

208
61.1
GRS

トンガ王国
ヌクアロファ護岸拡充計画
基本設計調査報告書

昭和63年2月

国際協力事業団

無計三

~~88-29~~
88-29

JICA LIBRARY



1041914[1]

トンガ王国
ヌクアロファ護岸拡充計画
基本設計調査報告書

昭和63年2月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '88. 4. 04	208
登録No. 17383	61.7 GRS

序 文

日本国政府は、トンガ王国政府の要請に基づき、同国のヌクアロファ護岸拡充計画にかかる基本設計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62年10月30日より11月19日まで、建設省土木研究所河川部長 橋本宏氏を団長とする基本設計調査団を現地に派遣した。

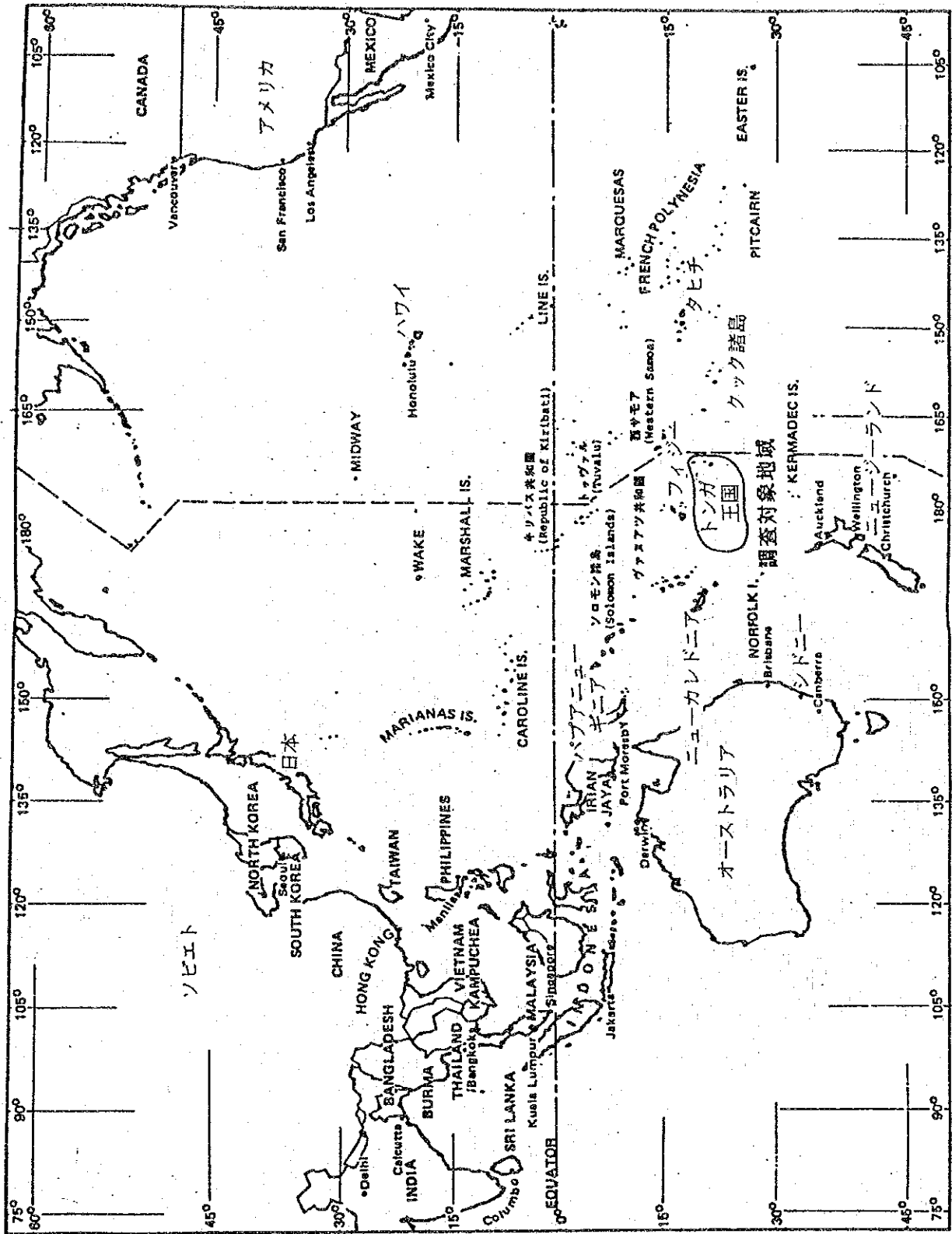
調査団は、トンガ国政府関係者と協議を行なうとともに、プロジェクト・サイト調査及び資料収集等を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が、本プロジェクトの推進に寄与するとともに、トンガ王国のサイクロンによる被害の軽減と経済発展に成果をもたらし、ひいては両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものである。

