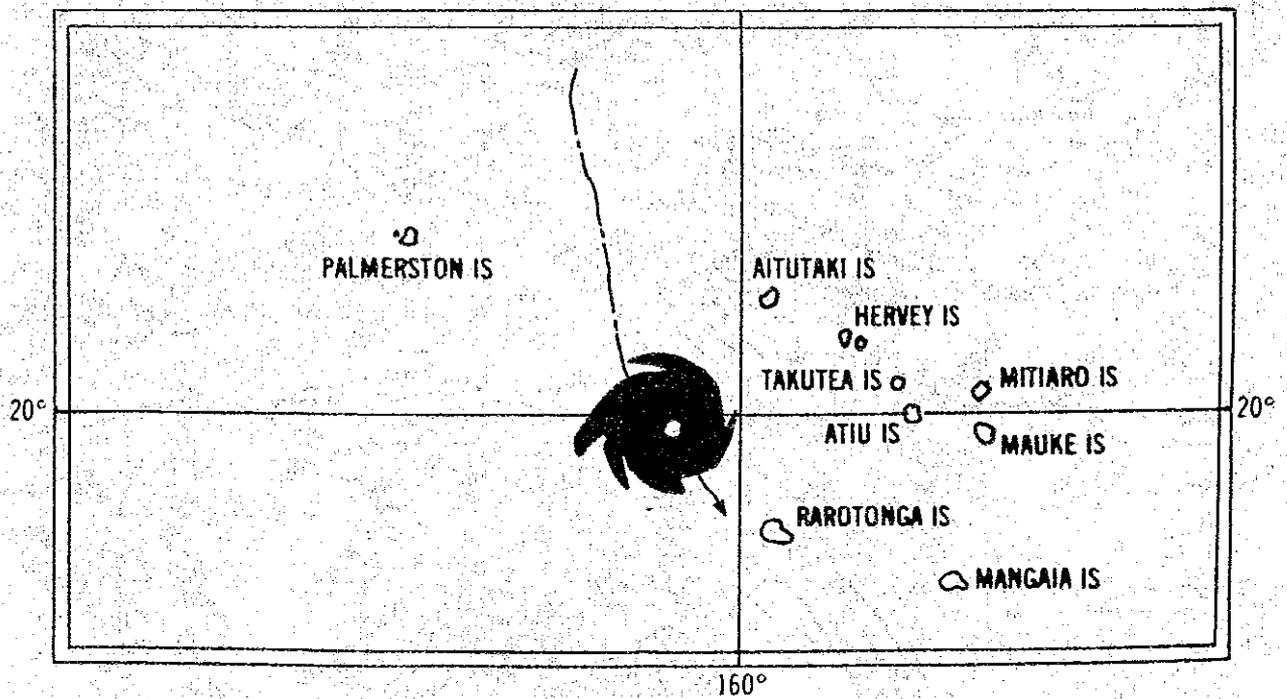


国際協力事業団
クック諸島 大統領府

クック諸島

海岸保全・改良計画調査（補完調査）

報告書（要約）



1994年9月

(株) パシフィック コンサルタンツ インターナショナル
(財) 国際臨海開発研究センター

JICA
200
6.7
SSF
LIBRARY

社調一
CR(1)
94-086

JICA LIBRARY



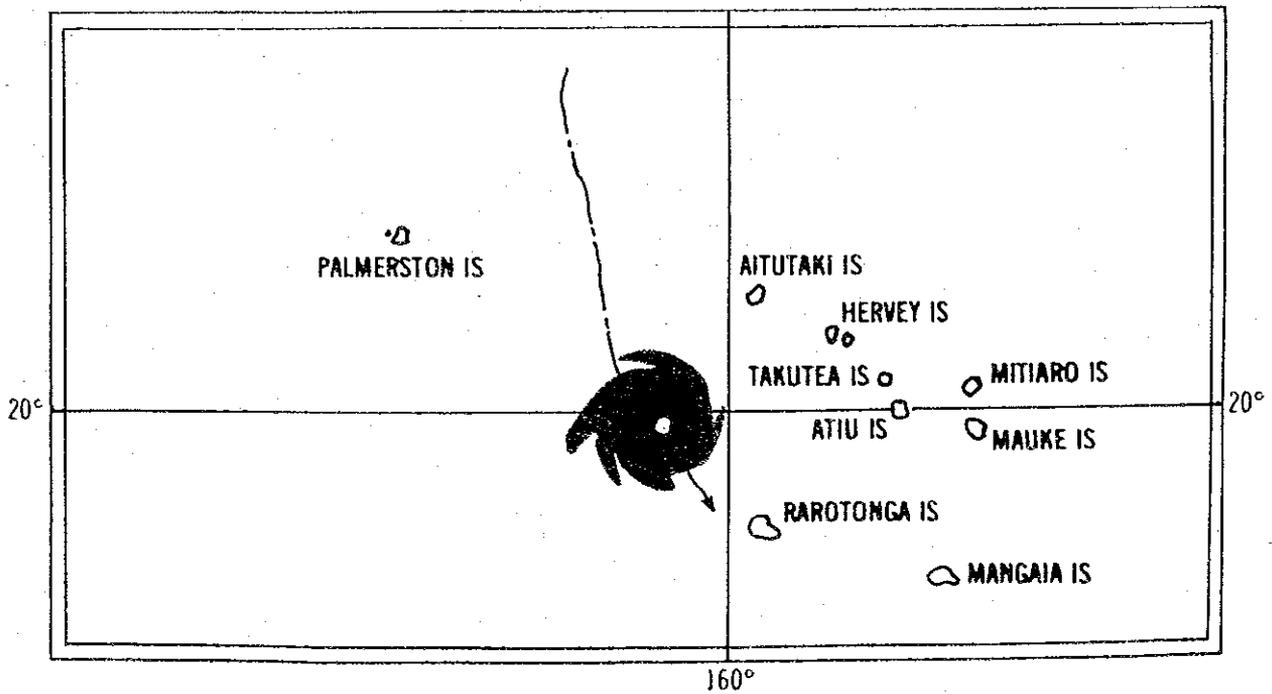
1115929101

国際協力事業団

26843

国際協力事業団
クック諸島 大統領府

クック諸島
海岸保全・改良計画調査（補完調査）
報告書（要約）



1994年9月

(株) パシフィック コンサルタンツ インターナショナル
(財) 国際臨海開発研究センター

本報告書で用いた外貨交換率は次のとおりである。

1 USドル = 1.79NZドル = 円107 (1993年10月現在)

序 文

日本国政府は、クック諸島政府の要請に基づき、同諸島の海岸保全・改良計画調査にかかる補完調査を行なうことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施致しました。

当事業団は、平成5年10月から12月まで、株式会社パンフィックコンサルタンツインターナショナルの遠藤信雄氏を団長とし、同社および財団法人国際臨海開発研究センターから構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団は、クック諸島政府関係者と協議を行なうとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、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りました。

この報告書が本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力と御支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成6年9月

国際協力事業団
総裁 藤田 公郎

クック諸島海岸保全・改良計画調査（補完調査）

計画概要

1. 背景

- (1) ラロトンガ島のアバルア・アバチウ地区はクック諸島における政治経済の中心地であり、同地区のアバルア港・アバチウ港の両港は同諸島において主要商港としての役割を果たしている。
- (2) 両港およびその周辺地区はサイクロン来襲による浸水や洪水などの被害がしばしば発生しており、特に昭和62年のサイクロンによる被害は甚大で、我が国も災害援助の無償資金協力として約1,000万円を拠出し、また、3度にわたり短期専門家派遣を実施した。
- (3) 上記専門家チームは現地調査およびクック諸島政府との協議の結果、アバルア・アバチウ両港の港湾改良計画を含む海岸保全・改良計画策定の必要性を提言し、これに基づき同政府は平成2年4月に本調査の実施を我が国に要請した。
- (4) 上記要請を受け、我が国は平成3年4月事前調査を実施し、S/Wを締結した。そして平成3年9月に本格調査を開始し、平成4年8月最終報告書が完成し、クック諸島政府に送付した。
- (5) その後、平成5年3月クック諸島政府から既存防波堤を撤去したこと等による計画の見直し、およびそれに伴う技術的内容の検討につき要請があり、これを受けて平成5年8月より補完調査を実施した。

2. 目的

平成4年8月に終了した「海岸保全・改良計画調査」につき、現地の状況変化等を踏まえ、

- (1) 主にハリケーンからの保全に焦点を当て、マスタープランの見直しを行なう。
- (2) クック諸島政府が策定した「海岸保全政策」に基づき、短期整備計画の見直しを行なう。

