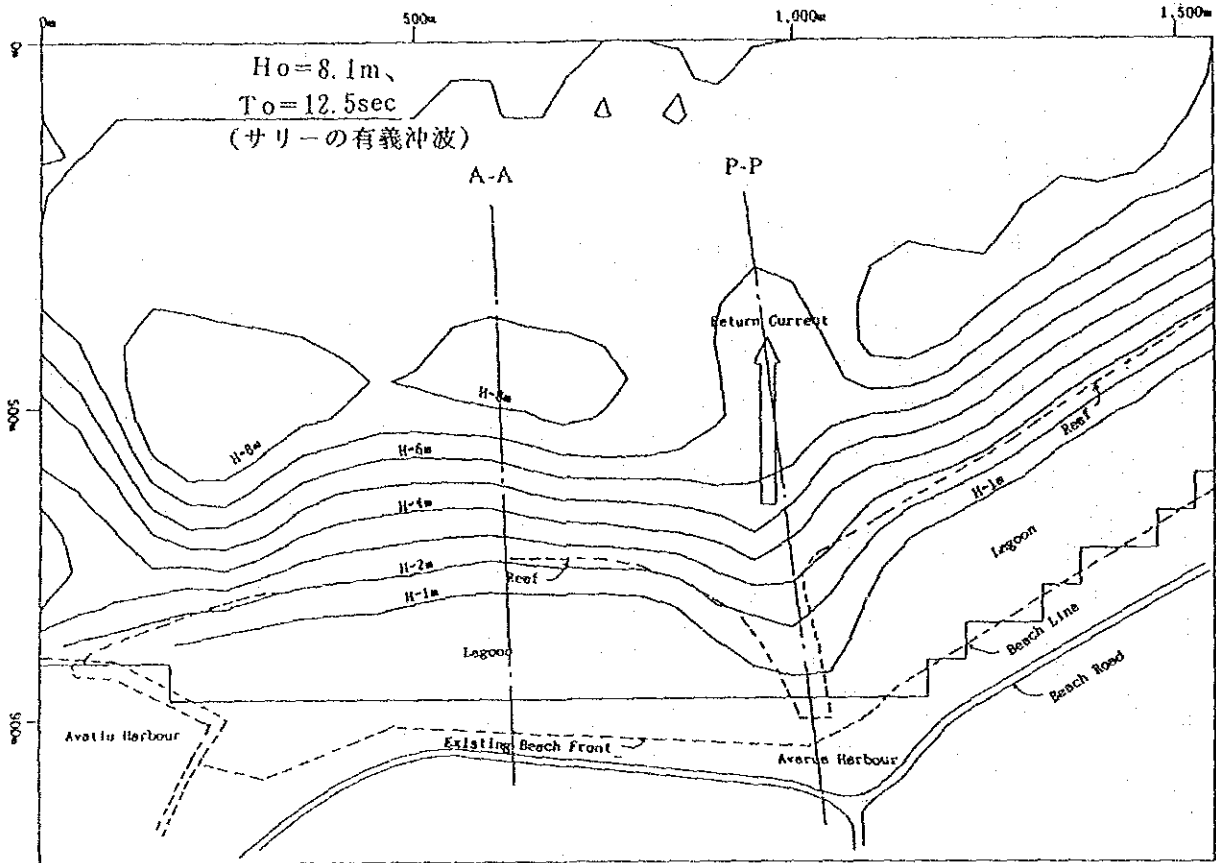


図5-8 電算解析 (1987年1月のサリー再現)
波高

図5-8 Aはアバルア海岸中央 (A-A断面) とアバルア天然水路 (P-P断面) での水深と波高の関係を示している。これらより次のことが分かる。

- a) 沖合より水深MSL-15mまでは沖波波高8.1mは変化しない。
- b) 水深MSL-12m付近より波高は急激に減少する。
- c) 水深MSL-0.2mのリーフ上では波高は約2.5mである。天然水路ではリーフ延長線上の水深が約MSL-9.0mで波高は約3.5mである。

注: ここでのリーフ上の「MSL-0.3m」とは基準面よりの深さを示している。実際の水深は次のとおりである。

基準面下の水深	0.2m
潮位および低気圧による吸い上げ分	0.7m
図5-11に示す水位上昇分	1.3m
合 計	2.2m

同じように天然水路でのリーフ延長線上の水深“MSL-9.0m”とは、

基準面下の水深	9.0m
潮位および低気圧による吸い上げ分	0.7m
図5-11に示す水位上昇分	1.1m
合 計	10.8m

d) ラグーンおよび天然水路の最奥部つまり海岸付近での波高は約1mである。

注：この付近での実際の水深は次のとおりである。

<u>ラグーン上</u>	基準面下の水深	0.2m
	潮位および低気圧による吸い上げ分	0.7m
	図5-11に示す水位上昇分	約1.6m
	合 計	2.5m
<u>天然水路端部</u>	基準面下の水深	1.5m
	潮位および低気圧による吸い上げ分	0.7m
	図5-11に示す水位上昇分	約1.4m
	合 計	3.6m

これらから分かるように、波高はその地点の水深に最も関係している。これら電算結果より明確になったことは、波高の減少はリーフの沖合約300m付近より始まることである。サリーの波の減衰がリーフ付近より始まったと考えるのは誤りである。ラグーン上の波はリーフより約50m付近で波高約1mとなり、その後はあまり変化しない。ここでも砕波帯を過ぎるとその地点の水深(2.2m~2.5m)で存在できる波に制限されることが分かる。天然水路でも同じ事が起きているが、ラグーンよりの返流によりさらに波高が減じられている。

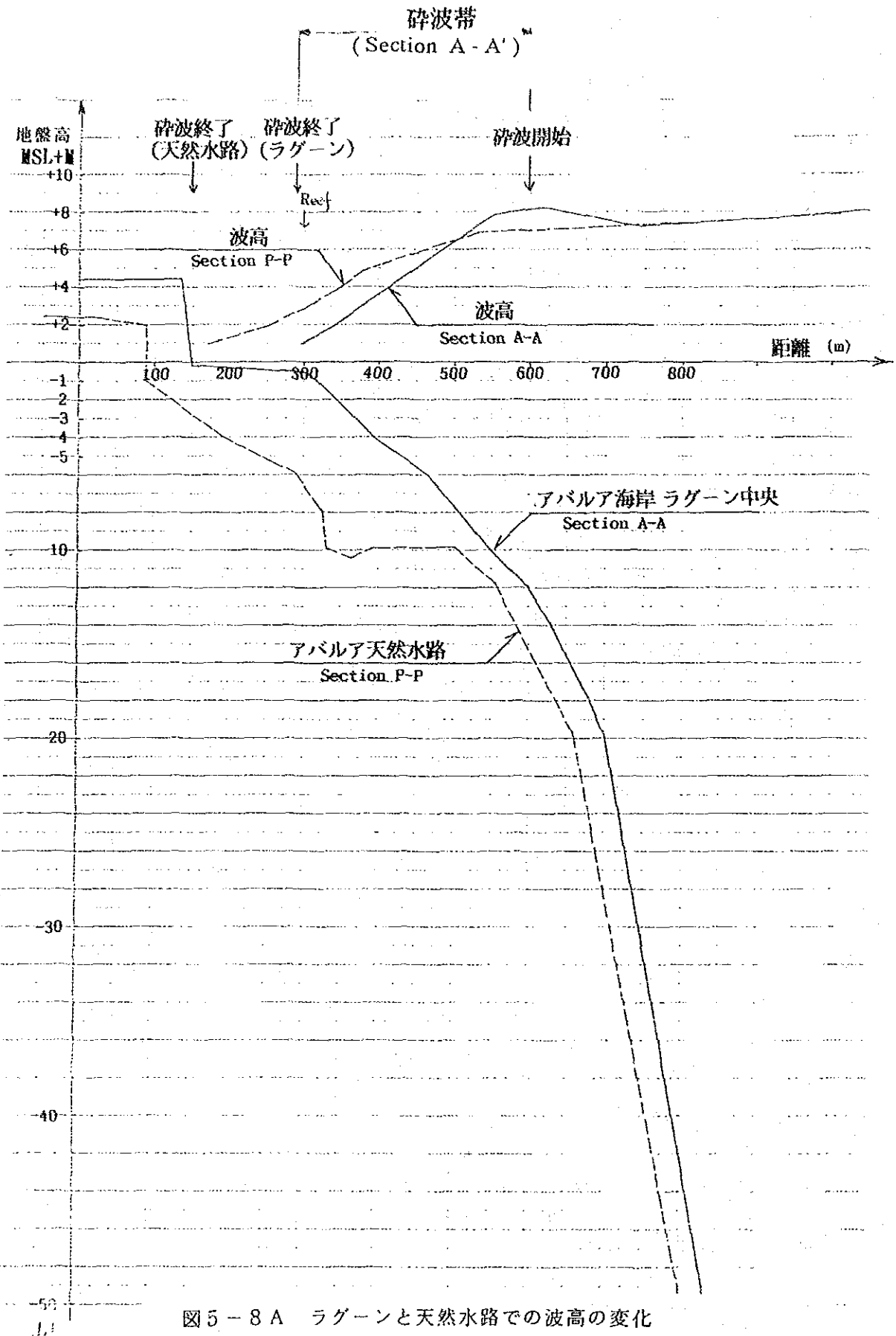


図5-8A ラグーンと天然水路での波高の変化

沿岸流

図5-9は沿岸流の流速と流向を示し、図上の矢印の長さ(→)が流速の大小を表示している。流速の縮尺度は図の下部に示した。砕波帯より沖側での流速はないが、砕波帯で突然流れが生じていることが分かる。流速はリーフ沖合約100m付近で最大値となり、向きを天然水路側に変ずる。すべての流れは天然水路に流入し、最大流速となる。図5-10は沿岸流の回流状況を示している。返流の両側に2つの回流の中心が見られる。片側の流れは右回りで反対側の流れは左回りである。

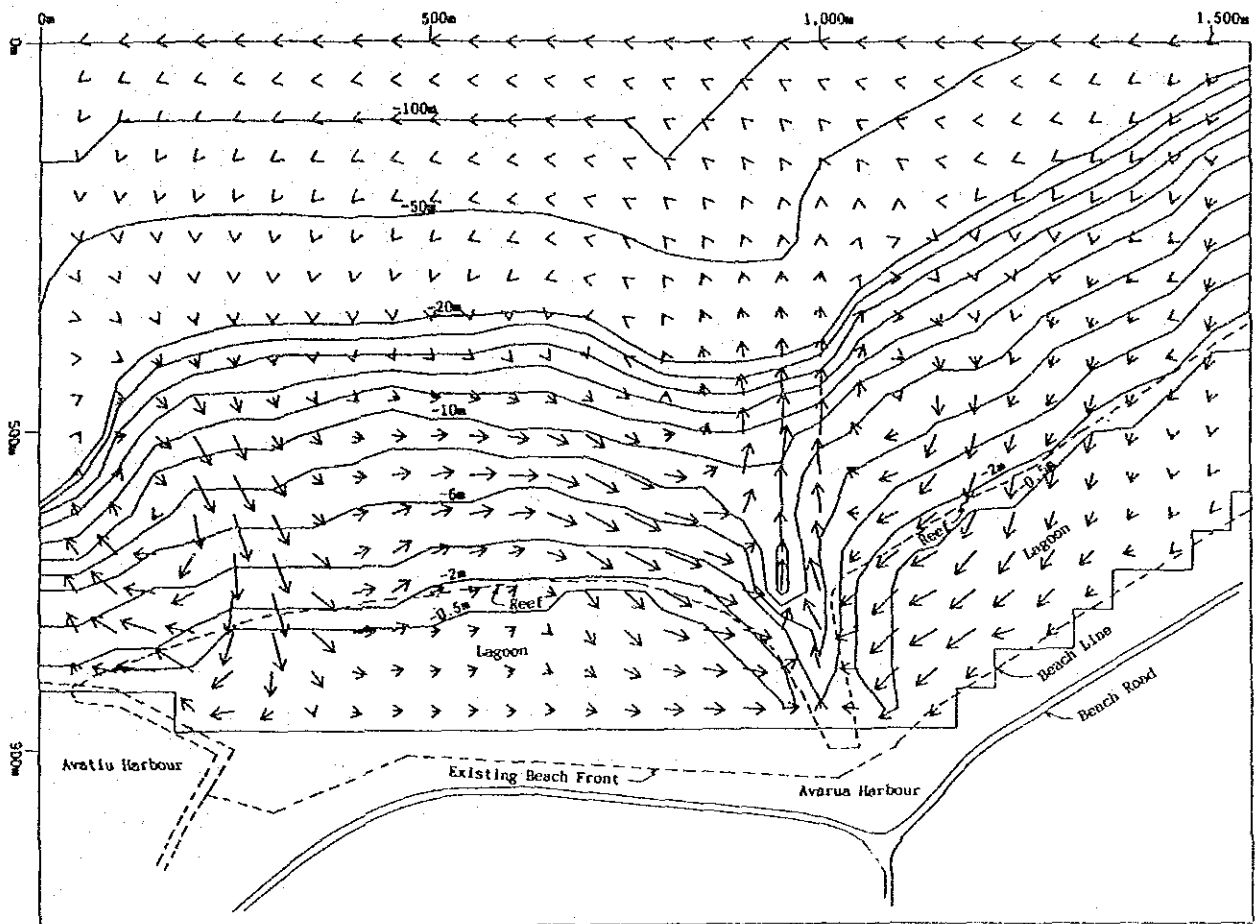


図5-9 電算解析(1987年1月のサリー再現)
沿岸流向と流速
→ 流速 1 m/秒

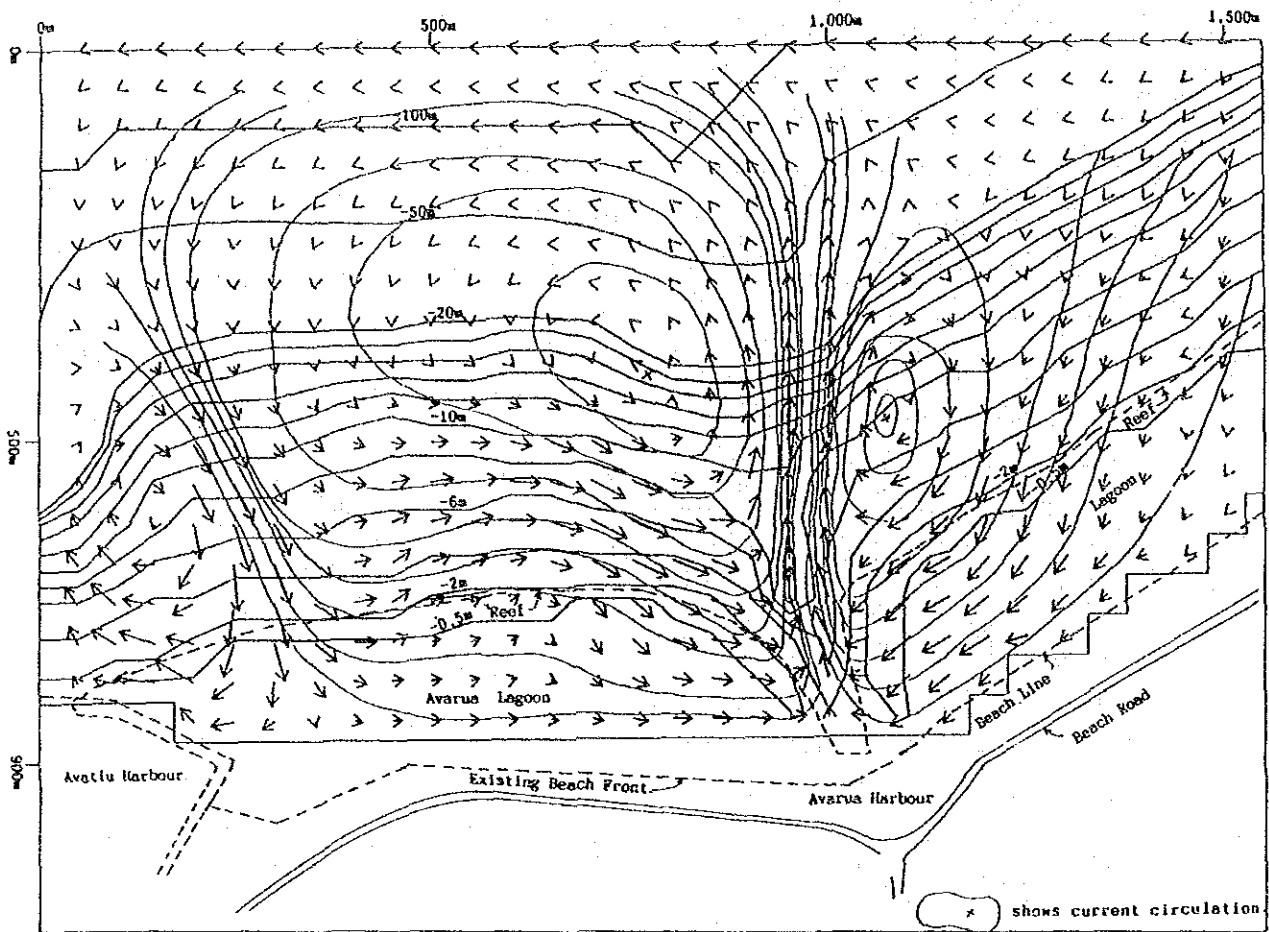


図5-10 電算解析(1987年1月のサリー再現)
沿岸流・流線

この2つの回流の中心はMSL-8mとMSL-16m付近に見られる。これは沖波の1~2倍の水深であってほぼ碎波帯である。返流は沖合水深MSL-50m付近まで続いているように見える。その他の特徴はラグーン上の流向が海岸汀線と平行となっていることである。