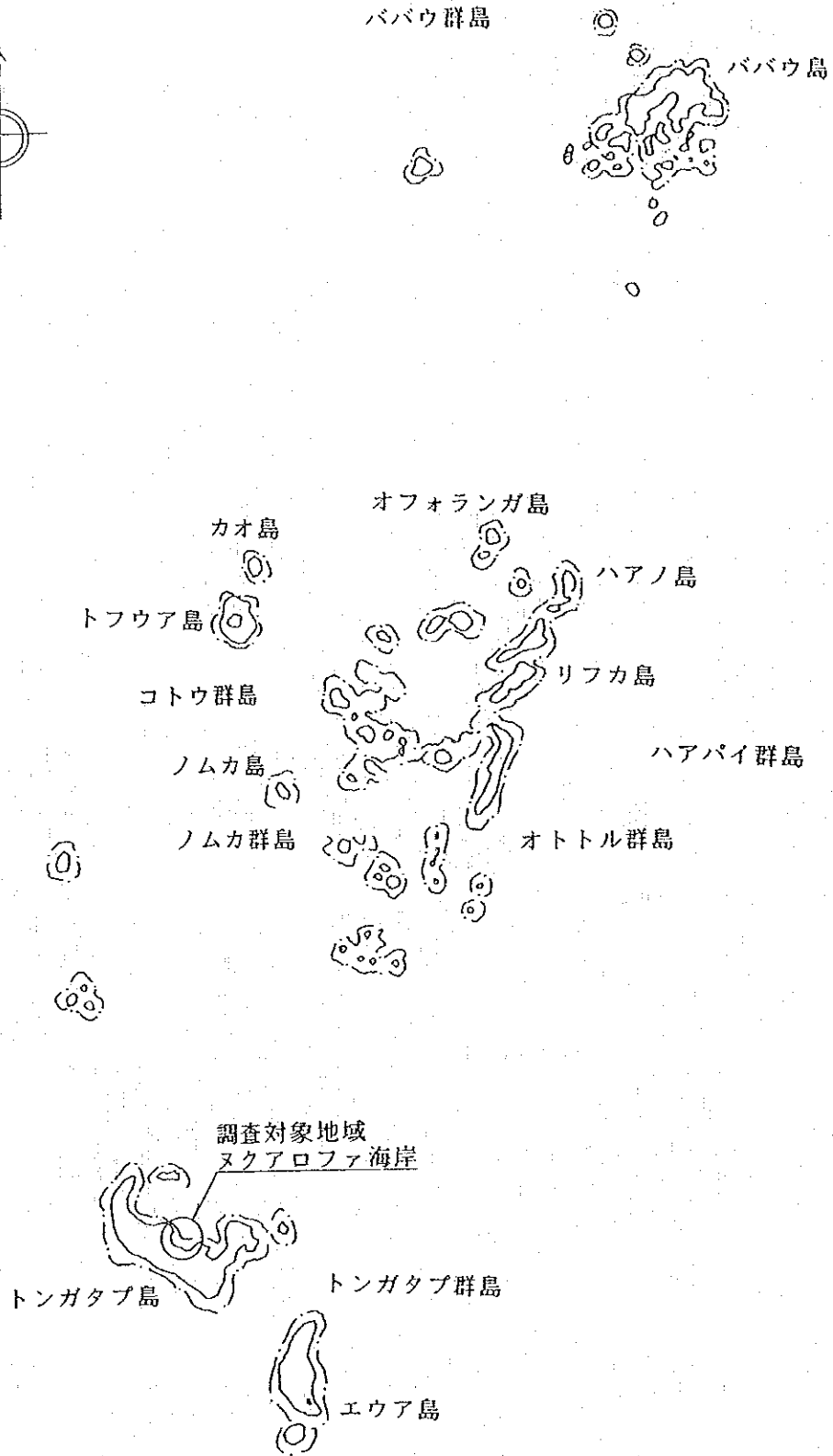
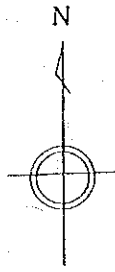
終りに、本件調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝の意を表するものである。