3. クック諸島政府の「海岸保全政策」

- (1) 北海岸の指定された地域にハリケーンがいかなる方向から来襲しようとも、ハリケーンから重要なインフラ施設や国内・商業・国際的な資産を守る有効な保全工を施さなければならない。
- (2) 設計技術上の目的として、100年確率の設計波を用いなければならない。
- (3) 将来的な便益や観光産業のために、観光用ビーチを保護するよう努力しなければならない。
- (4) 自然の海岸線の景観を損なってはならない。また、海岸環境を悪化させてはならない。

4. 計画の概要

上記のクック諸島政府「海岸保全政策」に基づき、以下の海岸保全および港湾改良計画を策定した。なお、概略事業費は、208,940,000NZ\$となった。

(1) Health Department	護岸 (600m)
(2) Beachcomber	離岸堤 (500m)
	護岸 (500m)
(3) Banana Court	プレジャーボート用マリーナ
(4) Westpac Bank	離岸堤 (800m)
	護岸 (800m)
(5) TPP Fuel Depot	離岸堤 (1,400m)
	護岸 (1,400m)
(6) Parliament Bldg.	護岸 (1,800m)
(7) Airport Runway	離岸堤 (600m)
	護岸 (500m)
(8) Avatiu Port	西防波堤 (200m)
	東防波堤 (200m)

5. 経済分析

経済分析の結果によると本プロジェクトのEIRRは1.11%となり、有効性は低い。

6. 勧告

- (1) すべての海岸保全工を実施することは、経済的に有効でないことから、選択的な保全工が望まれる。特に、アバチウ港、空港滑走路、給油所はクック諸島経済にとって重要度が高いことから、これらの施設は適切に保全されなければならない。
- (2) 海岸保全工の建設は高価なため、クック諸島政府は給油所等のような重要な施設は陸側に移設することを考慮すべきである。他の資産に対しては、移設のための費用や保全工築造のための費用に対する財政援助をすることが望ましい。
- (3) 新開発の海岸保全ブロックについては、クック諸島政府がラロトンガ島北海岸の海岸保全工に使用しようと考えているが、まず水理模型実験を実施すべきである。そして実験結果が良好であれば、原型モデルを現場に設置のうえ、技術データを収集し、建設仕様を確立するべきである。

目 次

	頁
1. 緒 論	1- 1
2. マスタープランのレビュー	2- 1
2.1 現地踏査	2- 1
2.2 海岸保全	2- 3
2.3 港湾改良	2- 4
3. ラロトンガ島北海岸の海岸保全	3- 1
3.1 ラロトンガ島北海岸の海岸保全	3- 1
(1) 海岸保全工設計上の基本方針	3- 1
(2) 沖 波	3- 1
(3) 設 計 波	3- 2
(4) 波浪観測	3- 6
(5) 越波流量	3- 6
(6) 海岸保全工の設計	3- 6
(7) 電算シミュレーション	3-11
3.2 港湾改良	3-11
3.3 概略工事費の積算	3-12
3.4 便益予測	3-14
3.5 経済分析	3-15
(1) 前提条件および便益計算	3-15
(2) E I R R の計算	3-15
4. 結論および勧告	4- 1

1. 緒 論

1.1 補完調査の背景

1987年の年明け、サイクロンサリーがラロトンガを通過し、島の資産に甚大な被害をもたらした。被害は主に高波と強風によるものであった。

サイクロンが島を襲う前年、クック諸島政府はアバルア港防波堤の建設に着手、同年それを完成させた。

J I C Aは1987年1月10日から17日にかけて、サイクロン被害の緊急調査を実施した。J I C Aはまた、同年2月26日から3月19日にも追加調査を実施した。

1990年にサイクロンベニとシニに遭った後、クック諸島政府は、主にラロトンガ島北部沿いに仮護岸の建設を開始した。同時にクック政府はJ I C Aに対し、島の海岸保全と港湾改良に係わるマスタープランおよび短期整備計画の策定を要請した。

要請に応え、J I C Aは全島に亘る海岸保全のマスタープランおよび北部海岸の短期整備計画策定にかかる調査を実施した。海岸保全の短期整備計画では、アバチウ港とアバルア港の間の海岸、空港付近、航空燃料タンク付近、病院付近の海岸を含んでいた。アバルア・アバチウ両港については、港湾改良の調査も行なった。

上述調査の最終報告書は、1992年8月にクック諸島政府に提出された。

1993年クック諸島政府は、主に北部海岸にある基本インフラ施設や商業・国有資産をハリケーン波から守る保全工の必要性に鑑み、補完調査の実施をJ I C Aに要請越した。

J I C Aは1993年6月、クック諸島に調査範囲や防波堤撤去の状況の調査を目的とした調査団を派遣した。同状況調査ならびにクック諸島政府関係者との討議の結果、同調査団はクック側の要請を受け入れた。こうして、J I C Aは補完調査の実施を決定した。

1.2 補完調査の目的

補完調査の目的は次の通りである。

- (1) ラロトンガ島北海岸の海岸保全および港湾改良について、主にハリケーンからの保全に焦点を当て、マスタープランの見直しとその更新を計る。
- (2) ラロトンガ島北海岸の海岸保全および港湾改良について、クック諸島政府が策定した「海岸保全政策」に基づいて、短期整備計画の見直しとその更新を計る。

2. マスタープランのレビュー

2.1 現地踏査

JICA調査団は現地踏査を実施した。その結果、以下の点が判明した。

(1) 北海岸

北海岸はハリケーンにさらされた地域である。ハリケーンは島の北西～北北西方向から来襲しやすい。ハリケーンの目の東側が強い南風を発生させるため、この時ラロトンガ島の北海岸により強い波エネルギーが到達する。さらに、ハリケーンの高気圧による影響と波のセットアップにより、海水位が上昇するなどの悪条件が重なる。

(2) 東海岸

通常風は東方向より吹く。しかし、ハリケーンは止まらずに北から南へ移動するため、ハリケーンが発生する強い東風は長時間持続することはない。東海岸はハリケーンにさらされた地域ではない。

(3) 南海岸

南海岸は、強い南風が吹くことは少ないため、ハリケーンによる波の被害は受けにくい。以前はビーチロックを覆う砂が豊富であった。現在は砂の減少が見られるが、これは単なる波による侵食によるものだけでなく、環境や地球規模の気象の変化などの複合的な原因によるものと考えられる。