波による水位上昇

最も興味のあるデータである波の吹き寄せによる水位上昇の状況を図5-11に示す。この現象によって影響を受けない沖合での水位は、次を考慮してMSL+0.7mとした。

$$\begin{aligned} & \text{潮位} + \text{低気圧による吸い上げ} + \text{余裕} \\ & = 0.36 + 0.24 + 0.10 \\ & = 0.7 \text{ m} \end{aligned}$$

つまり、サリーは高潮位の時に当地に直撃したものとした。図に示されるように砕波帯の中央部では水位が0.1m程度低下する。この地点を過ぎた後、MSL-10m付近で突然急激な水位上昇が始まる。この地区が水位上昇の開始点である。水位は徐々に上昇しリーフ付近が1.3mに達する。上昇開始点よりここまでの距離は約200mだから平均水面勾配は0.65%である。リーフを通過して最初の100m区間まで上昇は続くが、この間の上昇は0.2~0.4mにしか過ぎない。この後は海岸汀線に至るまでほとんど上昇することはない。一方、天然水路内の水位上昇量はラグーン上より少ない。水路の間での水位上昇は横のラグーン上の値に比較して、0.3から0.6m少ない。海岸汀線付近の水位上昇は約1.4mである。

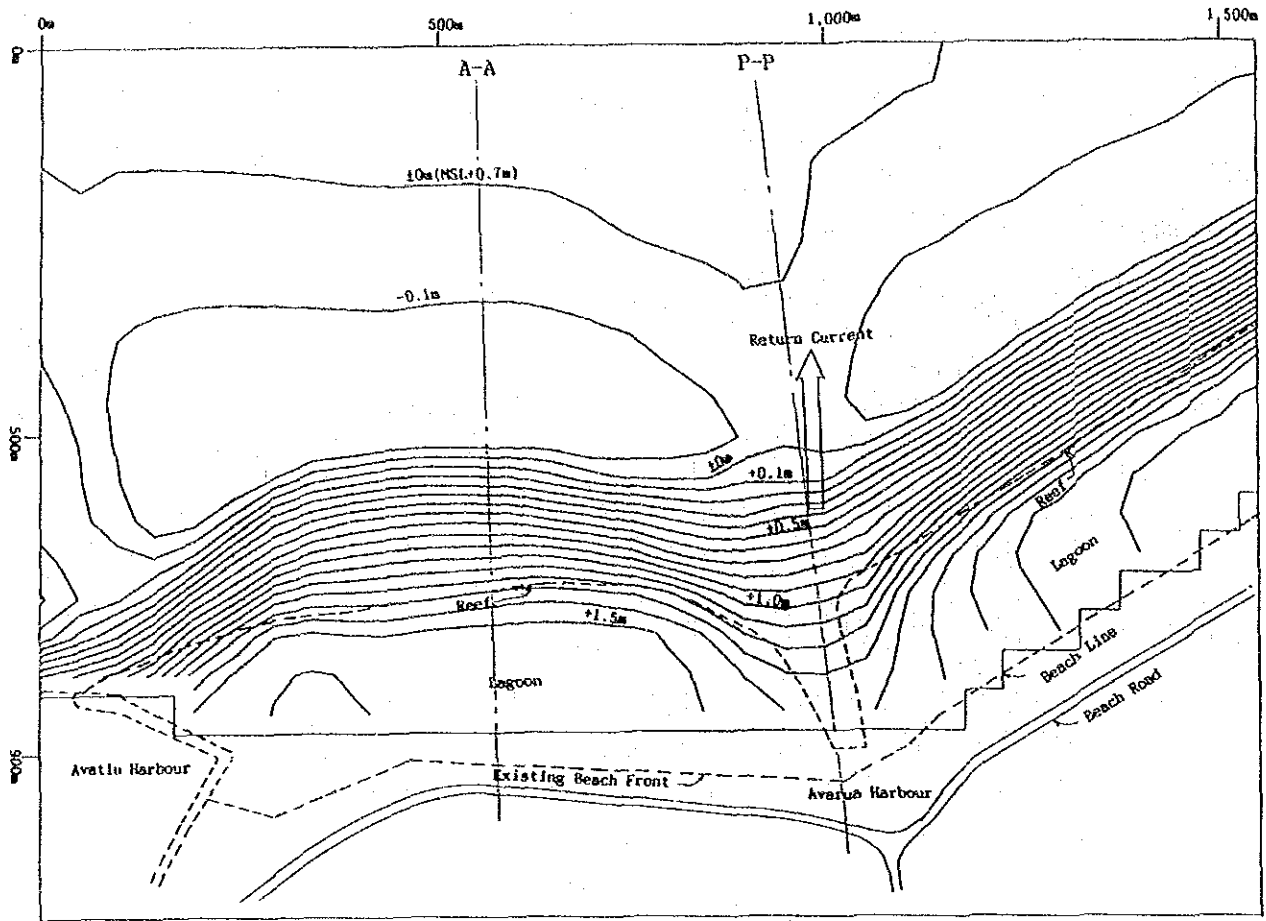


図5-11 電算解析 (1987年1月のサリー再現)
MSL + 0.7m上の水位上昇

図5-11Aに水位上昇の様子をラグーン上と天然水路に分けて示した。この図と図5-8Aを合わせて見ると、次のことが分かる。

- a) 波高が減衰し始める点と水位上昇のはじめる点がMSL - 10mでほぼ同じである。
- b) 波高が減衰し終わる点と水位上昇がほぼ最大値になる点がほぼ同じである。

これは砕波と水位上昇が深く係わりあっていることを示している。リーフより水位上昇が始まると考えた人もいるが、電算解析の結果は水位上昇がリーフより約250m沖合のMSL - 10mよりすでに始まっていることを示している。

注：7.6.3節では保全事業完了後の状況を電算解析する。

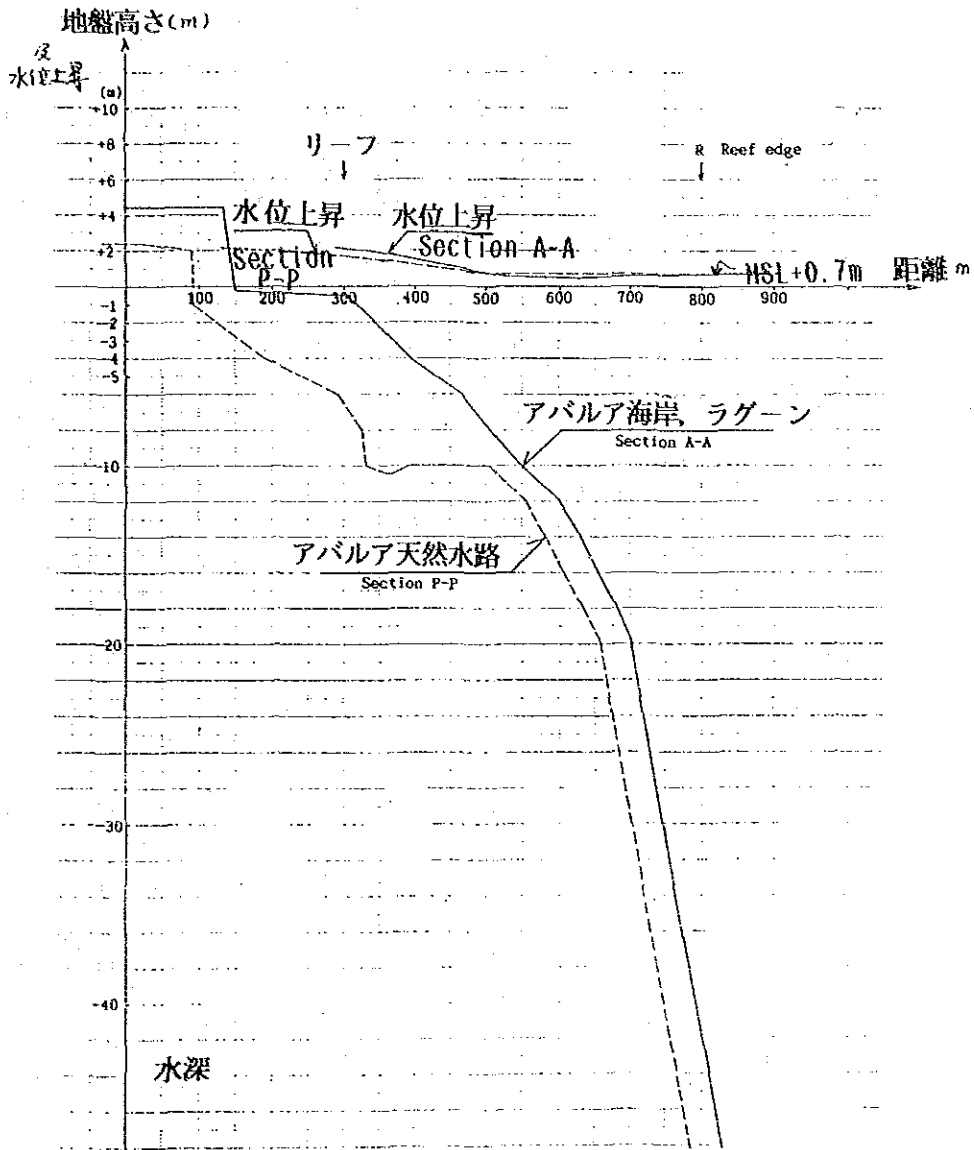


図5-11A ラグーンと天然水路での水位上昇の変化

5.3.8 従来の手法による計算

沿岸断面が平面的に一定である時のラグーン内の波高と水位上昇を従来の手法で求めてみる。北部海岸を対象とする。

1) 検討対象海岸

検討対象海岸を3分割して、それぞれの地域の特徴及び換算沖波を求めると次のごとくである。

地域	始点	終点	延長	換算沖波 H_0	主要施設
北東部	Kiikii西より 2025	Avarua東 6031	2,000m	8.1m	Tamure Sesort Conservation Dep. Health Dep. Government office Avarua Harbour
中央部	Avarua東より 6032	Airport東 7031	2,200m	7.7m	Avarua Harbour Shopping Center Avatiu Harbour R.C Cemetry Tank yard
北西部	Airport東より 7032	Airport西 70312	2,100m	8.7m	Airport東 Cemetery Parliament MET Airport西

2) 検討手法

リーフ及びラグーン上の波高及び水位上昇量を高山の提案した実験式より算出する（港湾技術資料No.278「リーフ上の波の変形に関する研究」）。

波高変化と水位上昇の算定式を以下に示す。

$$H_{1/3}/H_o = B \cdot \exp\left(-A \frac{x}{H_o}\right) + \alpha \frac{h + \eta_\infty}{H_o} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{h + \eta}{H_o} = \sqrt{C_o - \frac{3}{8} \beta \left(\frac{H_{1/3}}{H_o}\right)^2} \dots\dots\dots (2)$$

- ここに、 $H_{1/3}$: ラグーン上の波高 (m)
 H_o : リーフ先端における換算沖波波高 (m)
 h : ラグーン上の静水深 (m)
 x : リーフ先端を 0 とするラグーン上の距離 (m)
 η_∞ : $x = \infty$ での平均水位の上昇量 (m)
 η : ラグーン上の水位上昇量 (m)
 A, α, β は常数で $A = 0.05, \alpha = 0.3, \beta = 0.56$
 B, C_o はそれぞれ次式により求まる。

$$B = \frac{H_{1/3} \ x=0}{H_o} - \alpha \frac{h + \eta_\infty}{H_o} \dots\dots\dots (3)$$

$$C_o = \left(\frac{\eta \ x=0 + h}{H_o}\right)^2 + \frac{3}{8} \beta \left(\frac{H_{1/3} \ x=0}{H_o}\right)^2 \dots\dots (4)$$

$$\frac{\eta_\infty + h}{H_o} = \sqrt{\frac{C_o}{1 + \frac{3}{8} \beta \alpha^2}} \dots\dots\dots (5)$$

8

- ここに、 $H_{1/3} \ x=0$: $x = 0$ メートルでの波高
 $\eta \ x=0$: $x = 0$ メートルでの水位上昇量

各海岸への共通条件として次を用いる。

リーフ先端より外側の海底勾配 $Q = 1/10$

ラグーン上の静水深

ラグーン高さ $MSL - 0.3m$

水位 $MSL + 0.7m$

従って、 $h = 1.0m$

波 長 $L_o = 1.56 \times 12.5^2 = 244m$

算定には、下の図を用いる。

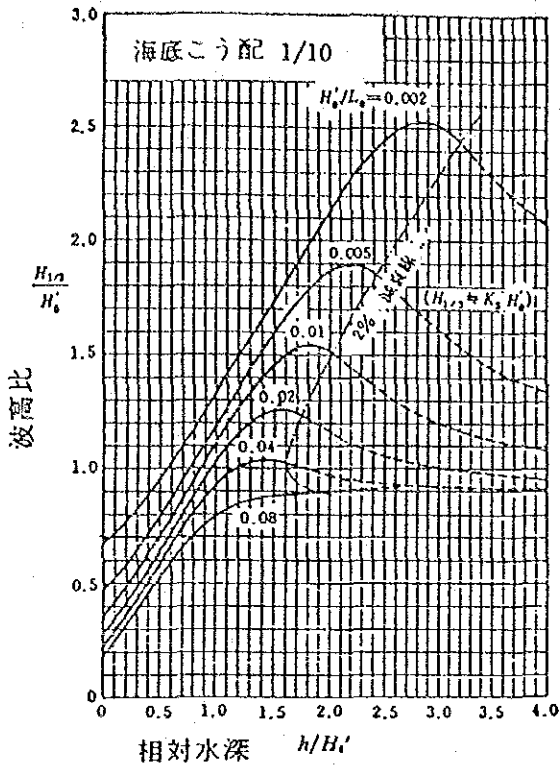


図5-11B 砕波帯内の波高の算定図
(海底勾配1/10)

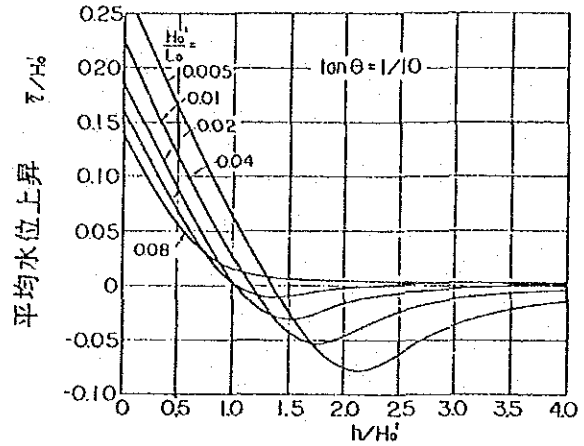


図5-11C 不規則波の浅水変形による
平均水位の変化 (海底勾配1/10)