(4) 西海岸

西海岸は比較的広く深いラグーンが存在する。しかし、ラグーンの幅は北ほど狭くなる。ラグーンが狭くなるほど海岸には広いビーチが広がっている。

2.2 海岸保全

(1) 海岸保全政策

クック諸島政府は閣議で、ラロトンガ島北海岸の海岸保全に係わる「海岸保全政策」を採択した。同政策には、その目的が次のように書かれてある。

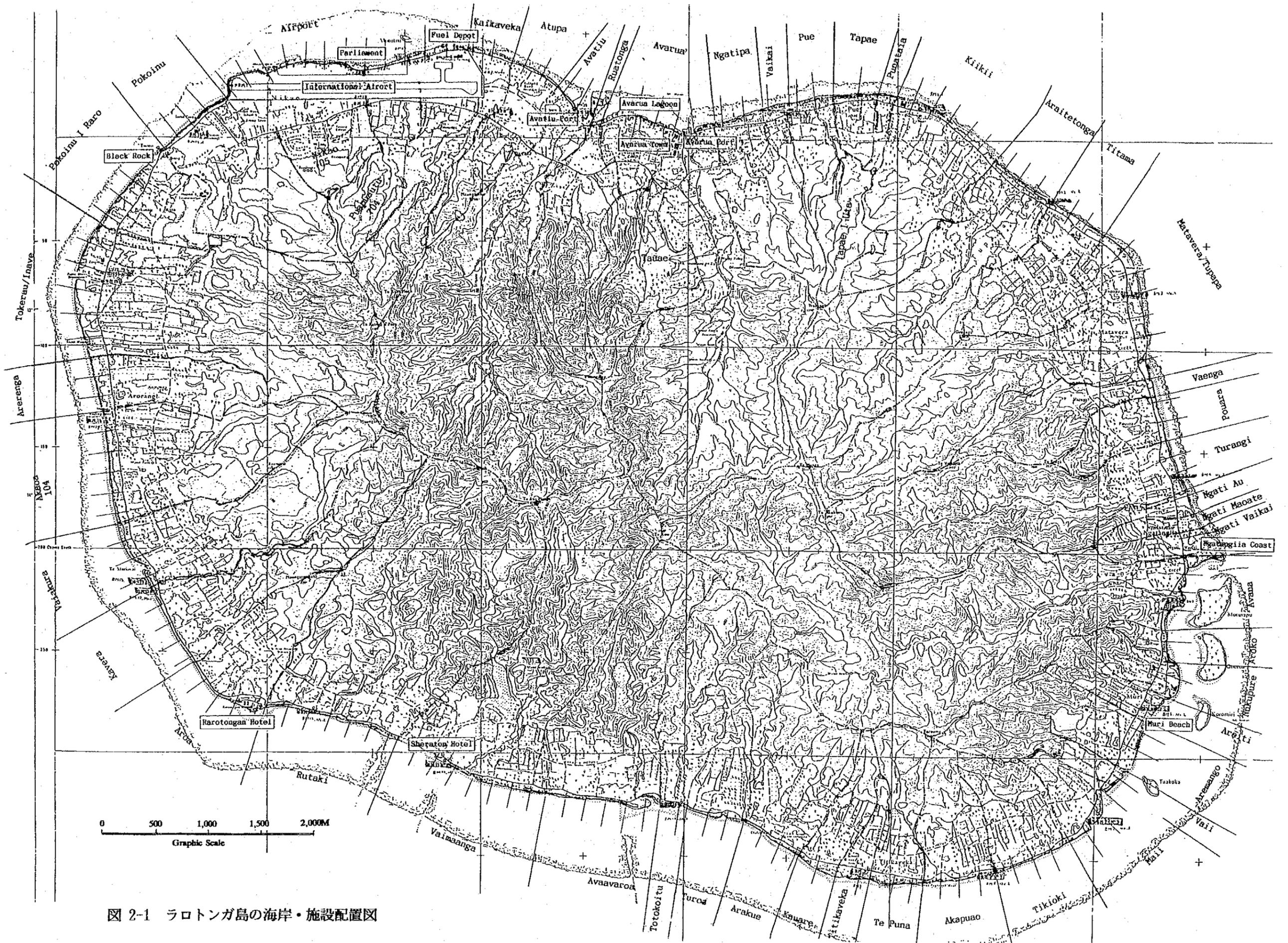


図 2-1 ラロトンガ島の海岸・施設配置図

- 1) 北海岸の指定された地域にハリケーンがいかなる方向から来襲しようとも、ハリケーンから重要なインフラ施設や国内・商業・国際的な資産を守る有効な保全工を施さなければならない。
- 2) 設計技術上の目的とし、100年確率の設計波を用いなければならない。
- 3) 将来的な便益や観光産業のために、観光用ビーチを保護するよう努力しなければならない。
- 4) 自然の海岸線の景観を損ってはならない。また、海岸環境を悪化させてはならない。

(2) アバルア～アバチウ海岸で実施された海岸保全工

JICA（短期専門家）は1987年、護岸工を施した上で海岸道路を拡張することを勧告した。また同時に、アバルア港を防護するための防波堤の建設も勧告した。そして同年防波堤は建設されている。

1991年以来、この防波堤の機能について論争が続いていた。防波堤が波のセットアップを増大させ、その結果アバルア～アバチウ海岸への波力を増長させてはいないであろうか？

クック諸島政府は、1991年のカーク教授（ニュージーランド国カンタベリー大学）の調査結果に基づき、防波堤は波のセットアップを増大させ被害を増長させているとの結論に達した。そして防波堤は撤去され、仮の護岸工が1992年に建設された。

2.3 港湾改良

(1) アバチウ港

補完調査では、新しく設定される設計波に対し、アバチウ防波堤の補強を取り扱うものとしている。これについては後述する。

また、現防波堤の配置が港湾水域に十分な静穏度を確保しているかどうかについてレビューした。その結果、これら防波堤は国際・国内海運のバースに必要なとされる十分な静穏度と稼働率を有していることが判明した。

(2) アバルア港

ここには従前、2つの防波堤（アバルアの西・東防波堤）があった。西防波堤は完全に撤去され、東防波堤は先端部分が撤去された。-2.5m岸壁は鋼矢板式で、ひどく損傷しているのに加え、背後のエプロンは陥没している。これらの施設はすぐにでも補修されるべきである。

3. ラロトンガ島北海岸の海岸保全

3.1 ラロトンガ島北海岸の海岸保全

(1) 海岸保全工設計上の基本方針

クック諸島政府の「海岸保全政策」の主旨に沿って、以下に示す設計の基本方針を設定した。

- 基本1 : 海岸保全工は、海岸と付近の資産を守るため、100年確率の沖波により発生する波と水位に対し設計する。
- 基本2 : 平常時には、ラグーン上に波から起こる潮流をうながし、リーフから海岸への砂の運搬を保持させるものとする。
- 基本3 : 海岸保全工が海岸のアメニティー効果を高め、人々が海岸を楽しむようにし、人の海岸へのアクセスを妨げてはならない。
- 基本4 : 海岸保全工は、建設や維持補修の点で経済的でなければならない。
- 基本5 : 設計は、現在認められている適切な技術手法に基づくものとする。

(2) 沖 波

現在、ラロトンガ島における長期間のサイクロンデータは存在しない。JICA 前回調査団(1991年)は、サイクロンサリーに基づき、30~50年確率の沖波を推算した。

このほかの数値として、カーク教授(1992年)がラロトンガ島北海岸の波浪データをより多数盛り込んだ形で、沖波有義波とその確率を求めたものがある。表3-1に、1978年から1992年に発生した3個のサイクロンに基づき、ワイブル法によって求めた確率年別の有義波高を示す。

15年間の3個のサンプルで100年確率の沖波を求めるのは不適當と判断される向きもあるが、アバルア海岸の100年確率の沖波として、有義波高 $H_{1/3}=12\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=13.5\text{sec}$ を採用した。

表3-1 確率年別の沖波波高（カーク教授による）

有義波高 (m)	確率年 (年)
2.34 m以上の波	2
5.54	5
7.37	10
9.40	25
10.75	50
11.98	100

(3) 設計波

1) 水位

サイクロン時の海面の上昇は、以下に示す原因の合計で示した。

- 天文潮
- 低気圧
- 風による吹き寄せ（風によるセットアップ）
- 砕波による影響（波によるセットアップ）
- サーフビート

上の現象は、図3-1に示した。

2) 海底勾配による浅水・屈折・砕波変形

任意の海底勾配における浅水変形、波のセットアップ、平均波高、有義波高、最大波高の計算は、電算プログラム「BREAX」により行なった。

3) ラグーン上の波高減衰および波のセットアップ

ラロトンガ島北海岸における砕波現象は、複雑な流体力学的プロセスを経て起こる。同様の現象は、段波（Bore）が浅水域や河口に侵入しようとする際にも見られる。段波エネルギーは次の3つの過程で減衰する。

- 波が伝達しながら波自身の減衰と海底摩擦
- 粘 性
- 乱 流

これら3つの要素のうち、砕波が起こす乱流によるものが最も重要である。したがって、砕波（乱流）および海底摩擦によるエネルギー減衰を考慮した。

4) 波のはい上り

高田（1970年）⁴¹は、図3-2に示すような傾斜海岸または傾斜護岸への波のはい上りを求める式を考案した。これに基づき波のはい上り高さを求めた。

5) 断面的な波浪計算

100年確率波によるはい上り高さの計算は、北海岸の広い地域に亘って実施した。計算は以下の7地域について行なった。

- 空 港 滑 走 路 (sec5-4)
- 議 会 ビ ル (sec4-3)
- T T P 給 油 所 (sec3-6)
- ウェストパック銀行 (sec2-2)
- バナナコート (sec2-1)
- ビーチコンバー (sec1-9)
- 病 院 (sec1-2)

表3-2にラロトンガ島北海岸の波のはい上り高さの計算結果を示す。

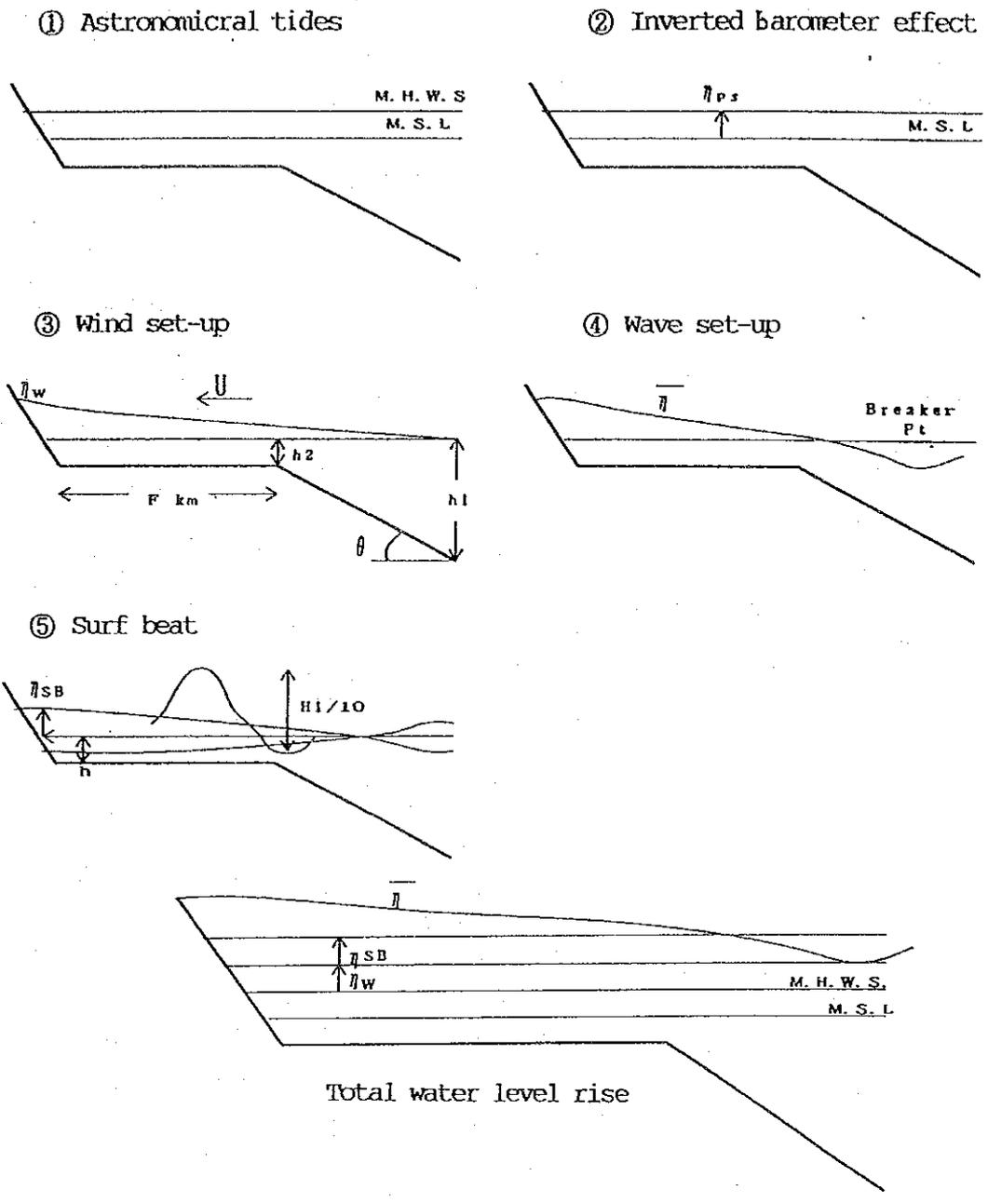


図 3-1 水面上昇のメカニズム

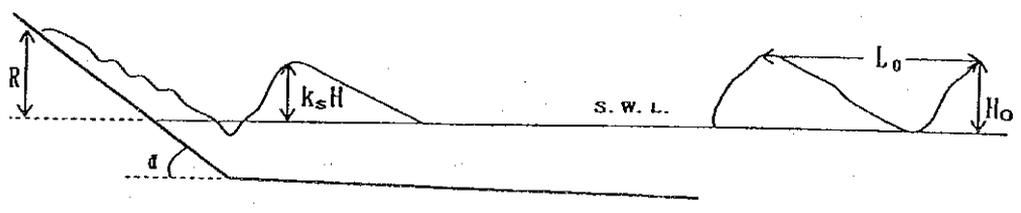


図 3-2 傾斜面への波のはい上り

表 3-2 100年確率波による波のはい上り

Simulation of a 100-year hurricane to forecast the wave run-up at several points.

Wave conditions: $H_{1/3} = 12.0$ m
(offshore) $T_{1/3} = 13.5$ sec

Figures in parantheses are those for Cyclone "Sally".

Location	at Airport Runway Section 5-4	at Parliament Bldg. Section 4-3	at TPP Fuel Depot Section 3-6	at Westpac Bank Section 2-2	at Banana Court Section 2-1	at Beachcomber Section 1-9	at Health Department Section 1-2
Ground Elevation	+3.90 m MSL (parapet wall top)	+3.41 m MSL (road center)	+3.63 m MSL (shoulder)	+4.34 m MSL (road center)	+3.10 m MSL (road center)	+4.08 m MSL (road center)	+5.84 m MSL (road side)
Water surface elevation due to:							
Tide	+0.40 m MSL	+0.40 m MSL	+0.40 m MSL	+0.40 m MSL	+0.40 m MSL	+0.40 m MSL	+0.40 m MSL
Atmo. Pressure	85 cm (30 cm)	85 cm (30 cm)	85 cm (30 cm)	85 cm (30 cm)	85 cm (30 cm)	85 cm (30 cm)	85 cm (30 cm)
Wind	23 cm (10 cm)	51 cm (25 cm)	23 cm (11 cm)	32 cm (16 cm)	22 cm (9 cm)	26 cm (12 cm)	24 cm (11 cm)
Wave	146 cm (128 cm)	143 cm (138 cm)	148 cm (130 cm)	148 cm (135 cm)	144 cm (129 cm)	147 cm (131 cm)	148 cm (129 cm)
Total	+2.94 m MSL (+2.08 m MSL)	+3.19 m MSL (+2.33 m MSL)	+2.96 m MSL (+2.11 m MSL)	3.05 m MSL (+2.21 m MSL)	+2.91 m MSL (+2.08 m MSL)	+2.98 m MSL (+2.13 m MSL)	+2.97 m MSL (+2.10 m MSL)
Surf Beat Height	0.90 m (0.70 m)	0.90 m (0.70 m)	0.90 m (0.70 m)	0.90 m (0.70 m)	0.90 m (0.70 m)	0.90 m (0.70 m)	0.90 m (0.70 m)
Wave Height	3.90 m (1.70 m)	1.32 m (0.69 m)	2.75 m (1.57 m)	2.26 m (1.22 m)	2.85 m (1.71 m)	2.78 m (1.66 m)	2.90 m (1.75 m)
Run-up Height	5.12 m (3.41 m)	1.70 m (1.07 m)	5.82 m (3.84 m)	4.69 m (2.99 m)	8.98 m (4.73 m)	2.63 m (1.78 m)	4.06 m (2.77 m)
Run-up Elevation	+9.09 m MSL (+6.19 m MSL)	+5.94 m MSL (+4.10 m MSL)	+9.84 m MSL (+6.64 m MSL)	+8.89 m MSL (+5.90 m MSL)	+12.98 m MSL (+7.50 m MSL)	+6.69 m MSL (+4.61 m MSL)	8.08 m MSL (+5.57 m MSL)

(4) 波浪観測

1993年10月7日～24日にかけて、アバルア～アバチウラグーン間の3箇所において、圧力タイプの波高計を用いて波浪観測を実施した。

観測された波高のほとんどは、1.0m以下で、潮流速も2.5～5.0cm/secと小さいものであった。

(5) 越波流量

海岸護岸を越える越波流量の実用的な計算方法として、堰を越える水量の計算式を変形・実用化させた菊川の式(1968年)^{#2}があり、これによって単位時間当りの総越波流量が計算される。サーフビートの影響も不規則波に対する越波流量の計算上考慮した。

上述の計算は、海岸保全工の設計で護岸天端高さを決定する際に行われる。

(6) 海岸保全工の設計

海岸保全工の予備設計の行なうに当たり、許容越波流量として $0.05\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ を設定した。この条件は、日本における未舗装の護岸工の表面に対する数値で、この条件以下の越波では護岸は破壊されないとされる。同許容値は1970年合田^{#3}によって提案された。

リーフ先端における設計波の入力条件は、表3-3に示したとおりである。

離岸堤を設置する場合、その位置はリーフ先端から離岸堤中心までの距離を60mとした。これは、波のエネルギー減衰はこの60m以内で最も顕著に起き、60mを過ぎると減衰がなだらかになるからである。