3) 中央海岸での検討

a) リーフ上の波高

従って、図のパラメー相対水深 h/H_0' 、 h/L_0 及び波形勾配 H_0'/L_0 は、

$$h/H_0' = 1.0/7.7 = 0.13$$

$$h/L_0 = 1.0/244 = 0.004$$

$$H_0'/L_0 = 7.7/244 = 0.032$$

図5-11Bより、

$$H_{1/3}(\chi=0)/H_0' = 0.35$$

ここに、 $H_{1/3}(\chi=0)$ はリーフ上の波高を示す。

$$\begin{aligned} \text{ゆえに、} H_{1/3}(\chi=0) &= 0.35 \times 7.7 \\ &= 2.70 \text{ m} \end{aligned}$$

b) リーフ上の水位上昇

図5-11Cより

$$\eta(x=0)/H_o = 0.14$$

ここに、 $\eta(x=0)$ はリーフ上の水位上昇を表わす。

$$\begin{aligned} \text{ゆえに、} \eta(x=0) &= 0.14 \times 7.7 \\ &= 1.08 \text{ m} \end{aligned}$$

従って、基準面上の水位はリーフ端で次の通りである。

$$\text{MSL} + 0.7 + 1.08 = \text{MSL} + 1.78 \text{ m}$$

c) ラグーン上の波高および水位上昇

リーフ端より50mのラグーンでの値を求める。ゆえに、 $x=50\text{m}$

(4) 式より

$$\begin{aligned} C_o &= (0.14 + 0.13)^2 + 3/8 \times 0.56 \times 0.35^2 \\ &= 0.099 \end{aligned}$$

(5) 式より

$$\begin{aligned} \frac{\eta_{\infty} + h}{H_o} &= \sqrt{\frac{0.099}{1 + 3/8 \times 0.56 \times 0.3^2}} \\ &= 0.312 \end{aligned}$$

(3) 式より

$$\begin{aligned} B &= 0.35 - 0.3 \times 0.312 \\ &= 0.256 \end{aligned}$$

(1) 式より

$$\begin{aligned} H_{1/3}/H_o &= 0.256 \exp(-0.05 \times 50/7.7) + 0.3 \times 0.312 \\ &= 0.279 \\ H_{1/3} &= 0.279 \times 7.7 \\ &= 2.15 \text{ m} \end{aligned}$$

(2) 式より

$$\begin{aligned} \eta/H_o &= \sqrt{0.049 - 3.8 \times 0.56 \times 0.274^2} - 0.13 \\ &= 0.157 \\ \eta &= 0.157 \times 7.7 \\ &= 1.21 \text{ m} \end{aligned}$$

従って、リーフ端より50mのラグーン上の波高 $H_{1/3}$ と水位上昇 η は次のとおりである。

$$\begin{aligned} H_{1/3} &= 2.15 \text{ m} \\ \eta &= 1.21 \text{ m} \\ &= \text{MSL} + 1.21 + 0.70 = \text{MSL} + 1.91 \text{ m} \end{aligned}$$

同様にして、リーフ端より100m、150m及び200m地点の値を求めて見た。

リーフ端より距離 (x m)	50m	100m	150m	200m
波 高 $H_{1/3}$ (m)	2.15	1.75	1.46	1.26
水位上昇 η (m)	1.21	1.29	1.32	1.36
MSL + m	1.91	1.99	2.02	2.06

4) 検討結果の集計

北東部海岸及び北西部海岸も同様にして検討し、中央海岸の値と合せて表示すると、下表のごとくである。

地 域	諸 元	リーフ端よりの距離 (x m)				
		0	50	100	150	200
北 東 部	波 高 $H_{1/3}$ (m)	2.84	2.28	1.86	1.56	1.34
	水位上昇 η (m)	1.13	1.26	1.34	1.39	1.42
	水 位 MSL + (m)	+1.83	+1.96	+2.04	+2.09	+2.12
中 央 部	波 高 $H_{1/3}$ (m)	2.70	2.15	1.75	1.46	1.26
	水位上昇 η (m)	1.08	1.21	1.29	1.32	1.36
	水 位 MSL + (m)	+1.78	+1.91	+1.99	+2.02	+2.06
北 西 部	波 高 $H_{1/3}$ (m)	2.61	2.15	1.80	1.54	1.35
	水位上昇 η (m)	1.31	1.41	1.47	1.51	1.53
	水 位 MSL + (m)	+2.01	+2.11	+2.17	+2.21	+2.23
平 均	波 高 $H_{1/3}$ (m)	2.71	2.19	1.80	1.52	1.32
	水位上昇 η (m)	1.17	1.29	1.37	1.41	1.43
	水 位 MSL + (m)	+1.87	+1.99	+2.07	+2.11	+2.13

5) 従来の手法と電算値との比較

今回電算解析した北東部及び中央部海岸で両者の比較をして見る。

地域	諸元	リーフ端よりの距離 (χ m)				
		0	50	100	150	200
北東部						
A. 波高	$H_{1/3}$ (m) 手計算	2.84	2.28	1.86	1.56	1.34
B. 波高	$H_{1/3}$ (m) 電算	3.20	1.00	1.00	1.00	1.00
C. 比率	A/B	0.89	2.28	1.86	1.56	1.34
D. 水位上昇	η (m) 手計算	1.13	1.26	1.34	1.39	1.42
E. 水位上昇	η (m) 電算	1.40	1.65	1.85	1.85	1.85
F. 比率	D/E	0.81	0.76	0.72	0.75	0.77
中央部						
G. 波高	$H_{1/3}$ (m) 手計算	2.70	2.15	1.75	1.46	1.26
H. 波高	$H_{1/3}$ (m) 電算	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
I. 比率	G/H	1.35	2.15	1.75	1.46	1.26
J. 水位上昇	η (m) 手計算	1.08	1.21	1.29	1.32	1.36
K. 水位上昇	η (m) 電算	1.30	1.50	1.55	1.55	1.55
L. 比率	J/K	0.83	0.81	0.83	0.85	0.88

波高の比較

リーフ上の波高は、手計算値と電算値で10%~35%の差がある。ラグーン上の波高では25%~130%の差があつて、手計算の値が電算値より大きい。最も差のある場所はリーフ端より50mの地点である。その地点の電算による波高は既に低減を終えているが、手計算の波高はリーフ端より200mの地点でもなお低減を続けている。

水位上昇の比較

水位上昇量は、全体的に電算値が20%~30%高い値を示していて、場所により変動差は少ない。北東部海岸では平均的に約40cm電算値が大きい。中央部海岸では約25cm電算値が大きい。

5.4 海岸侵食の考察

この節ではラロトンガ島の海岸侵食や海浜侵食の一般状況を述べることにしたい。多くの侵食は中級サイクロン以上の波力、沿岸流および打上げによって生じている。海岸を構成している砂や礫の供給源等も検討してみたい。

5.4.1 概 要

ラロトンガ島の海岸は地質的に次の4つの構成要素からなっている。

a) “基 盤”

主な基盤は化学作用で固結した珊瑚成分である。この他に火成岩とみられる黒色の露頭基盤がある。これらの岩は侵食されることはなく、かなりの荷重に耐えられる基礎になりうる。

b) “海浜礫”

海浜礫は主に珊瑚片や基盤の破片で構成されている。多くの海岸段丘はこれらが集合したものである。大型のサイクロンによる波の揚圧力でこれらの堆積が行なわれたと考えられる。第5.3.5節で述べたように大型のサイクロンは海岸侵食を起こすが、同時にこのような新たな国土を広げるとも考えられる。これらの礫でできた地盤は空隙が多く、珊瑚砂がそこに埋まっている時がある。従ってこのような地層は透過性が高く、水を涵養するには不向きである。しかし、この礫層は礫同士の接触による摩擦抵抗と圧力下での化学作用による粘着力で強い剪断抵抗力を持っている。

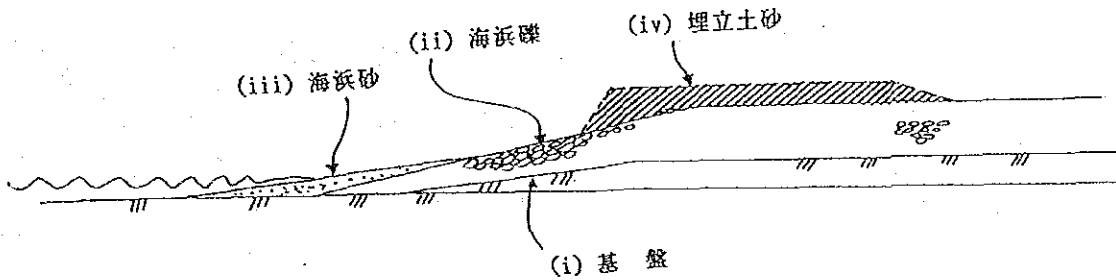
c) “海浜砂”

砂は海浜礫と混合したりまたはそれらを覆うような状態で存在している。この砂が表層である場合、沿岸流に対する抵抗力が弱いので比較的容易に下流方向に漂砂する。サイクロンによる波によって砂が巻き上げられ、汀線と平方な沿岸流によって運ばれることになる。砂の多くは「Helimeda」と呼ばれる海洋生物の細片である。この物質同士がある期間集団で層をなした後に基盤が生まれるといわれる。

d) “埋立土”

埋立土砂は生活環境を改善するための新たな土地を確保するために海岸段丘付近に盛土した一般土砂である。ある地区では海岸道路用の用地確保を目的として埋立が行なわれている。図5-12に海浜と海岸段丘の代表的な断面を示す。

図5-12 海浜の代表的断面



Beach Rock



Beack Gravel



Beach Sand



Reclamation

5.4.2 ラロトンガ島での侵食対象

侵食はこれらのうち3種類の表層で生ずる、つまり海浜砂、海浜礫および埋立土砂である。

a) 海浜砂の侵食（以下海浜侵食と呼ぶ）

海浜砂なるが故の粒子の細かさのために海浜礫に比較して侵食を受けやすい。中程度の沿岸流でも容易に運ぶことができる。

調査団の実施した海浜砂粒径調査の結果を付属資料C-3に示した。それによれば、平均密度は 2.37gr/cm^3 で平均粒径は 0.54mm である。

b) 海浜礫の侵食（以下海岸侵食と呼ぶ）

海浜礫は礫同士の摩擦抵抗や形状が大きいため、砂に比較して安定している。しかし、越波高さが大きくなると海岸段丘上に打上がることもある。越波高さが 4m を超えると直径 40cm 程度の礫も打上げられる。

c) 埋立土の侵食（以下埋立侵食と呼ぶ）

埋立土砂の性質は場所によって異なる。ラロトンガ島で一般的に埋立用として使われているのは一般土砂で、砂よりも粒が細かい。十分な保全をしないと、沿岸流にほとんど抵抗できない。

以下本調査の対象とする侵食作用は、上記項目a)およびb)とする。



Taipara河口部の海浜侵食
Avaavaroa村

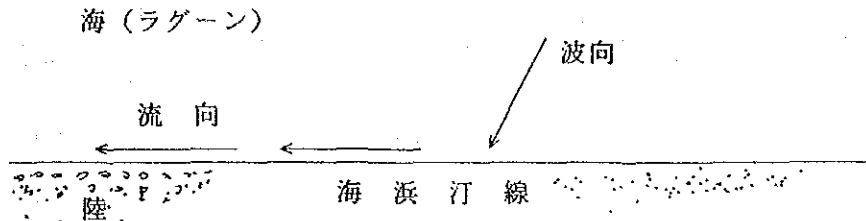


Muri Beachでの海浜侵食によって
露出した根

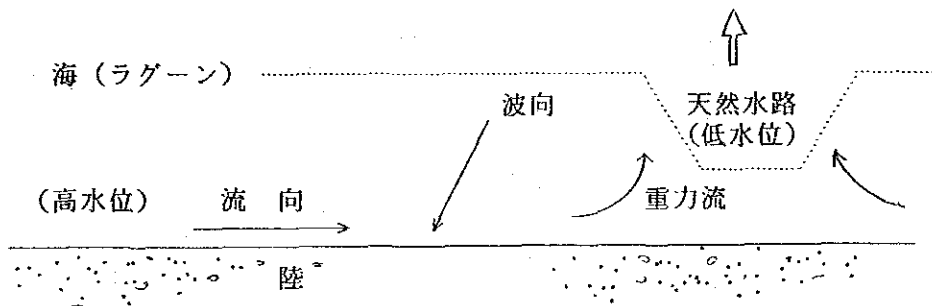
5.4.3 サイクロンの影響

1) 概要

沿岸流速が海浜粒子に対する限界流速を超えると、それら粒子の移動が始まる。一般的には流向は波向きによる。



沿岸流向と流速はサイクロン毎に変わるかもしれない。しかしながら、ある時には天然水路の有無や海底地形によって流向が定まっていることも考えられる。図5-7は図5-9を重ね合わせるとよく分かるが、流向と波向はまったく無関係である。これは沿岸流が水位上昇の解消を目ざして排水先を探すことに関係があるように思える。



このような流れをRutaki、Avavaroa、Ngatangiaa等の天然水路でみることができる。通常の天候状態では沿岸流の掃流力が弱いので、漂砂は生じない。しかし、大型のサイクロンではラグーンでの水位上昇量が大きく、結果として強い沿岸流を生むことになる。

2) サイクロンの規模と海岸変化

沖波4 m程度の小型サイクロンで砂が動き、沖波5 m程度の中型サイクロンで礫が動き、沖波6 m程度の大型サイクロンでは礫が動くと同時に海浜天端を越えて海岸背後に打上がることになるだろう。図5-13に3つのサイクロン強度毎の標準的な海浜形状を示した。図5-14と図5-15に細粒子および粗粒子の動きを時系列的に表示した。

図5-15に示すように大型のサイクロンは沖合より礫をラグーン上に持ち込む役目を果たしている。この作用なくしてはラロトンガ島では海岸段丘がこのように発達しなかったろう。従って、サイクロンは侵食も起こすが新たな国土のための石材を供給もしてくれている。