ブロックや被覆石の重量は、次に示すハドソン式によった。

$$W = \frac{r \cdot H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha}$$

ここに、

- W : 捨石又はコンクリートブロックの所要重量 (t)
r_r : 石又はブロックの空中単位体積重量 (t/m³)
S_r : 石又はブロックの海水に対する比重
α : 斜面が水平面となす角 (度)
H : 設計計算に用いる波高 (m)
K₀ : 被覆材および被害率によって定まる定数

ブロックのタイプについては、テトラポッド、アクロポッド、スーパーマックスの3種類のうち、次の理由によりテトラポッドを設計に使用した。

- 1) アクロポッドは一層しか積めないため、今回のケースでは所要天端高さが確保できない。
- 2) スーパーマックスあるいはマックスは、技術データがないため設計対象にはしなかった。

離岸堤に使用されるコンクリートブロックの重量計算を行なうに当たり、次の点を考慮した。即ち、設置地点の波は段波状態であることから、通常の波よりも大きなエネルギーを有している。このことから、ブロックの所要重量を算定するには、K_d値を小さめに設定する必要がある。

上述の計算の結果、海岸保全工の概念図は図3-3の如くとなる。また、構造諸元は表3-4に示した。

注1 : 高田氏 (1970年) 「越波と反射波の関係」土木学会誌

注2 : 菊川氏 (1968年) 「堤防の越波に関する研究」海岸工学講演集

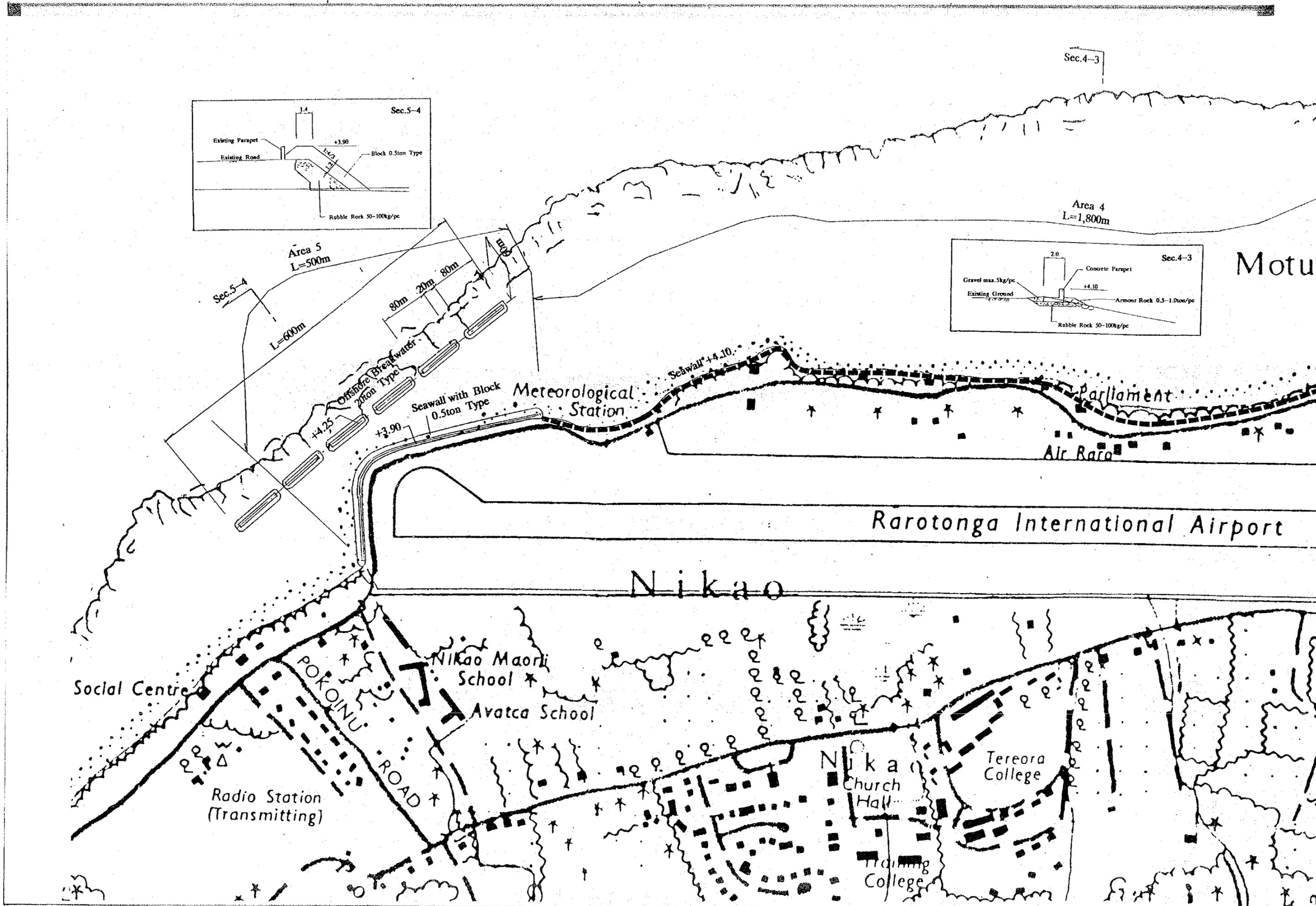
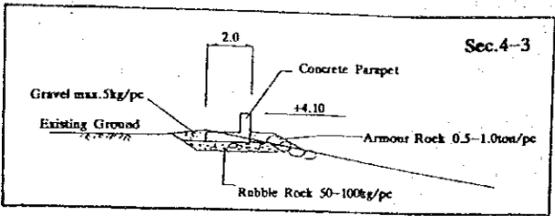
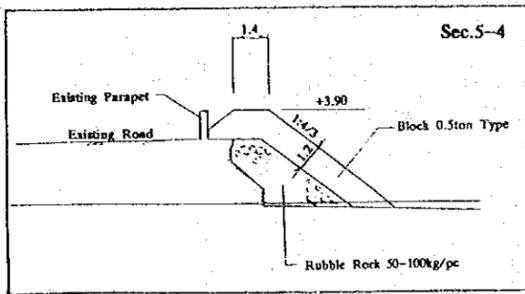
注3 : 合田氏 (1973年) 「防波堤の波圧に関する研究」港湾技術研究技報

表 3-3 100年確率ハリケーンに対するリーフ先端における設計波高及び水位

Offshore Wave: Offshore Wave Height $H_{1/3} = 12.0$ m
 Offshore Wave Period $T_{1/3} = 13.5$ sec

Location	at Airport Runway Section 5-4	at Parliament Bldg. Section 4-3	at TPP Fuel Depot Section 3-6	at Westpac Bank Section 2-2	at Banana Court Section 2-1	at Beachcomber Section 1-9	at Health Department Section 1-2
Ground Elevation	+3.90 m MSL (parapet wall top)	+3.41 m MSL (road center)	+3.63 m MSL (shoulder)	+4.34 m MSL (road center)	+3.10 m MSL (road center)	+4.08 m MSL (road center)	+5.84 m MSL (road side)
Wave Height Have	2.33 m	2.65 m	2.48 m	2.54 m	2.64 m	2.61 m	2.56 m
Wave Height $H_{1/3}$	3.36 m	3.81 m	3.60 m	3.67 m	3.80 m	3.77 m	3.71 m
Wave Height Hmax	4.93 m	5.56 m	5.31 m	5.40 m	5.56 m	5.55 m	5.47 m
Water Surface	+2.94 m MSL	+3.19 m MSL	+2.96 m MSL	+3.05 m MSL	+2.91 m MSL	+2.98 m MSL	+2.97 m MSL

Notes: Have: Average wave height
 $H_{1/3}$: Significant wave height
 Hmax: Maximum wave height



Sec.4-3

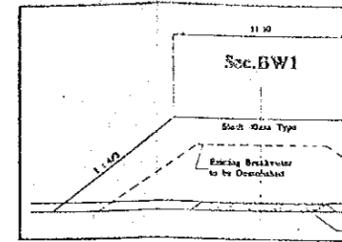
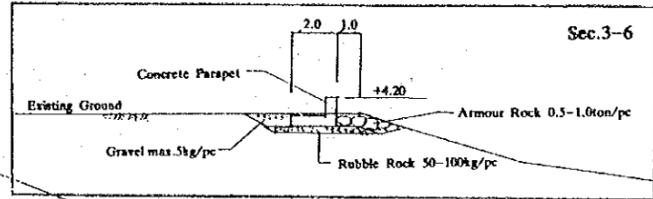
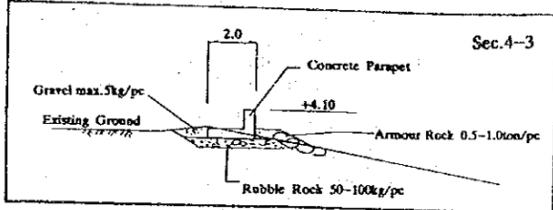
Sec.3-6