図5-13 サイクロン来襲時の海浜の状況

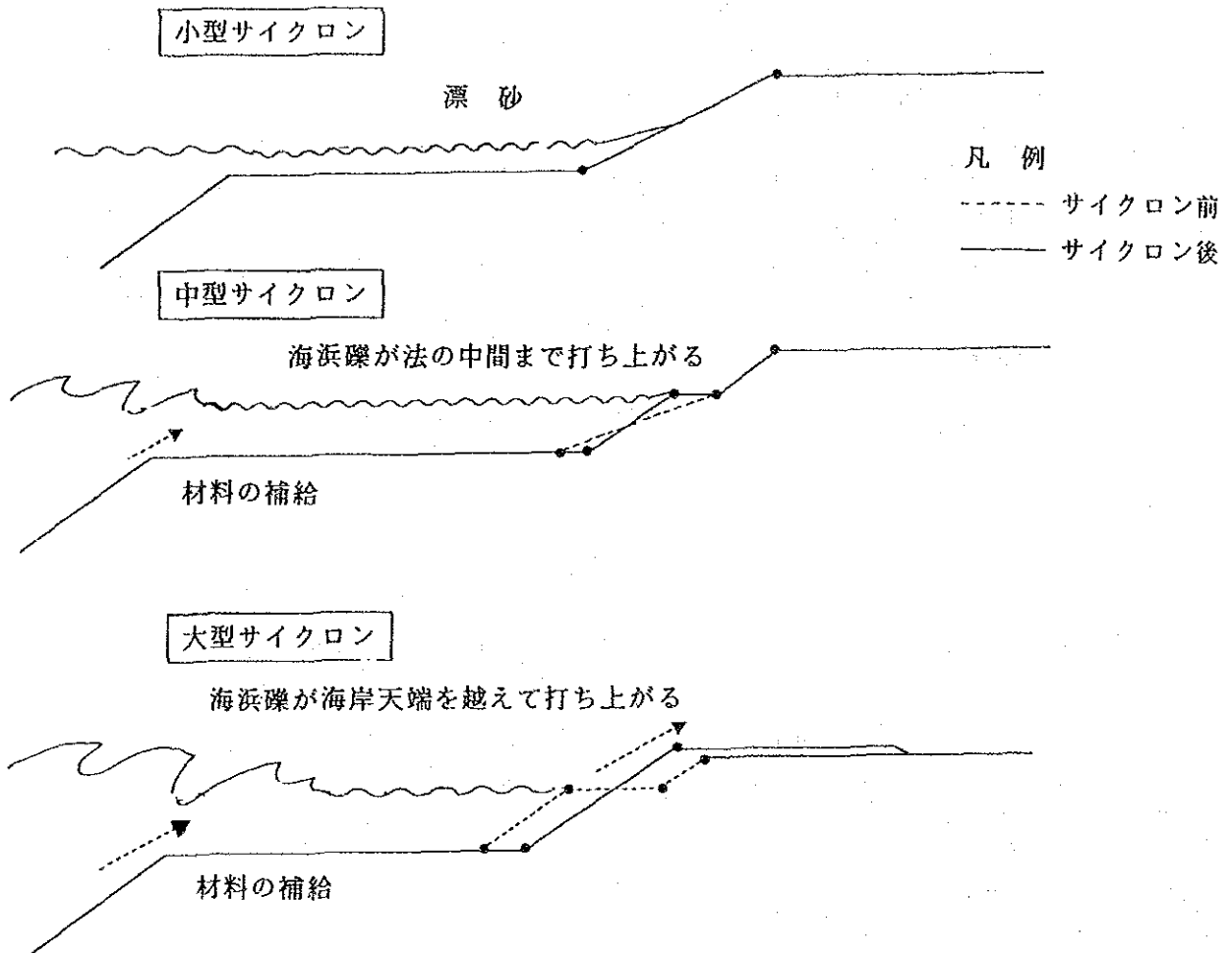
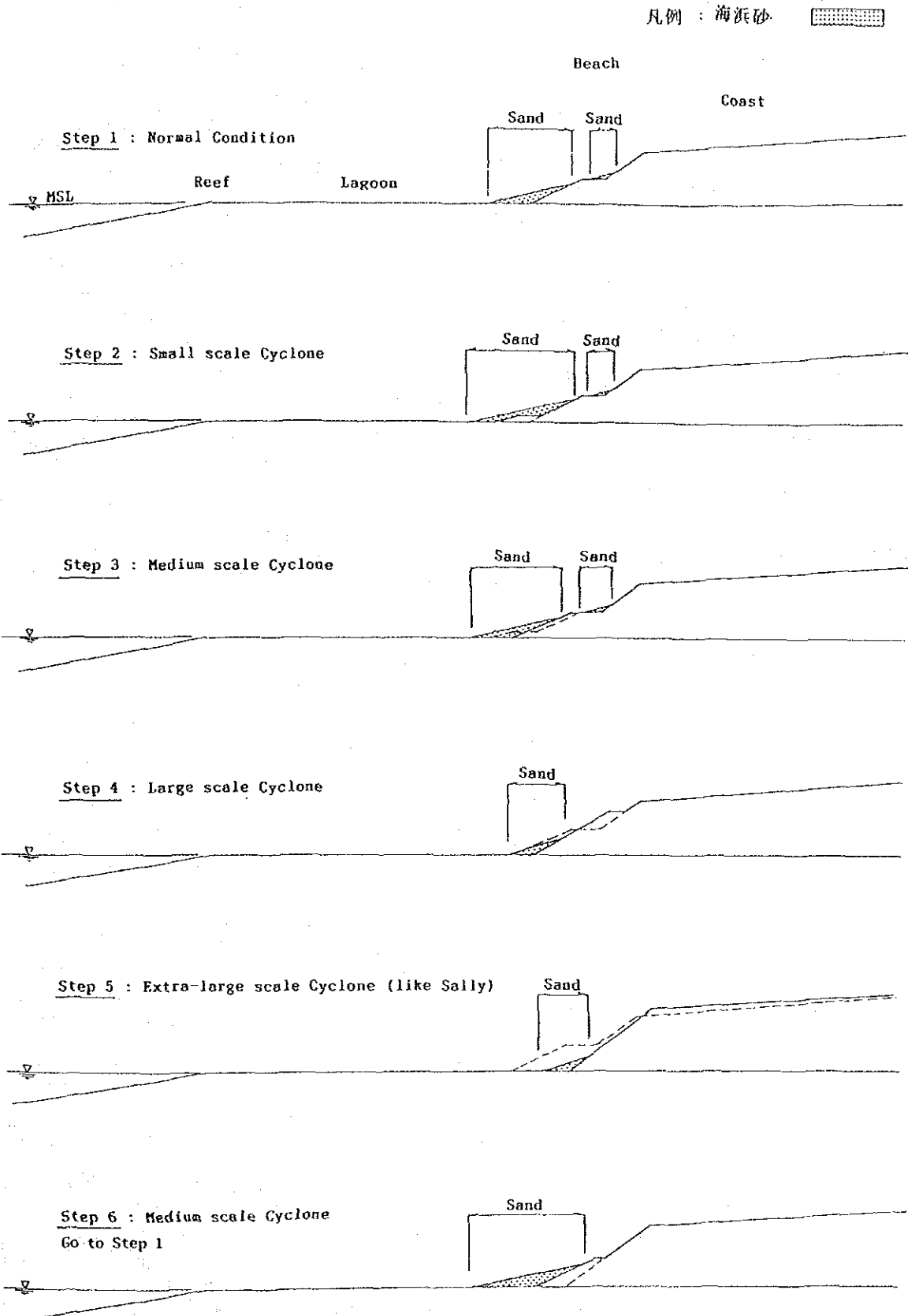
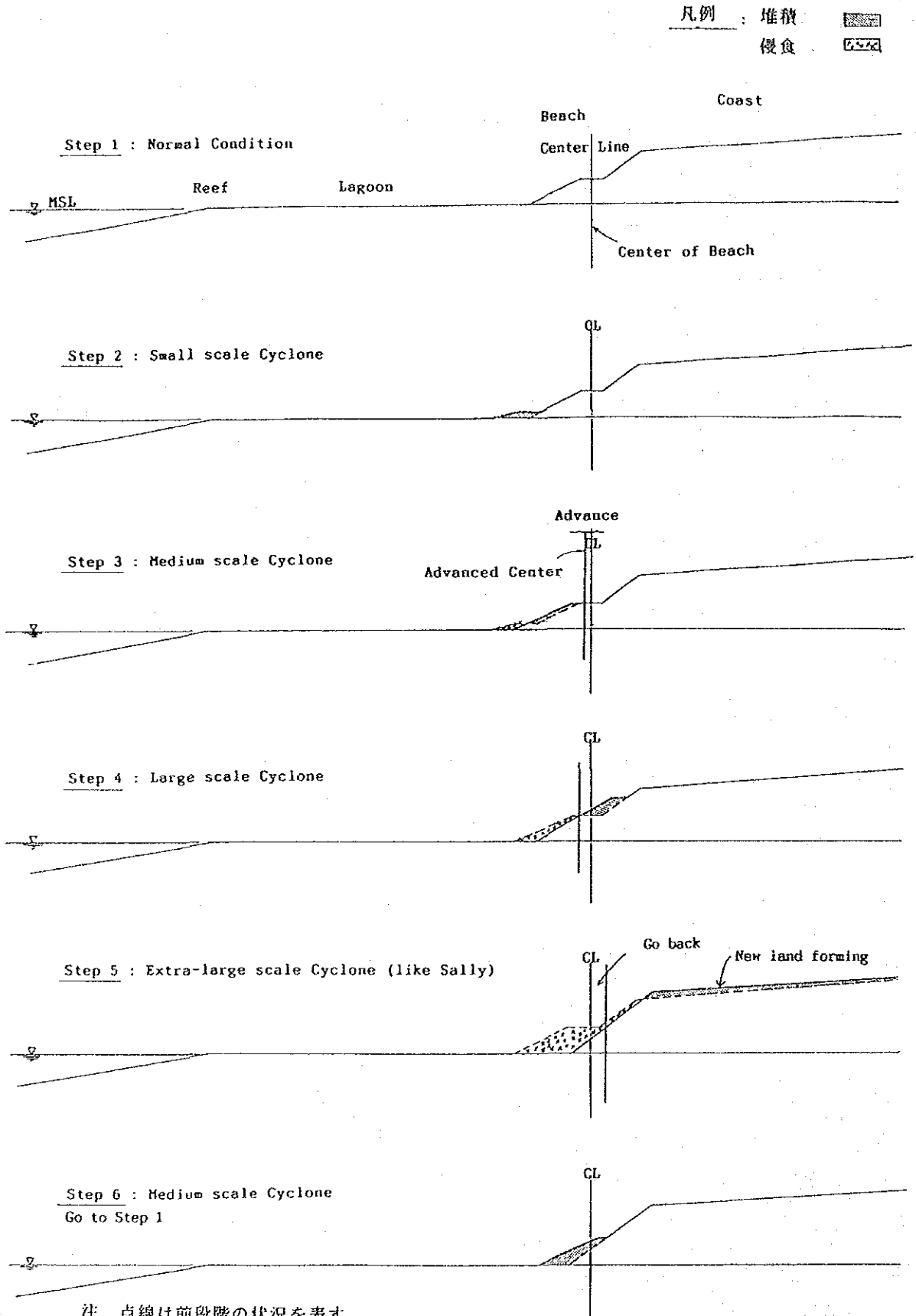


図5-14 海浜断面の経時別変化（細粒子に注目して）



注 点線は前段階の状況を表す。

図5-15 海浜断面の経時別変化（粗粒子に注目して）



5.4.4 侵食と堆積

海浜形状はサイクロン毎に変化するだろう。通常海浜の変化量は季節が一巡する間に測定される。ラロトンガ島では夏季の気候が不順であり、安定する冬季が変化量を観測するよい時期である。もし前の1年間の侵食と堆積を比較して堆積量が多ければ「堆積海岸」であるが、逆であれば「侵食海岸」と呼ばれる。しかし、残念ながらここには過去の侵食や堆積を定量的に測定した記録が残されていない。既往のデータは地図上に侵食の有無を示すのみである。変化量を知る目的で1960年以來の航空写真を分析したが、写真の縮尺上の問題や全海岸31kmを記録していない等より十分な成果が得られなかった。

全海岸線の変化量を知るために、村民に関する実態調査を分析してみた。図5-16と図5-17に海岸侵食に関する調査結果を示す。村民の侵食に関する回答を図上にプロットした。この調査によれば、過去5年間の全海岸平均侵食量は1.8mである。侵食の規模は比較的小さい。一方、同期間の平均海浜侵食量は4.4mである。サリーは最悪のサイクロンと村民に認識されており、同期間の80%の侵食はサリーによるものと報告されている。

注：村民の回答は過去10年間の変化量に関するものであった。しかしながら、1987年1月のサリーによる侵食が最悪だとほとんどの村民が回答しているので、変化量は過去5ヶ年の量であると判断した。

1987→1991 …………… 5ヶ年間

海岸侵食と海浜侵食の関係を図5-18に示す。

图 5-16 海岸变动·突急調査

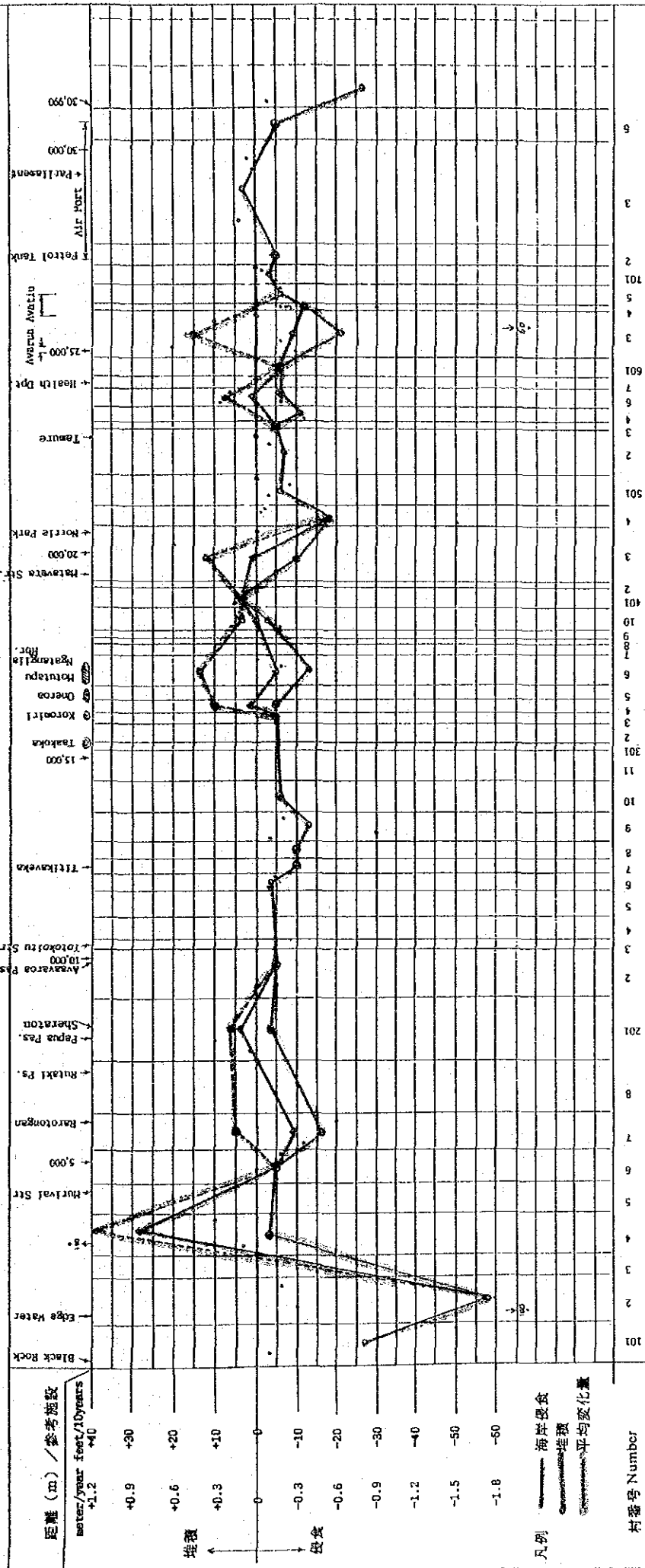
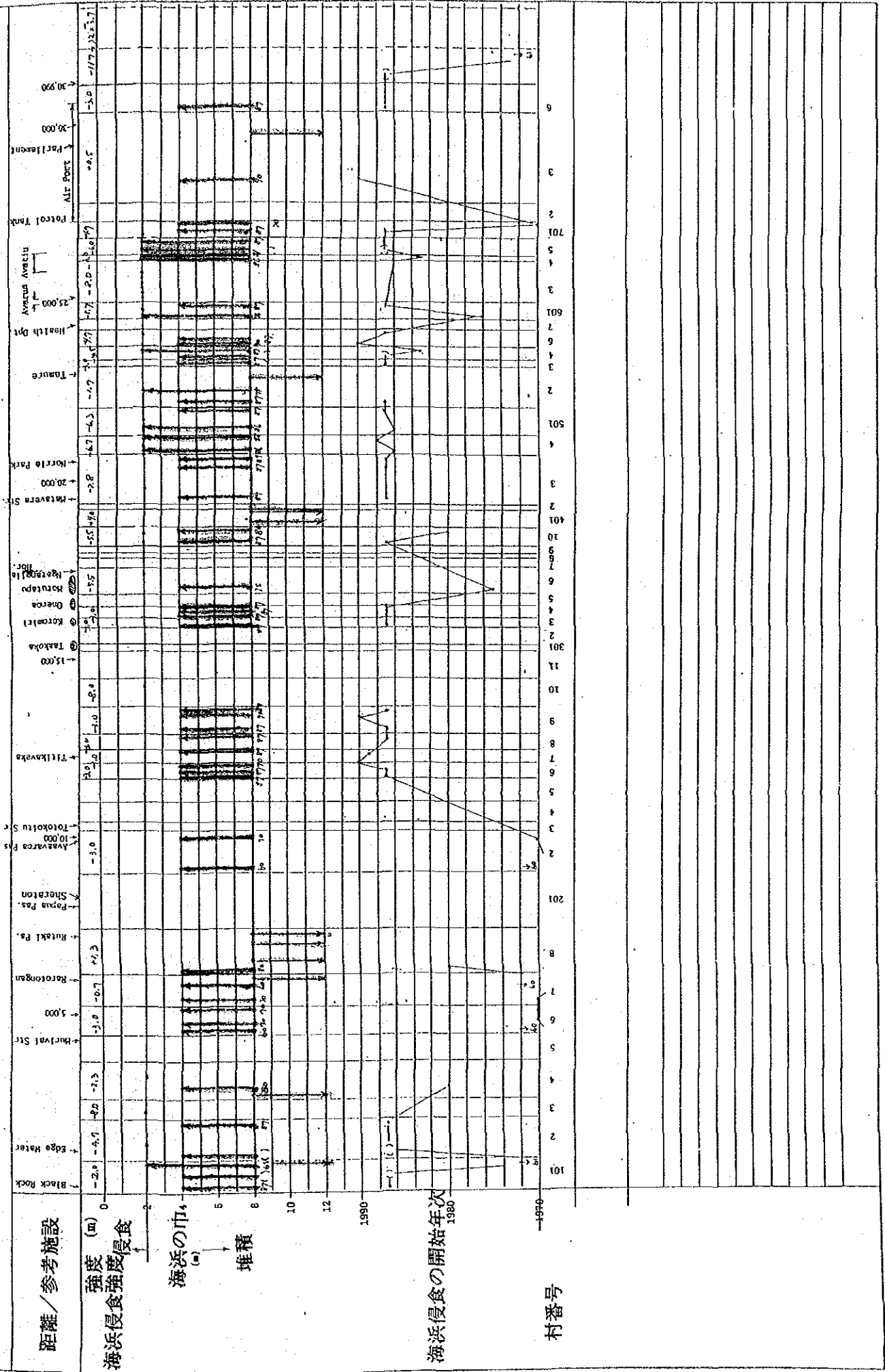
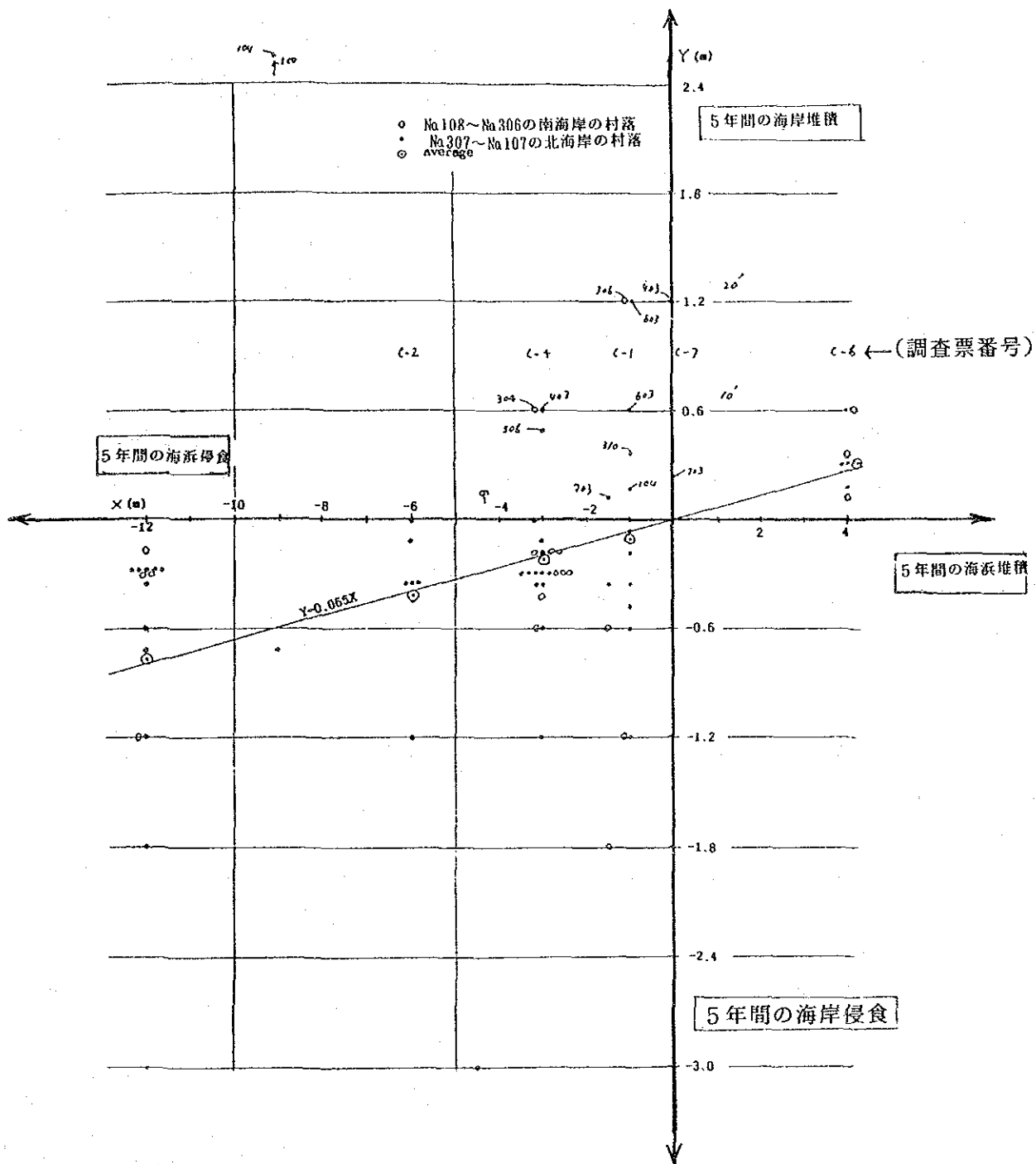


図5-17 海浜変動・実態調査





注 図中の数は村落番号を示す。

図5-18 海岸侵食と海浜侵食の関係

5.4.5 局所的海岸変動

海岸変動収支を検討するには局所的方法と総体的な方法とがある。局所的検討手法とは海岸汀線付近に着目し、主に岸沖方向の変動に注目することである。海浜粒径と波との関係は昔よりいろいろ研究されている。

安定している日本の12海岸の事例をもとにまとめた図5-18Aより、これらの関係を検討してみたい。

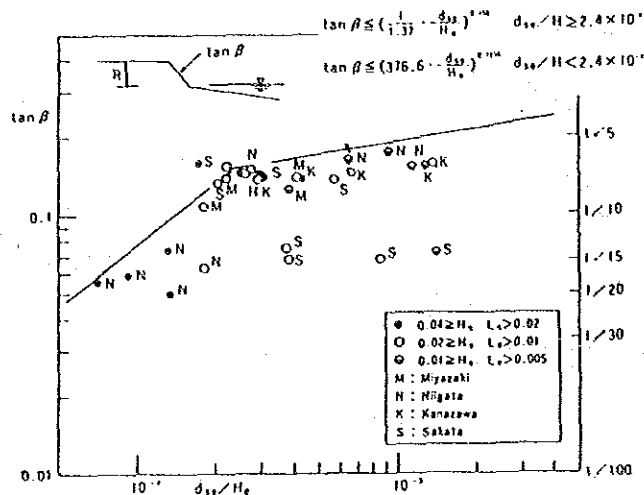


図5-18A 前浜勾配と d_{50}/H_o の関係

検討条件： 換算沖波 $H_o = 4, 5, 6, 7, 8, 9$ m
 海浜勾配 $\tan \beta = 0.1, 0.2, 0.25, 0.3$

図より安定のための限界的な d_{50} を求めて次表に示す。海浜砂の平均粒径は0.54 mmなので、常に不安定な状態にあるといえる。

表5-5 限界平均粒径 d_{50}

$\tan \beta$	d_{50}/H_o	d_{50} (cm)					
		$H_o = 400$ cm	$H_o = 500$ cm	$H_o = 600$ cm	$H_o = 700$ cm	$H_o = 800$ cm	$H_o = 900$ cm
0.1	0.0005	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
0.2	0.0015	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20	1.35
0.25*	0.0050	2.06	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
0.3*	0.0150	6.00	7.50	9.00	10.50	12.00	13.50

注 $\tan \beta = 0.25$ および 0.30 は図5-15Aより推定した。

5.4.6 面的な海岸変動

面的な変動とは土砂の収支が全体としてとらえられるような特定の地域での土砂収支である。観測によれば、ラグーンより天然水路に向けての返流の存在が予測されている。この現象は5.3.7節に示した電算解析によって確認されている。河川によると土砂の供給がラロトンガ島では限られているので、ラグーン上の土砂はリーフを越えて出入りしていることになる。約500mないし1,000mの海岸延長線上の土砂の収支はその区域に出入りする移動土砂のバランスによって支配されていると考えられる。

1) 海浜砂

a) 入り

海浜砂が増加するには4つの原因が考えられる。

- 波によって生じた沿岸流がリーフを越えて沖合の堆積砂を持ち込む。
- ラグーン内の自己生産
- 近接するラグーンより流入する。
- 河川流に含まれた土砂が流入する。

これらの流入源のうち、隣接する海浜より持ち込まれる砂は次の区域へそのまま流出すると考えられるので、基本的な流入源とはいえない。河川より流入する砂は少なく流入河川のない海岸もあるので、主要な供給源にはなれない。地区内で生産された砂が主供給源の1つであろう。しかし、これはラグーンの生物化学的性格によるところが大きい。従って、主要な砂の供給源はリーフの海側での生産および堆積砂である可能性が高い。

b) 出

海浜砂の減少は次の2つの原因によるものと考えられる。

- 返流に乗って天然水路を通り、沖合に流出する。これには天然水路のないラグーンでの離岸流(rip-current)も含まれる。
- 隣接する海岸やラグーンへ流出する。

これらの流出原因のうち、横のラグーンに流出する砂は主要な流出源ではない。移動した砂はそこでの供給源となるからである。従って、主要な流出先は沖合であろう。

2) 海浜礫

a) 入り

礫の供給源は砂と同じである。しかし、ラグーン内の自己生産や隣接海岸よりの流入量は少量であろう。主要な供給源は波力でリーフを越える海水とともにラグーン内に打上がった珊瑚片と思われる。礫の重量を考えると、波力だけが礫の移送の原動力であろう。従って、移送方向は波向と同じく海浜汀線にほぼ直角となる。汀線と平行方向の移動は少ないと考えられる。

b) 出

礫の減少理由は砂の場合と同じである。しかしながら、減少率は砂の場合と比較してかなり少ないだろう。これに加えて陸上への礫の打上げがある。

これらの2つの異なる材料を比較することによって、土砂収支は次の図のように表すことができる。

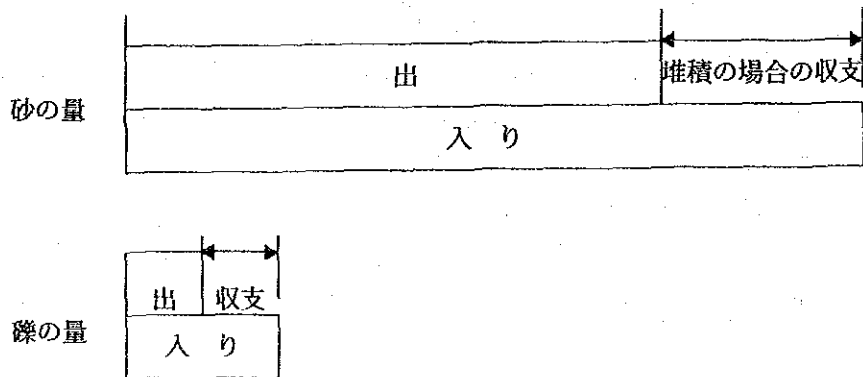


図5-19と図5-20に砂および礫それぞれの収支を各供給源ごとに示した。

図5-19 細粒材の収支

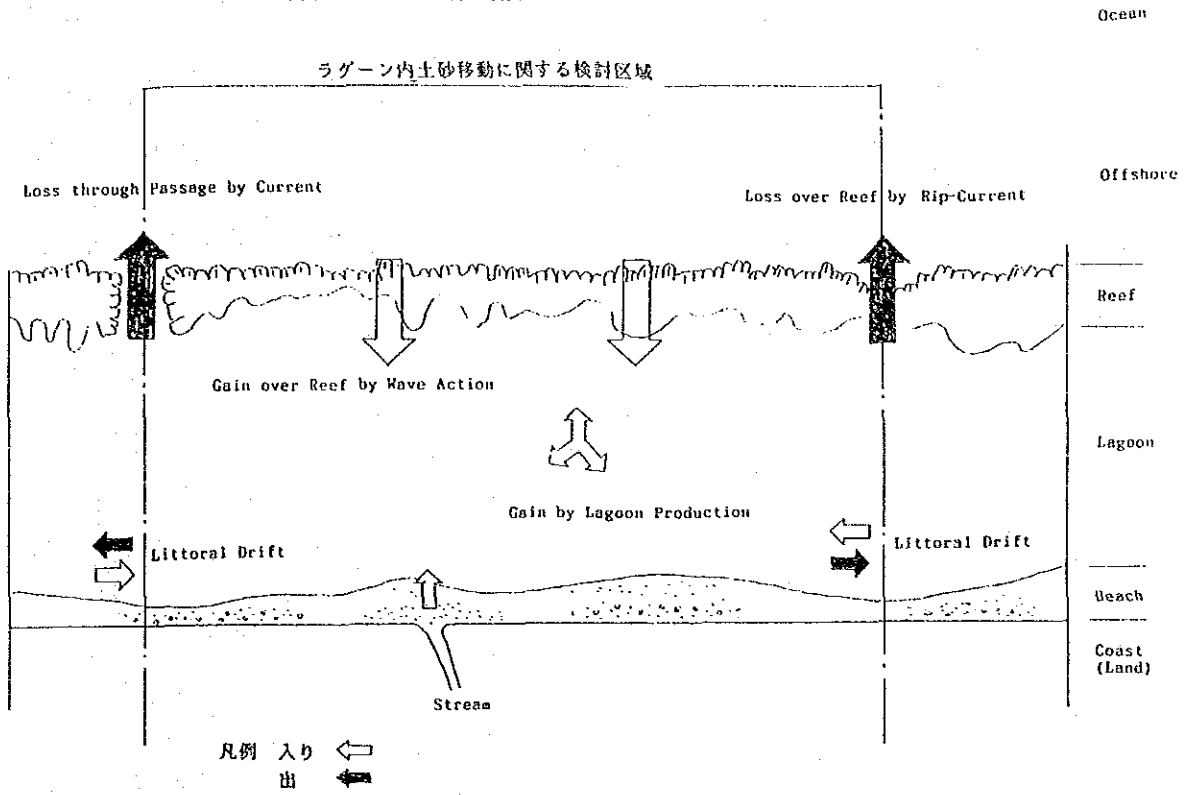
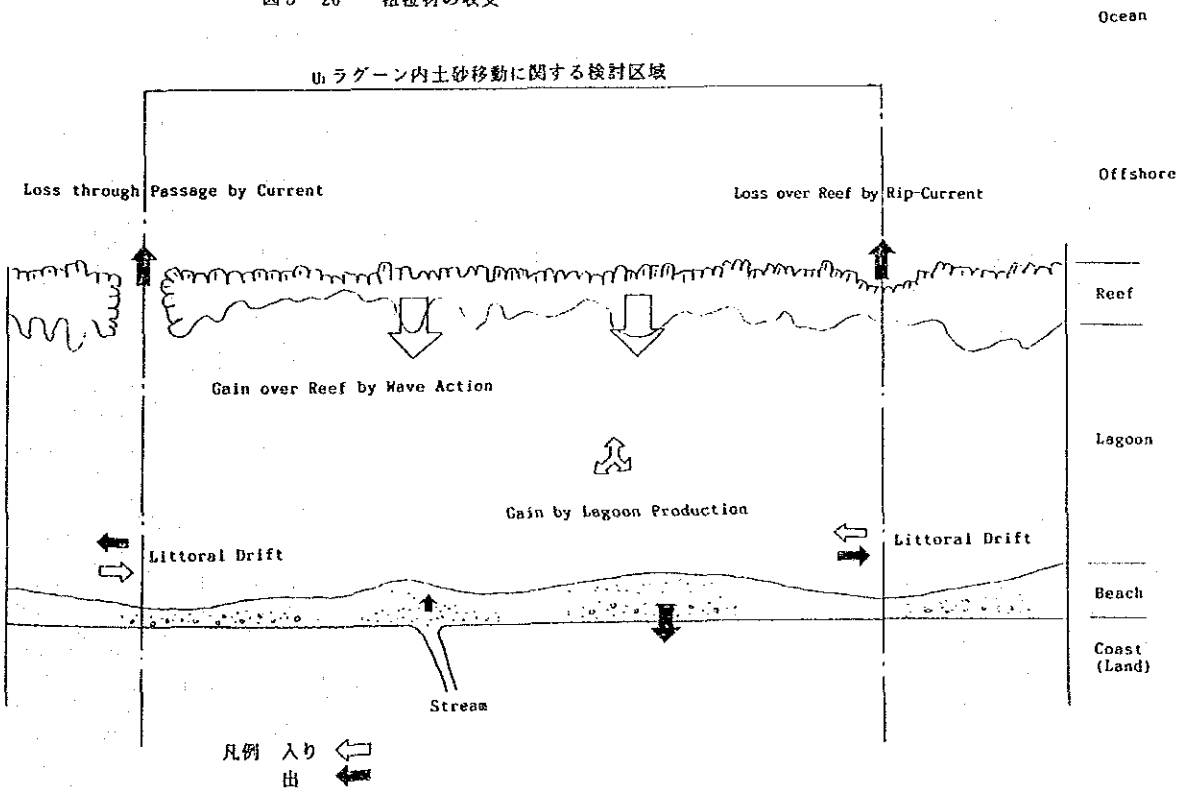