Sec.3-6

Sec.BW1

Area 4
L=1,800m

Area 3
L=1,400m



Motutoa

ARARA TAPU

Petroleum Tanks

Cemetery

Parliament

Airport Terminal

Air Base

M.O.J. Works

otonga International Airport

Rubbish Dump
Petroleum Tanks

Crash

Fire

Access
Sports Ground

Tereora College

Recreation

JARARAI METUA
AIUPA

Avatiu

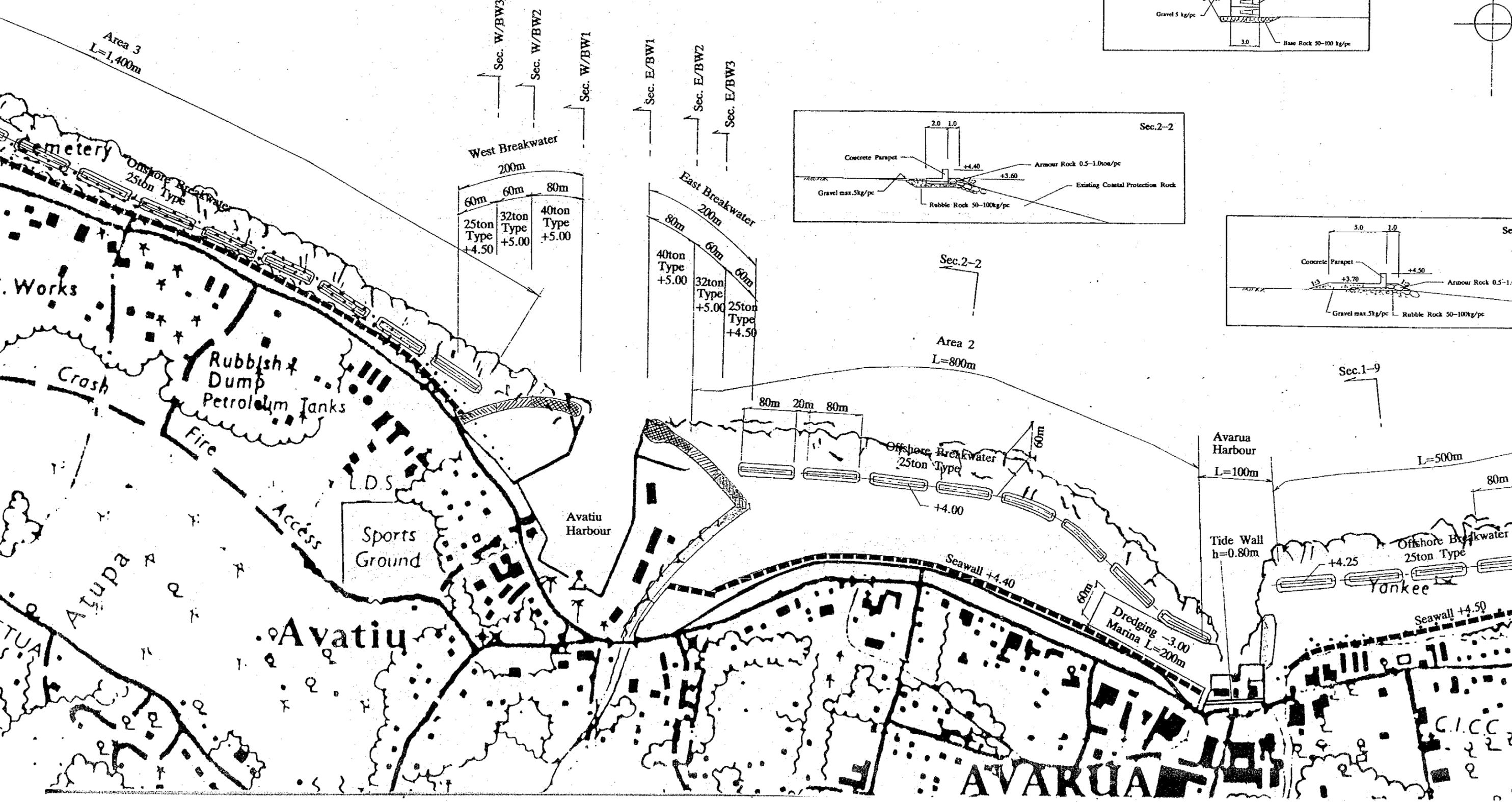
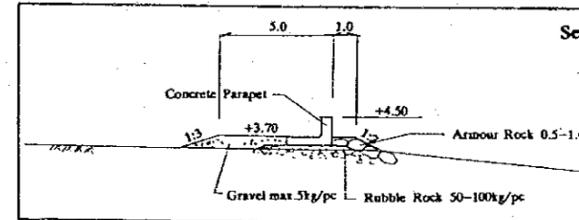
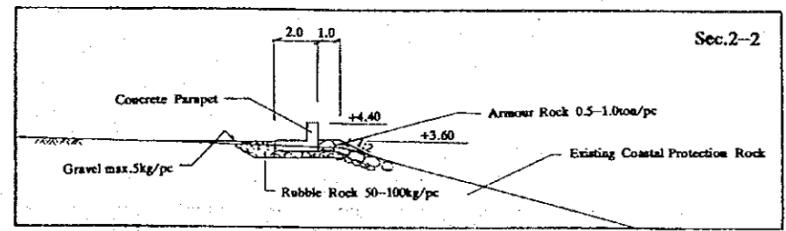
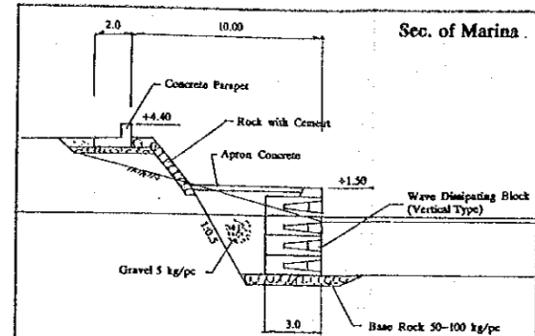
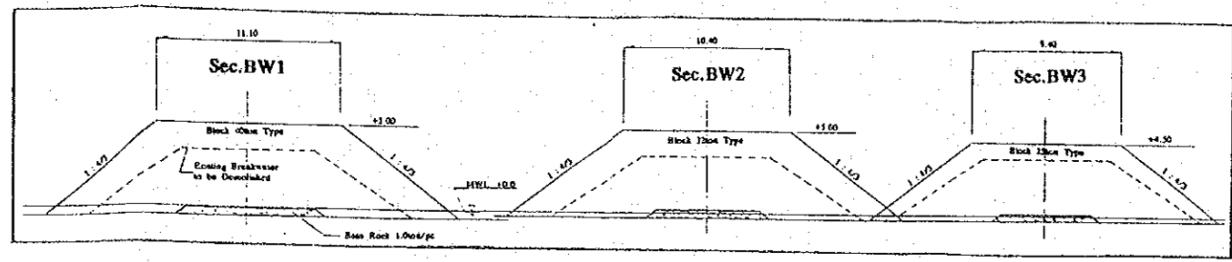
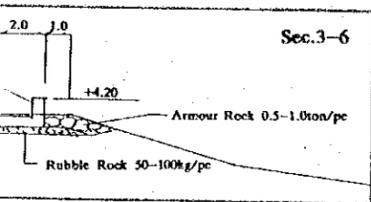
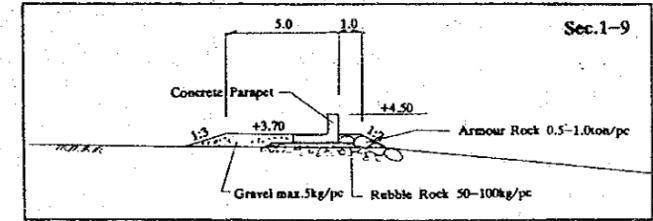
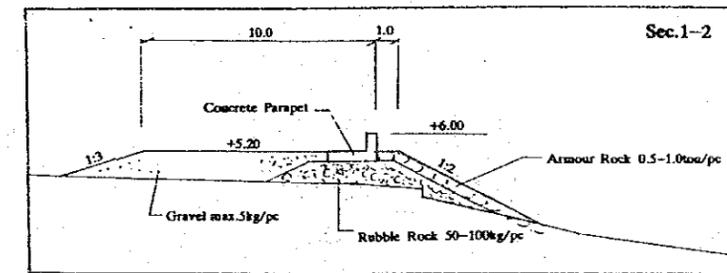
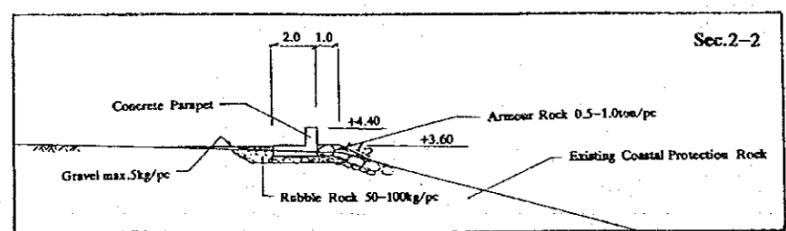
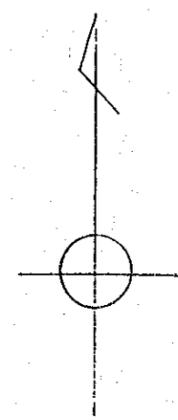
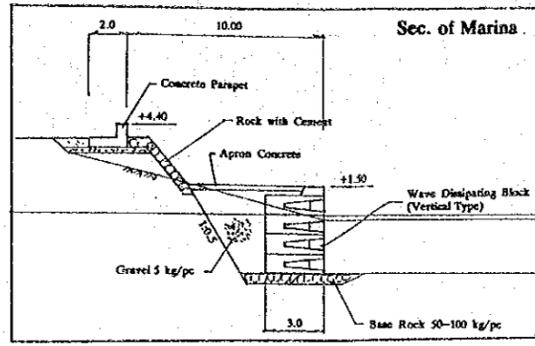
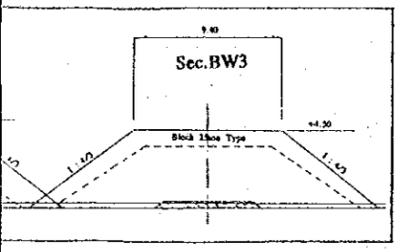


図3-3 ラロトンガ島北海岸保全工の全体図

Scale = 1:5000



Sec. E/BW3
Breakwater
25ton Type
+4.50

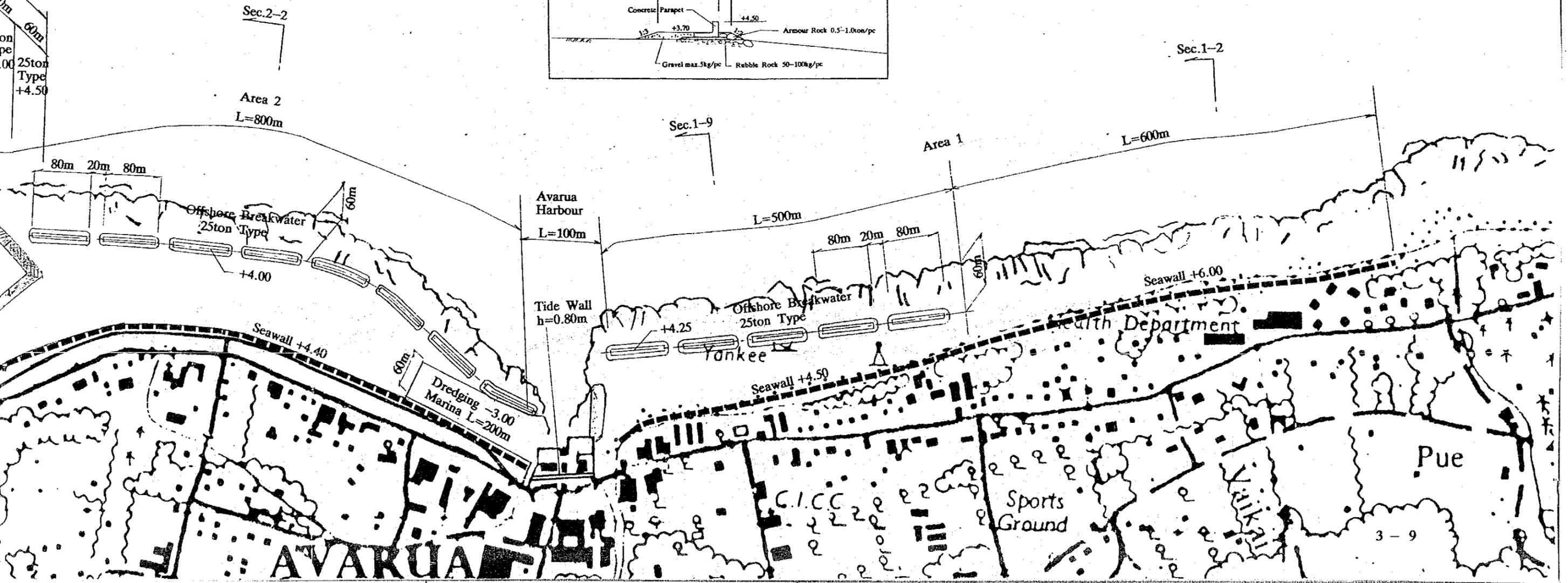
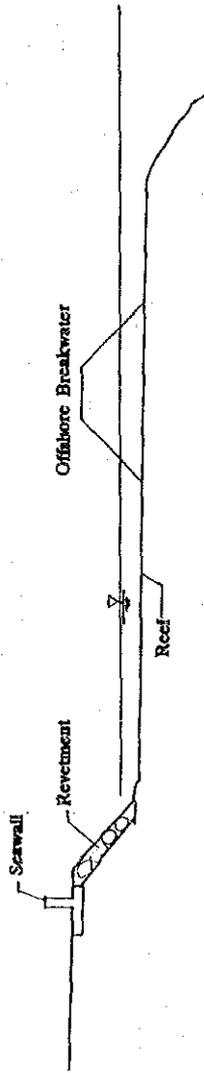


表 3-4 100年確率ハリケーンに対する海岸保全工の予備設計結果



Offshore Wave:
 Wave Height $H_{1/3} = 12.0$ m
 Wave Period $T_{1/3} = 13.5$ sec

Design Criterion: Wave over-topping volume must be less than 0.05 m³/m/sec.

Location	at Airport Runway Section 5-4	at Parliament Bldg. Section 4-3	at TPP Fuel Depot Section 3-6	at Westpac Bank Section 2-2	at Banana Court Section 2-1	at Beachcomber Section 1-9	at Health Department Section 1-2
Ground Elevation	+3.90 m MSL (parapet wall top)	+3.41 m MSL (road center)	+3.63 m MSL (shoulder)	+4.34 m MSL (road center)	+3.10 m MSL (road center)	+4.08 m MSL (road center)	+5.84 m MSL (road side)
Breakwater	20 ton Tetrapods	None	25 ton Tetrapods	25 ton Tetrapods		25 ton Tetrapods	None
Approx. Length:	600 m		1,400 m	800 m		500 m	
Top Elevation:	+4.25 m MSL		+4.50 m MSL	+4.00 m MSL		+4.25 m MSL	
Revetment	0.5 ton Tetrapods	0.5-1.0 ton Rock	0.5-1.0 ton Rock	0.50-1.0 ton Rock		0.5-1.0 ton Rock	0.5-1.0 ton Rock
Approx. Length:	500 m	1,800 m	1,400 m	800 m		500 m	600 m
Top Elevation:	+3.90 MSL	---	---	---		---	---
Sea Wall	Existing Parapet	RC	RC	RC		RC	RC
Approx. Length:	---	1,800 m	1,400 m	800 m		500 m	600 m
Top Elevation:	+3.90 m MSL	+4.10 m MSL	+4.20 m MSL	+4.40 m MSL		+4.50 m MSL	+6.00 m MSL
Remarks				Temporary coastal protection works should be incorporated.		Temporary coastal protection works should be incorporated.	
					A small yacht basin with -3.0 m MSL and wave energy dissipating concrete blocks (vertical type).		