図5-20 粗粒材の収支



5.4.7 面的にとらえた土砂移動状況

砂の平均粒径が約0.5mm、また同密度は 2.37gr/cm^3 なので礫等の粗粒材に比べて軽量である。従って、沿岸流で簡単に移送されうる。砂の主な供給源はラグーン自体とリーフの外側の部分である。砂は沿岸流で一定の海域を移動している。この流れは波エネルギーの変換に深く関係している。まず、第一にラグーン内の水位は次の2つの理由で上昇する。

- a) ラグーン上に打上がった水体による上昇
- b) 波エネルギーが動的なものより静的なものに変わる際の水位の上昇

リーフを越える際持っていた波の動的エネルギーはラグーンの摩擦抵抗や砂等の移送で徐々に消費される。残ったエネルギーは静的な状態に変換されて水位上昇に姿を変える。水体は一般に重力の力によって低所に向けて流れる。しかしながら、ラグーンのある海岸では次々にそこに生きのよい波が打上がってくるので、一度打上がった海水は沖合に戻ることは難しい。従って、海水はそこによどみつ天然水路あるいはそれに類似した水路を探して沖合に流出しなければならない。天然水路での返流はかなり高速で 1.5m/秒 である。ラグーン上での平均流速は 0.5m/秒 だから返流は約3倍も大きいといえる。図5-9および5-10を参照されたい。

図5-21はこういった状況をサリーが延長 $2,000\text{m}$ のラグーンを襲った場合を想定して作成してみた。流況を単純化する目的で波がリーフに直角に入射する場合の状況をそれぞれ図5-22、5-23および5-24に示す。2本の返流を境界とする特定水域内で1つの流況が完結しているように見える。この流況を「単位流況」と呼ぶこととする。返流は天然水路または返流が通過するに好ましいリーフを通過している。旋回を中心は「単位旋回流況」の中で2ヶ所あって、リーフより沖側 $200\sim 300\text{m}$ 線と返流中心より 150m の線とを結ぶ点にある。

もし波がリーフに直角に侵入してくれば、これらの旋回は隣接する他の単位流況と混合することはない。旋回を中心は沿岸流が最も活発に珊瑚林や海底より砂を巻き上げる場所でもある砕波帯の中央付近にある。砂を含む沿岸流は砕波帯に戻り再びリーフに近接しラグーンに打上がる。

図にみるように沿岸流の約 $1/2$ はラグーンに打上がらずに常にリーフ外面を流れている。もう1つの特色はラグーン上の沿岸流の多くが海岸線と平行に流れると言うことである。たったの $10\sim 30\%$ の沿岸流が海岸近くを流られることも分かる。残りは汀線より離れて流れていることになるから、汀線に接することのできる海水量は極めて少ないことになる。

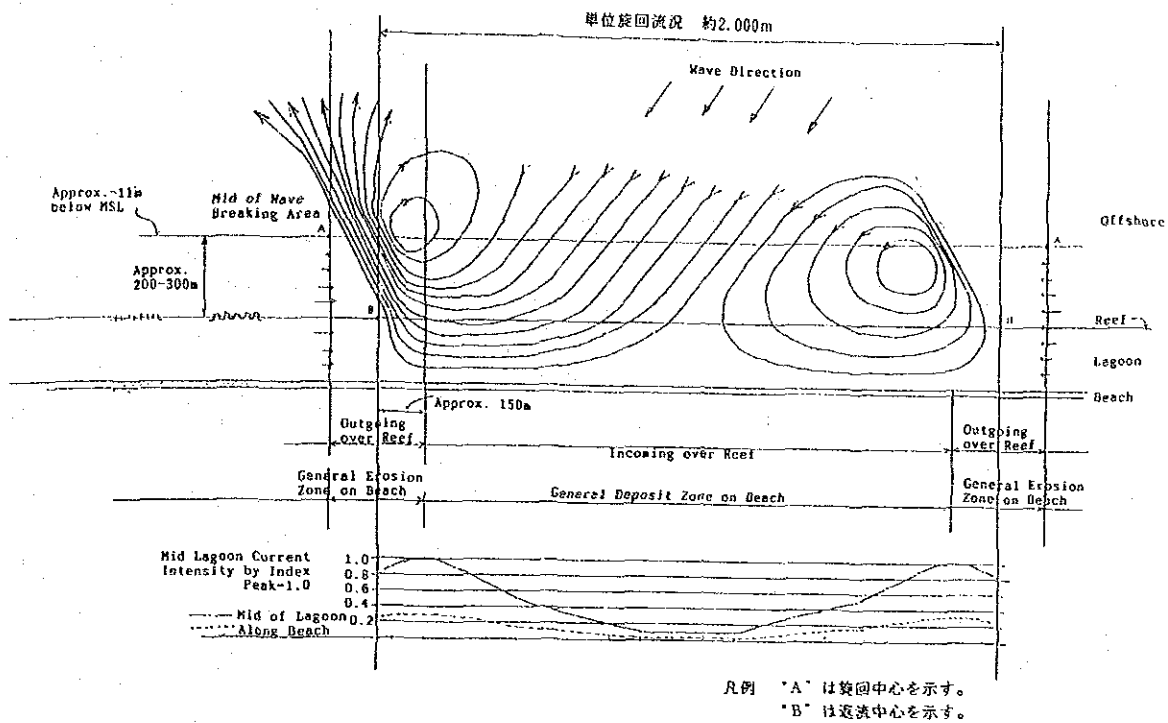


図5-21 土砂変動状況 (1/7)

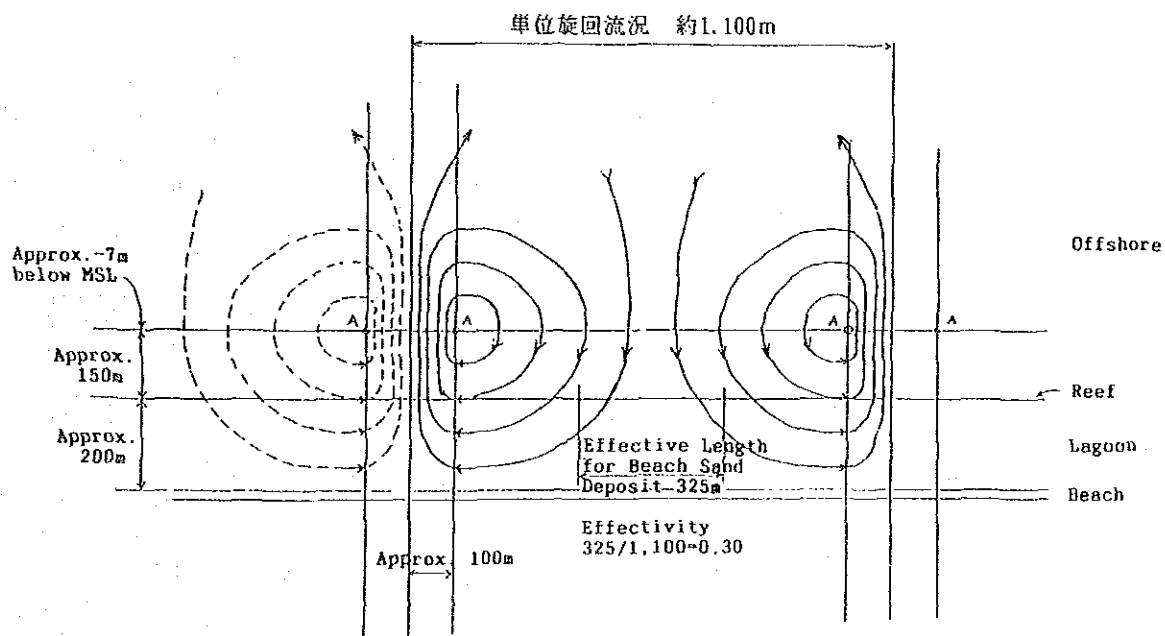


図5-22 土砂変動状況 (2/7)

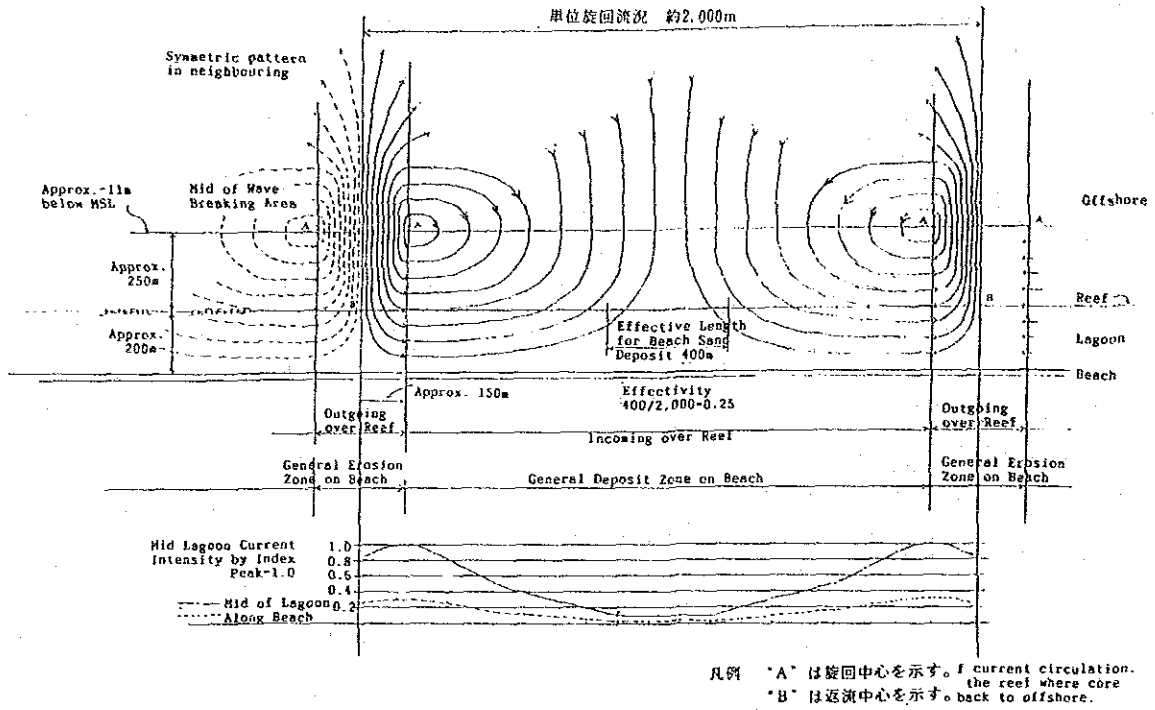


図5-23 土砂変動状況 (3/7)

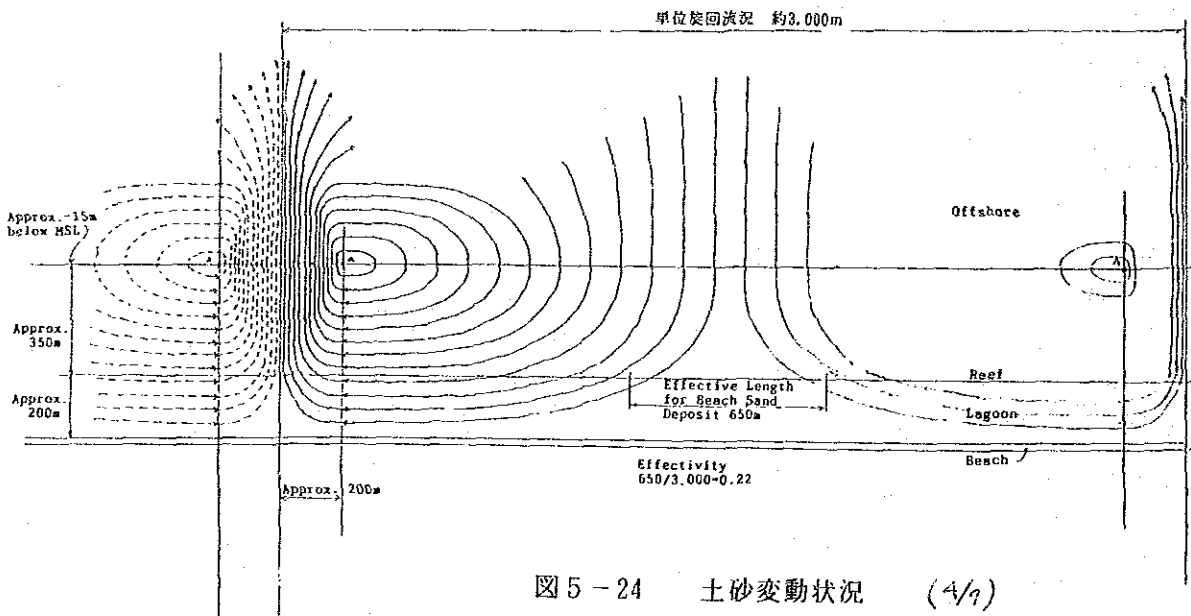


図5-24 土砂変動状況 (4/7)