(7) 電算シミュレーション

海岸の流れのほか、波高や波のセットアップをシミュレートするために、電算解析を実施した。解析では特に、アバチウ港とアバルア港の内部についても検討対象としている。解析範囲は、アバルア～アバチウラグーン1,800mおよび沖方向1,200mとし、アバチウ港とアバルア港そして両港周辺も含む。

シミュレーションは、現況海岸を表現する“without case”と海岸保全のマスタープランを実施した場合の“with case”について行なった。

その結果、100年確率の設計波が来襲すると、アバチウとアバルアのパッセージから北方向への強い戻り流れ（2～3ノット）が発生していることが注目される。

3.2 港湾改良

(1) アバチウ港

1) 港内静穏度

現状の防波堤と岸壁の配置を前提として、平常時の港の稼働率の計算を港内水域で実施した。稼働条件は、波高0.3m以下の出現率が95%以上とした。

計算の結果、現状の防波堤の配置は、港内に十分な静穏度を確保していることが判明した。

2) アバチウ防波堤の補強

100年確率の設計波によった場合、西側と東側の両防波堤は補強が必要である。防波堤は消波コンクリートブロック式とし、その重量の計算は前述のハドソン式によった。

補強した防波堤の断面は図3-3に示す。

(2) アバルア港

アバルア港には、パッセージをアクセスに利用したマリーナを計画する。マリーナ水域は、アバルア港の西側のアバルア～アバチウラグーン上とした。マリーナ

は、コーラルラグーンを水深-3.0mまで掘削し、延長200m×幅60mに30隻のプレジャーボートを停泊できるよう計画した。

マリーナの全体平面図と断面図は、図3-3に示したとおりである。

3.3 概略工事費の積算

海岸保全工の概略工事費を積算した結果を表3-5に示す。

表 3-5 概略工事費一覽

Location	Construction Cost (NZ\$)	Percentage (%)
Health Department Sea Wall	928,920	0.5
Beachcomber Offshore Breakwater	21,198,000	12.2
Sea Wall	637,100	0.4
Sub-total	21,835,100	
Banana Court Sea Wall	23,040	0.0
Yacht Basin	3,594,124	2.1
Sub-total	3,617,164	
Westpac Bank Offshore Breakwater	30,816,000	17.8
Sea Wall	1,032,960	0.6
Sub-total	31,848,960	
TPP Fuel Depot Offshore Breakwater	58,606,800	33.8
Sea Wall	1,813,840	1.0
Sub-total	60,420,640	
Parliament Building Sea Wall	2,288,880	1.3
Airport Runway Offshore Breakwater	23,868,000	13.8
Sea Wall	3,075,000	1.8
Sub-total	26,943,000	
Avatiu Breakwater East Breakwater	12,816,072	7.4
West Breakwater	12,695,208	7.3
Sub-total	25,511,280	
A. Direct Cost Total	173,394,000	100.0
B. Indirect Cost (20.5% of A)	35,546,000	
C. Grand Total Cost (A + B)	208,940,000	

3.4 便益予測

ラロトンガ島北海岸に海岸保全工を実施した場合、便益として以下のものが予想される。

- (1) 海岸侵食を防ぐことができ、保全工自体も被災しない。初期建設費は高くとも、維持補修費は顕著に減少する。
- (2) 海岸保全工を強化することにより、建物やインフラへの被害が減少する。
- (3) (2)で述べた被害の減少は、通常の経済活動を維持する。海岸保全工の強化により、ハリケーン直後でも航空便の通常運行が期待できる。
- (4) アバルア港のマリーナ建設により、現在はアバチウ港に停泊しているプレジャーボートは、アバルア港に移る。
- (5) 海岸保全工建設のために膨大な石材を必要とすることから、新しい採石堤を開拓する必要があるが、これが国内産業の活性化につながる。
- (6) 保全された地域は、新たな経済活動の需要により開発・利用されていく可能性がある。

上に示した便益には、定量評価ができない効果、すなわち人命保護や商港とマリーナの活動の改善などが含まれている。

3.5 経済分析

(1) 前提条件および便益計算

経済分析の期間としては、クック諸島政府が対外ローンを返済する場合の償還期間30年、据置き期間3年という仮定で、プロジェクト期間33年を設定した。

“ with case ”には、海岸保全工としての護岸、離岸堤、アバチウ防波堤の補強、アバルア港のマリーナ建設が含まれる。

“ without case ”では、上の各プロジェクトは考慮せず、現況を意味する。

上述のような “ with ” と “ without ” を考慮し、以下の項目が定量化可能な便益として特定される。

- 1) 波に対して住居や公共の建物・インフラ（道路、港湾、空港など）の防護機能が増し、その結果被害額が減少する。
- 2) 上の項目 1) によって、通常の経済活動が維持される。
- 3) 海岸保全工の波のよる被害が減少し、補修費も同様に減少する。

(2) E I R R の計算

便益計算に基づいて、E I R R（経済内部収益率）を計算し、プロジェクトのフィージビリティを評価した。

E I R Rとは、プロジェクト期間に事業費と便益が等しくなる割引率のことで、以下の式で示される。

$$\sum_{i=1}^n \frac{B_i - C_i}{(1+r)^{i-1}} = 0$$

ここに、

n : プロジェクト期間

B_i : i 年目の便益

C_i : i 年目の事業費

r : 割引率

本プロジェクトのEIRRは、1.11%と計算され、その値は小さく本プロジェクトは、フィージブルではない。したがって、国有並びに私有財産を守るためには、段階的な海岸保全の整備が望まれる。

4. 結論および勧告

4.1 結 論

100年確率のハリケーン波浪

クック諸島政府が調査団に対し、「海岸保全政策」に示されているような100年確率設計波を設計上使用するよう要請してきたのは、本補完調査実施の早い時期であった。これがクック諸島政府の方針であることから、補完調査は100年確率波を用いて実施した。ちなみに、前回調査では30年確率相当のサイクロンサリーによる推算波を用いていた。

設計波と水位は次のようなステップで計算した。

- ラロトンガ島北海岸における100年確率の有義波高は、カーク教授（1992年）の推算結果に準拠した。これは、現地の海岸コンサルタントの提供によるものである。そして、波の周期はウィルソン法により算出した。
- 波高は最も危険な向きとし、“北”とした。
- 100年確率波来襲時の水位は、高潮位に低気圧による吸い上げ、風による吹き寄せ、波によるセットアップ量の理論計算値、経験式に基づくサーフビートを合算して表せられる。
- 2次元断面的な電算モデルを用いて、ラグーン上の波高とセットアップ量を求め、さらに傾斜海岸または傾斜護岸への波のはい上り高さを算出した。計算上の係数は、サイクロンサリー時に観測された事実に基づいて、波高やはい上り高さを分析した結果から推定した。

計算結果によれば、100年確率波がラロトンガ島北海岸に及ぼす被害は大きいことが示された。

100年確率ハリケーン波に対し必要な海岸保全工

これまでの結果に基づき、100年確率ハリケーン波から北部海岸を防護するための海岸保全工を設計した。許容越波流量は、 $0.05 \text{ m}^3 / \text{sec} \cdot \text{m}$ とした。日本の海岸保全施

設築造基準によれば、この条件以下の越波では、未舗装の護岸を破壊に至らせることはないとされる。

現在の技術知見では、消波コンクリートブロック、被覆石、コンクリート護岸壁の組合せが波に対する唯一の防護策である。

技術的観点から見ると、クック諸島政府の「海岸保全政策」にあるように、100年確率波から海岸を守り、かつ他の目的をも満たすことは非常に困難である。特に自然海岸の景観を守る点は困難である。

100年確率ハリケーン波に対する海岸保全工が及ぼす経済効果

概略積算によれば、100年確率波で設計したラロトンガ島北海岸の海岸保全工の建設費は、NZ\$ 209,000,000であった。経済分析結果によると、海岸保全工建設による経済内部収益率（EIRR）は1.11%で、海岸保全工をすべて施した場合、経済見地から見ると有効性は低い。

4.2 勸告

選択的な海岸保全工

すべての海岸保全工を実施することは、経済的に有効でないことから、選択的な保全工が望まれる。特に、アバチウ港、空港滑走路、給油所はクック諸島経済にとって重要度が高いことから、これらの施設は適切に保全されなければならない。

北海岸の重要資産の移設

海岸保全工の建設は高価なため、クック諸島政府は、給油所などのような重要な施設は陸側に移設することを考慮すべきである。

他の私有資産に対しては、移設のための費用や保全工築造のための費用の財政援助をすることが望ましい。

新開発の海岸保全ブロック

新開発の海岸保全ブロックについては、クック諸島政府がラロトンガ島北海岸の海岸保全工に使用しようと考えているが、まず水理模型実験を実施すべきである。そして、実験結果が良好であれば、原形モデルを現場に設置の上、技術データを収集し、建設仕様を確立すべきである。

JICA