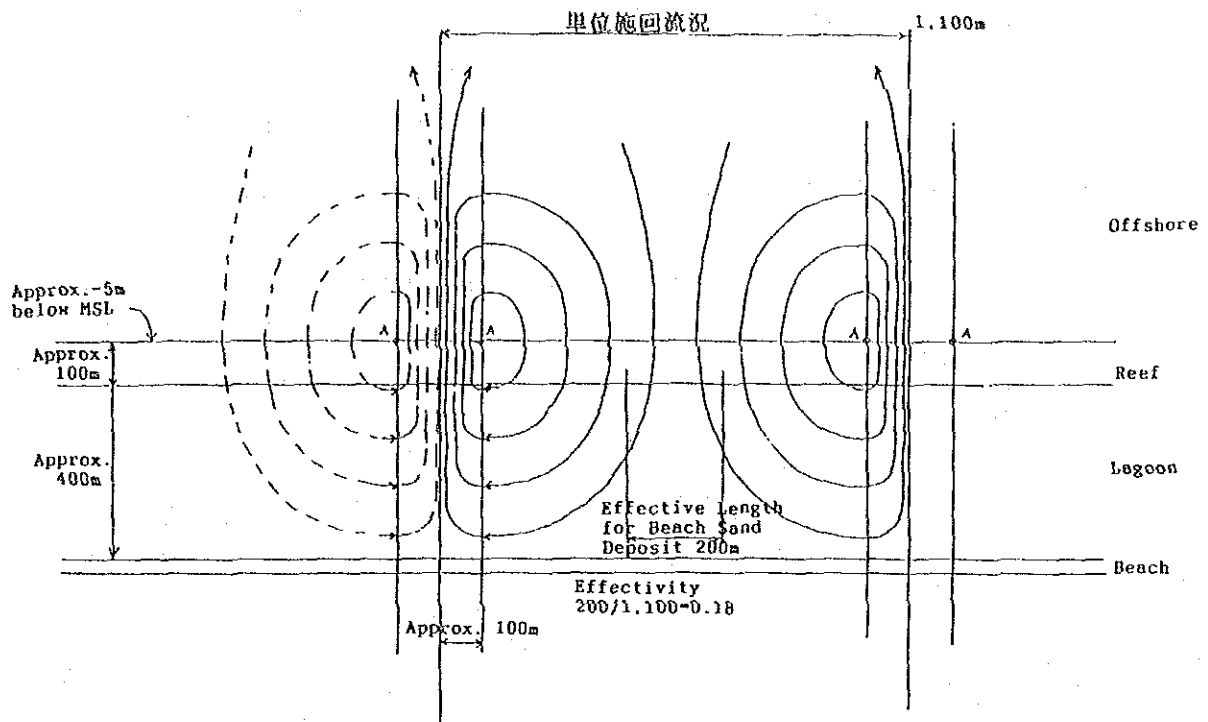


图 5-25 土砂变动状况 (5/7)

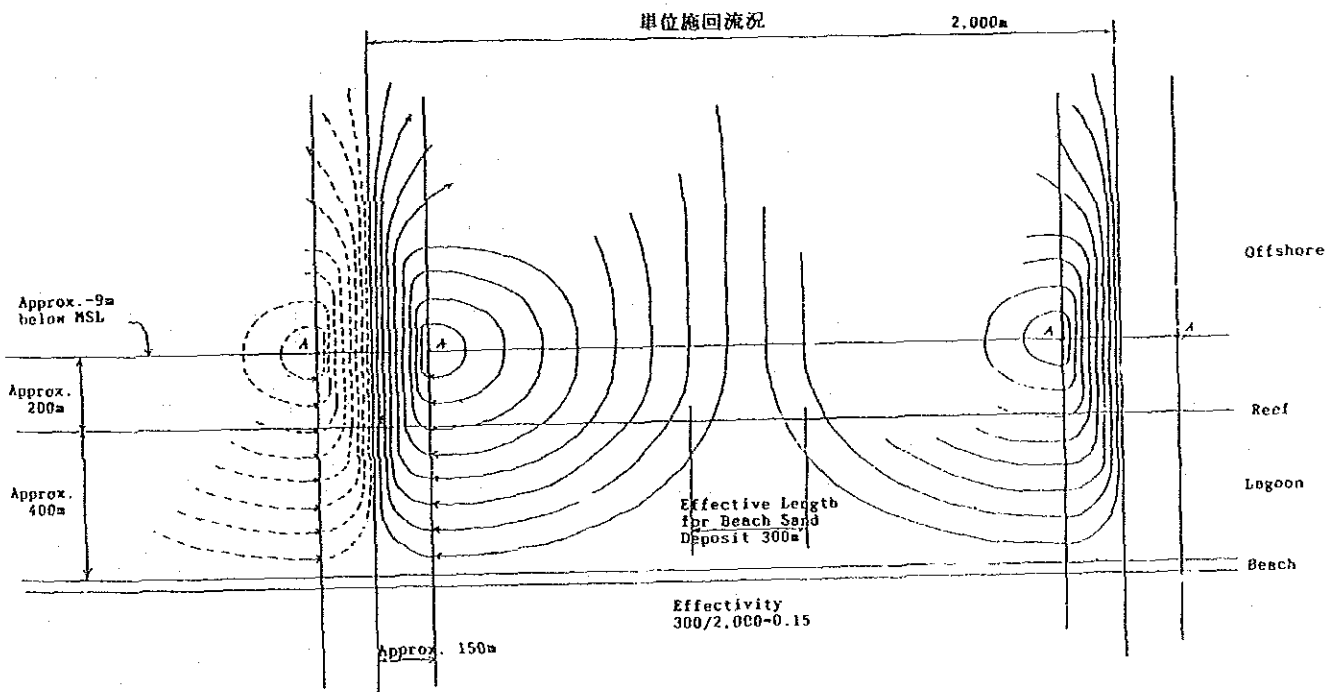


图 5-26 土砂变动状况 (6/7)

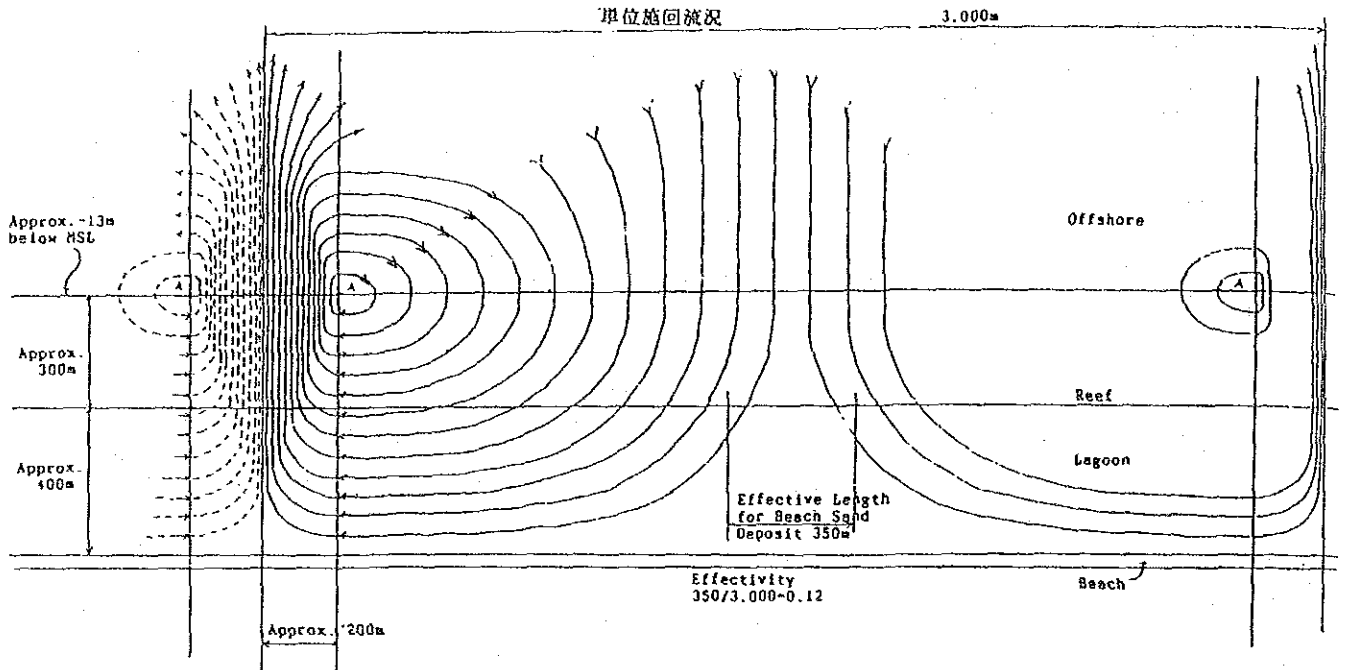


圖 5-27 土砂變動狀況 (7/7)

このことより、漂砂のうちうまく汀線まで達することのできる効率を次式で計算してみる。

$$E = L_r \div L_u$$

ここに、E : 砂を含む沿岸流でリーフを越えたもののうち、どの程度が汀線付近で達することが可能かを示す把握効率

L_r : 汀線付近まで達することができた沿岸流が通過したリーフの延長

L_u : 単位旋回流況延長 (m)

効率Eをラグーン幅や単位流況延長との関係で次表に示す。

ラグーン幅	単位流況延長毎の把握効率		
	1,100m	2,000m	3,000m
200m	0.30	0.25	0.22
400m	0.18	0.15	0.12

この表よりラグーン幅が狭くて単位流況延長が短い場合海岸が砂を補足する効率が高いことを示している。流速は天然水路または同類の水路付近で最も大きくなる。最も遅い流れは2本の返流の中央でみられる。電算解析によれば、後者は前者の約1/10である。これは、2つの水路の中央のラグーンでの波による水位上昇が動的エネルギーに再変換されたためと考えられる。Conservation Dep.によれば、この現象つまり海浜侵食が天然水路付近で観測されたとのことである。また、堆積が2つの水路の中央部分の海岸でみられたと報告している。

返流で移送される砂分は再び天然水路を通過して沖合に戻っていく。それにつれて流速が減少し砂は再び沈降する。もしこの海域が砕波帯であれば、砂は再び砕波によって巻き上げられ次のリーフやラグーンに向けての旋回を始めることになる。

これらより砂補給を海岸付近で増加するために次が考えられる。

- a) ラグーン幅を短縮する。
- b) 天然水路を増加して単位流況延長を短くする。

前者は汀線付近での波のエネルギーを高めるので、また工事量も大きくなって可能性は少ない。一方後者は、人工的に水路を設けることによって可能性がある。この考え方は「水工水路」として7.3.4節で取扱うものとする。ただし事業として実施するには、なお詳細な検討を必要とする。

5.5 沿岸開発の影響

住民意識調査によれば、サイクロン・サリーによる被災量は過去25年間で最大であった。サリーの再起年数は約30年なのでこのような大型サイクロンは30年毎に生ずることになる。一方、サリーより小型のサイクロンも発生する。12.2.7節に示すように、この期間に発生するすべてのサイクロンをサリー級に換算すると約9.3個になる。ゆえにもし海岸保全工事などの適切な対策がなされなければ、今後30年間にサリー級災害9.3個分を覚悟しなければならない。現状としては、ラロトンガ島の人々はこれらのサイクロン災害より守られているとはいえない。サイクロンのもたらす沖波や風を人工的に制御することは不可能である。したがってこの島は適切な方法でこれらの外力を弱める施策を実施しなければならない。施策は主にラグーンおよび海岸地域に施すことになろう。

最近の沿岸域開発のために、島民あるいは既設の諸施設が以前より増して災害の危険に直面しているように見える。この節では海岸開発の名の元になされた主要な工事によってこれら自然災害に弱くなりつつある状況について概観したい。

5.5.1 沿岸開発

1969年アバチウ港の拡張が開始され、引き続き1971年と1985年に第2、第3の拡張工事が実施された。最終的に250mにわたる埋立工事が完成した。この開発行為は同港が同国の国際海運上唯一の港なので、当然実施されねばならない事業であった。

1971年、空港を西側に拡張する目的でNikaoおよびPokoinu村前面のラグーンが砂によって埋立てられた。西端部200mがラグーンに設けられたので、残されたラグーンは150mに減少した。空港用地に適する空地に限りがあるので、この手法はやむを得なかったと思われる。

新たな家屋が海浜近くに作られている。樹木が切り倒されて珊瑚礫表層が宅地用に均されている。海岸付近での家屋の建設は最近増加しているが、それによって越波や強風による被災が増加している。

観光産業の一環としてホテル、モーテル、レストラン等が建設されている。これらの施設のあるものは眺望の確保とラグーンへのアクセスを容易にするために海浜に接して作られている。ある事業家は平地を確保する目的で海浜よりに土地埋立を行なっている。

観光的なラグーンの利用は単なる水泳とか散策の他に最近ではウィンド・サーフィン、カヌーなど活動的レジャーに広がっている。これらのレジャーには水深0.5 mで十分なのでラロトンガ島の北東ラグーンは最適である。

5.5.2 海岸の採砂

海域での採砂は政府によって禁止されている。しかし、過去の採砂の影響が消えたというわけではない。

5.5.3 その他の影響

現在当地のラグーン内の水質（BOD、COD他）に関するデータはない。沿岸開発はもし下水処理施設を設けなければ、それら下水排水の集中をもたらす海水の汚染を増長する。もし処理後に海岸段丘背後の低湿地帯に放流すれば海水汚染は減少するだろう。

海水汚染は珊瑚の生息を含む海洋性生態系に影響を及ぼすと考えられる。もしそれが現実となれば、海底での波や礫の生産のみならず海洋観光資源も減少することになるだろう。

5.6 海岸保全へ期待

サイクロン・サリーの波による直接的被災額は5.2節に示すように1992年価格で約1,400万ドルに達する。もし今後30年間のサイクロン災害をサリーの被災額を単位として換算すると、9.3個のサリー級サイクロンがこの島を襲うこととなる。12.2.7節を参照されたい。つまり30年間のサイクロンの波による合計被災額は約13,000万ドルに達するということである。この額は現在の国家予算の約2倍に相当する。

海岸保全の最終目標は島民の生命を守ることである。しかしながら過去の人身事故はそれほど多くない。したがって海岸保全の目標は資産と天然資源への災害を低減することに焦点を当てたい。

5.6.1 陸上施設の保全

ラロトンガ島での海岸保全施設の最も大切な目的は、官民の陸上施設を災害より保全することである。5.1.3節を参照されたい。

サリーによる陸上施設の被災は1,110万ドルで総被災額の80%を占める。被災額の官民比率は91対9である。公共施設の中で最も被害を受けたのは土木施設で、橋、コンクリート・カルバート、海岸保全施設、河川改修施設等である。第2位は道路および雨水排水施設であり、第3位は政府関連建築物である。これらは次のように要約できる。

- a) 道路および同周辺施設
- b) 政府関連建築物

これらの全ては公共性の高い施設で、いずれの被害もラロトンガの住民に多くの損害を及ぼす。

民間陸上施設では家屋に関する災害が最も影響が大きい被災である。次に店舗等の被災が続くが、ホテルやモーテル等の被災は軽微であったと報告されている。これらの災害の主原因は、内陸部への越波とそれに引き続く陸上構造物基礎の破壊である。海岸保全によって公共施設のある場所や民間資産の集中している所への越波が軽減することが期待される。

5.6.2 海岸自体の保全

海岸自体の保全対象は次の3項目に分類できる。

- 海浜侵食
- 海岸侵食
- 埋立地の決壊

サリーによる海浜侵食は高速な沿岸流が堆積砂を押し流すことによって生じた。海岸侵食や埋立地の決壊は波による打上げで海浜の傾斜面が洗い流される時に生じている。サリーによるこれらの被災総額は280万ドルで全被災額の20%を占めた。

海浜侵食の被害額を推定するには、海浜の経済的価値が場所によって異なることに配慮しなければならない。ある海岸では海岸そのものの侵食がなかったので海浜侵食があってもたいした問題となっていない。しかし観光産業にとっては海浜侵食の影響は大きい。

したがって、海岸自体の保全で期待されていることは、法面保護を目標とする他、必要に応じて沿岸流速の緩和や漂砂量の減少のための対策を行なうことである。



5.6.3 間接的災害への配慮

間接的災害は2次的災害として島民、諸産業および自然環境に及ぶ。

注：間接的災害とは、直接金額に換算しにくい災害を意味する。5.2.4節を参照されたい。

直接的災害を予防するための施策を検討する際に、この間接的部分についても配慮すべきである。間接的災害対策の中でも最も重要なものは車両、航空機および船舶などの交通網に関する悪影響を最小限とすることである。丘陵周回道路の建設されていない地区では、その前面の海岸道路の維持が重要である。現空港も航空路確保のため波浪に対して十分保全される必要がある。港湾施設も保全されるべきである。アバチウ港はラロトンガ島唯一の国際商港であり、また内航海運の要である。

その他の間接災害には次のものがある。

- 給電施設への災害
- 上水施設への災害
- 河口閉塞
- 環境破壊
- その他

第 6 章 マスタープラン策定方針

第6章 マスタープラン策定方針

本章では海岸保全および港湾改修に関する目的とマスタープラン作成上の諸原則について検討したい。

6.1 マスタープランの目的

4.5.1節で述べたように現5ヶ年計画には5項目の国家総合開発政策が明示され、それらを要約すると次のごとくである。

- 1) 島民の資産水準を高め、人口流出を防止する。
- 2) 経済の独立性を高める。
- 3) 調和のある経済発展を維持する。
- 4) 富の公正な分配を進める。
- 5) 太平洋州諸国との協調を図る。

ここには産業を振興し、雇用を促進し、経済を活性化し、島民皆が調和しつつ安心して生活できる国造りを行ないたいとの強い願望がみられる。

1988年3月3日付クック諸島政府の“マスタープラン調査”のために技術協力要請書によれば、調査目的に次を示している。

- a) 標題のプロジェクトの資金援助のために、クック諸島政府が今後行なう要請の趣旨を日本政府が判断する際の手助けになるような、クック諸島の経済社会開発に関する基本的資料を作成すること。
- b) 資料の収集、資料の分析およびプロジェクト計画分野における技術移転を行なうこと。
- c) クック諸島政府がプロジェクトの資金援助先を探す際に使用可能で、かつプロジェクトの実施のための指針としても用いられるような報告書を作成すること。

1991年4月17日に両国が合意した調査範囲(S/W)の付属資料A-1には、本調査の目的は技術的かつ経済的観点に立ってクック諸島ラロトンガ島の海岸保全と港湾改修に関する調査を実施することであると記されている。

したがって、マスタープランの目的は、クック諸島政府の国家総合開発政策や要請を念頭に置きつつ、ラロトンガ島の海岸保全および港湾改修の長期計画を立案することである。

6.2 策定方針

ラロトンガ島での「海岸保全」および「港湾改修」のマスタープラン作成では次を策定方針とした。

a) 事業の概略規模

事業規模は、事業によってもたらされる便益との比較において評価する必要がある。事業各部の優先順位は投資効果によってきめるべきである。次の便益を考慮する。

- － サイクロン災害の減少分
- － 港湾施設等の公共施設の利用度の増加分
- － 間接被災の減少分

b) 長期的視点

事業は長期的観点より計画されるべきである。この方針は土地利用計画と施設利用計画の中で配慮されねばならない。

c) 産業振興

港湾、道路、電力供給施設および上水道施設等の公共施設の被災の低減を図るべきである。観光産業が事業によって振興されるよう配慮されるべきである。

d) 物資輸送に関わる“生命線”の維持

日常消費物資の多くはアバチウ港を通して輸入されている。当港は離島交通の要としても維持されるべきである。

e) 柔軟な土地利用

現在公共的に利用可能な土地が限られているので、土地利用は将来利用も考えた柔軟性のあるものとしたい。

f) 技術的妥当性

マスタープランで提案される諸施設は技術的検討の上で決定するものとする。サイクロンの性格や破壊力について配慮されるべきである。主要施設は代替案を検討すべきである。

g) 地域特性

マスタープランで提案される諸施設は地域の自然条件や資材条件等に配慮したものとしたい。ラロトンガ島での類似プロジェクトの経験に配慮すべきである。

h) 環境への配慮

観光産業はここでの主要産業なので、事業による環境悪化をさけるべきである。

i) 段階的实施

事業各部の優先度によって段階実施計画を策定すべきである。

6.3 客観状況整備

本事業はラロトンガ島全域を含むので、地域に対する影響度が大きい。また最も利用度の高い沿岸地区での建設工事ゆえに、島民の理解と協力が不可欠である。これらの開発のために客観状況が改善されることが望ましい。それらのうち最も大切なことは島民が事業の計画段階でできるだけ参画することである。そのためには、島民全体の基本的合意を得られるような努力をする必要がある。それは島民の事業に対する協力を得るに必須と思われる。

1) 事業計画手法の公開

基本的な手法と工法を公開し、島民の理解を求める。

2) 代替案の提示

最終案のほか代替案を示し、島民の理解を求める。

3) 関連情報の公開

海岸域の利用やサイクロンの影響等の事業関連情報を公開して、一般島民や各産業にも入手可能なようにしたい。

a) 「海岸台帳」

既往のデータは海岸台帳としてとりまとめ長期間の利用に供することが望ましい。参考例を付属資料C-1に示した。台帳は各海岸それぞれの物理的特性や土地利用の現況等が記載される必要がある。島民はこれらより島の海岸のことを知る機会を得ることになろう。

b) 「被災予測」

サイクロンによる各海岸の被災予測図を作成して公開すべきである。

4) 責任分担

サイクロン災害の全責任を政府が取ることは困難だろう。国家予測はどこでも限られているのだから、予算は実際の需要を考えたうえで優先度の高い事業に配分され

ることになろう。民間側も自分自身の資産をサイクロン災害より保全するための最善の努力をしなければならない。民間側はサイクロン災害の危険度の高い地域に資産を置かないよう努力すべきである。政府は民間側の努力によってもなお防げない災害に対して保全施設を設けるべきである。

政府は新たな施設はサイクロン安全地帯に設けることとし、現在危険地帯にあるものについては保全施設を設けるべきである。事業費の観点より見れば、既設の施設を安全地帯に移設も有力な選択肢であろう。MOWは本件を主導すべきである。海岸域建築物の構造物基準を示した「建築基準」の配布を継続すべきである。

5) 環境保全への努力

Conservation Dep. は、指定された海岸域での開発規制または指導について責任を持つべきである。環境保全による具体的な利益について、島民に十分説明する必要がある。

6) 組織の拡充

スムーズな事業実施のために事業主体を決めることが望ましい。必要に応じて政府は施設の維持管理費の負担を考慮すべきである。

第 7 章 海岸保全マスタープラン

第7章 海岸保全マスタープラン

本章は海岸保全マスタープランおよび同代替案について述べるものとする。保全工事は海岸域の陸上施設および海浜のうち、保全が必要と思われるものに対して行なわれる。それらの工事はサイクロンによる波浪や水位上昇による災害を低減することを目標とする。

保全されるべき諸施設のうち、港湾施設は外洋に直接面しており、またサイクロン災害を受け易いので特別な配慮が必要である。したがって、港湾の配置計画は慎重に行なった。なお、第8章で海岸保全との整合性に配慮した港湾計画を取扱いたい。

7.1 保全工事の目標

7.1.1 概要

次を海岸保全工事の主な目標とした。

- a) 陸上施設の災害を低減する。
- b) 海浜災害を緩和する。
- c) 上記項目 a)、b)の複合した災害を低減する。

保全工事は優先度あるいは必要度を考慮して選択的に実施すべきものであって、大災害の予測される所には大規模な投資を行ない、被災量が少なければそれ程保全の努力をする必要はない。上記の直接的被災の他、次の間接的被害の低減にも配慮する必要がある。

- a) 海岸道路の被災によるもの
- b) 現空港の被災によるもの
- c) 港湾施設の被災によるもの
- d) 電力供給および上水道施設の被災によるもの
- e) 河口閉塞によるもの
- f) 自然環境の破壊によるもの
- g) その他の間接的被害

マスタープランの作成では次の各項に配慮した。

- a) 事業規模
- b) 長期的展望
- c) 産業振興
- d) 物資輸送にかかわる“生命線”の維持
- e) 柔軟な土地利用
- f) 技術的妥当性
- g) 地域特性
- h) 環境
- i) 段階的实施
- j) その他

7.1.2 住民意識

調査団の行ったラロトンガ島全域での「サイクロン災害実態意識調査」によれば、海岸災害の主因が十分理解されていることが分かる。住民が考えている保全対策案を図7-1-aに示す。マスタープラン作成の段階で、これらの提案にも配慮した。

住民の感じている海岸被害の原因を支持率の高い順序で表わすと下表のごとくである。

順 序	原 因	支持率 (%)
①	海岸保全対策が実施されていない	31.2
②	自然侵食にすぎない	24.0
③	わからない	15.2
④	家屋を海岸に近づけ過ぎたので	12.8
⑤	採砂の影響	8.8
⑥	ラロトンガ島では昔から災害があった	8.0
⑦	その他	0.0
	合 計	100.0

- 注： 1. 原因はサイクロンの波浪によるものである。
2. あらかじめ指定した原因および対策案を住民が選択する方法で調査が行なわれた。原因として樹木の伐採をあげ、調査票に書き込む住民が多く見られた。

これらを見ると、災害原因を保全対策不備とする意見が第1位で31.2%の支持である。保全対策実施の要請の高いことがうかがえる。一方、第2位と第6位は海岸災害を特に驚くに当たらないものと判断をして、この両者の合計支持率は32.0%で第1位とほぼ同率である。その他の原因として自らの家屋を海岸に近づけ過ぎて建てたと考える人が12.8%あって第4位の支持率である。採砂の影響によると考える人が8.8%となっている。

一方、住民の提案する対策案を支持率の高い順序で表示すると次のごとくである。

順 序	原 因	支持率 (%)
①	海岸沿いに植林する	25.1
②	海岸保全工事を行なう	25.1
③	採砂の禁止	20.2
④	家屋を構造的に補強する	10.0
⑤	家屋を安全地帯に移設する	9.5
⑥	排水溝の整備	8.7
⑦	わからない	1.0
⑧	その他	0.4
合 計		100.0

注：対策案はサイクロンの波浪に対するもので風は対象に含まれていない。

これらのうち積極策は①と②で合計50.2%の支持率である。一方、消極策は残り49.8%である。積極策のうち海岸沿いに植林するこの提案は第1位で、住民は樹木の持つ防災効果を十分認識していることになる。海岸保全工事を実施するとの提案は同率1位である。消極的対策のうち最も支持率の高いものは「採砂の禁止」であって未だ採砂の行なわれていることがうかがえる。

自らの家屋についてなんらかの対策をする人が29.5%あり、そのうち他の安全地帯への移動が9.5%であり、残りの10.0%はそのままの位置で補強してサイクロンをしのぎたいと考えている。

災害原因と同対策を合わせて見ると次のことがわかる。

- ① 海岸保全対策の実施を強く望んでいる。
- ② 海岸での植林願望が強い。

- ③ 採砂は原因としてはそう大きく取り上げられていないが、対策としてはかなり強い要望となっている。
- ④ 家屋を海岸に近づけ過ぎて作ってしまったと反省しているが、できればそこにとどまりたいとの意向が見られる。

いずれにしても、住民の回答は新鮮であるし、事実を述べているように見える。住民の実態調査への協力に対してあらためて感謝したい。付属資料C-4に「住民実態意識調査」を示した。

7.1.3 マスタープラン策定手法

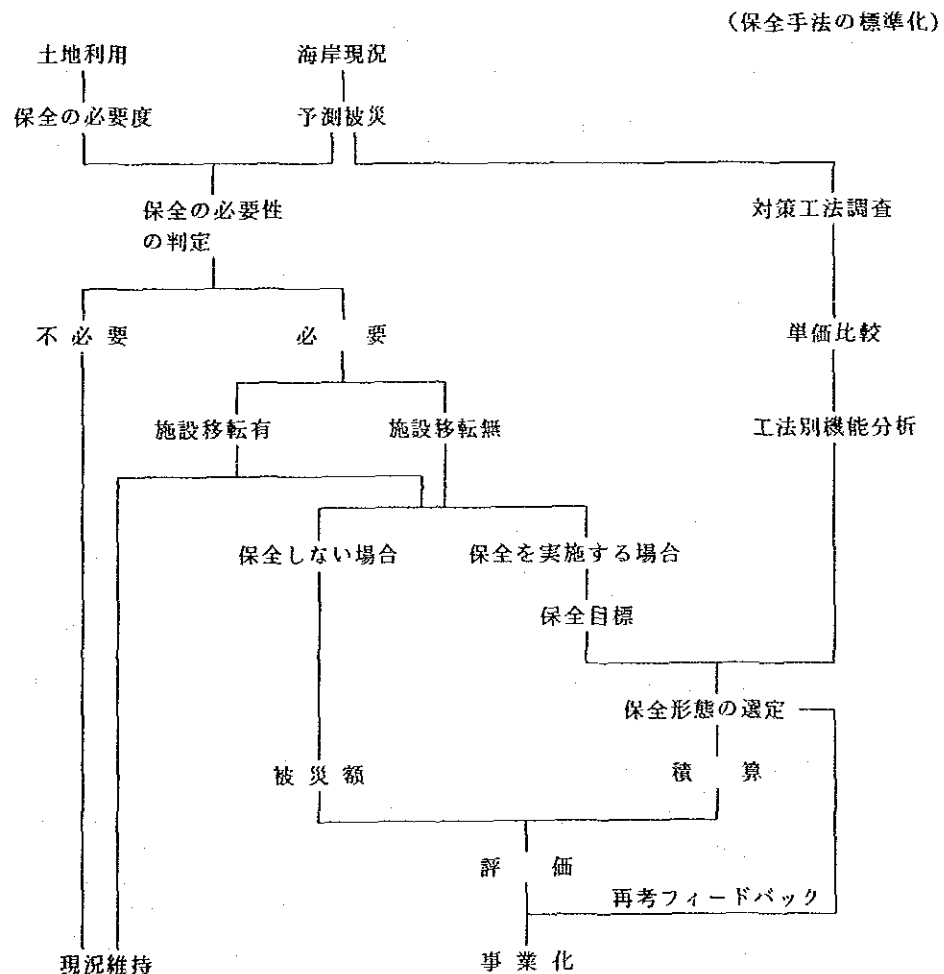
1) 基本手法

海岸保全マスタープランは海岸保全に関する総合計画であってある程度長期にわたる計画である。そのためには次項を満足するものでなければならない。

- a) 海岸毎の特性に考慮した対策であること
- b) 全体として整合性のあること

個々の海岸で保全工事を実施する際には、マスタープランの基本構想に従いながらもさらに詳細な検討が必要である。

マスタープラン作成と詳細設計との手法は基本的に同一のものであって下図のように示すことができる。



ただし、本調査のマスタープラン作成にはこれらを簡略化し、次の手法としてある。

- a) 施設移転を考えない。
- b) 保全しない場合の単位の被災額をサリーによる被災額とし、耐用年数30年間にありうる被災額をサリー級の倍数として求めた。

$$\begin{aligned} D_r &= U_d \cdot N_r \\ &= U_d \cdot (N_o - N_p) \end{aligned}$$

ここに、 D_r は事業による減少被災額（ドル）

U_d は単位の被災額、サリーによる（ドル）

N_r は事業によって低減できるモデル・サイクロンの数
（期間を30年間とする。）

N_o は事業を実施しなかった場合のモデル・サイクロン数
（期間を30年間とする。）

N_p は事業を実施した場合のモデル・サイクロン数
（期間を30年間とする。）

マスタープランで期待される被害額の減少量を次のようにした。

$$\begin{aligned} D_r &= U_d \cdot N_r \\ &= 1,390万ドル \times 2 \\ &= 2,780万ドル \end{aligned}$$

5.2.3節および12.2.7節を参照されたい。

2) 分析の最小単位

海岸を細分化して検討すればするほど、技術的精度は向上するが、この調査では海岸延長200mを単位とする「海岸区」を設けることとした。技術的分析はこの「海岸区」毎に行なうこととした。

付属資料C-1「海岸台帳」にこれら「海岸区」172の特性を示した。

全てのデータが「海岸区」毎にあるわけでもないので、その場合はさらに広い海岸、例えば数百mより数kmの範囲で成果をとりまとめることとした。

「海岸区」の設定は、ラロトンガの海岸全31kmに対して、今後種々の調査や計画が行なわれた時、それらの記録をすることができるように考えたため、図4-2および付属資料C-1を参照されたい。