昭和63年 2 月

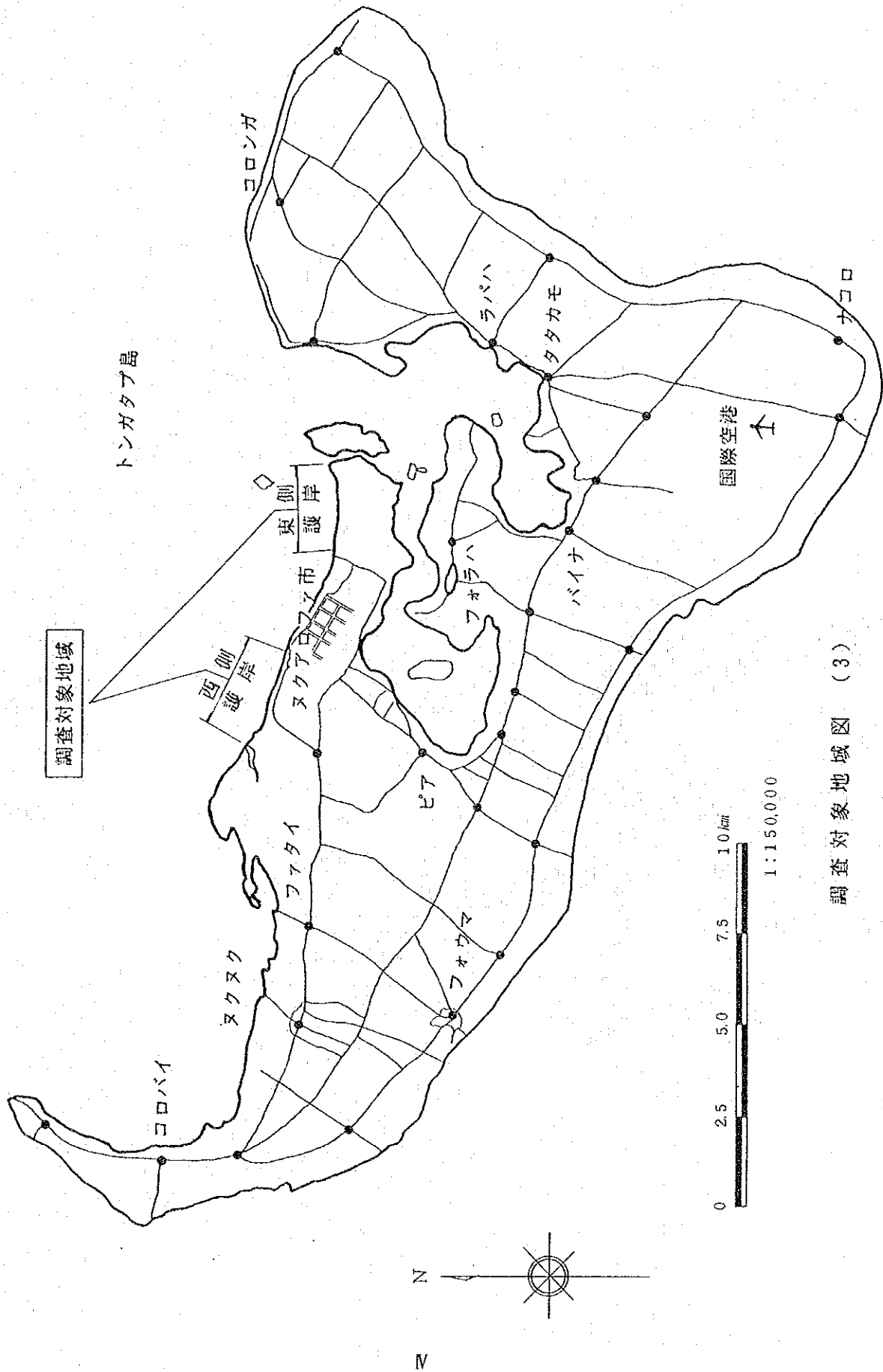
国際協力事業団
総 裁 柳 谷 謙 介

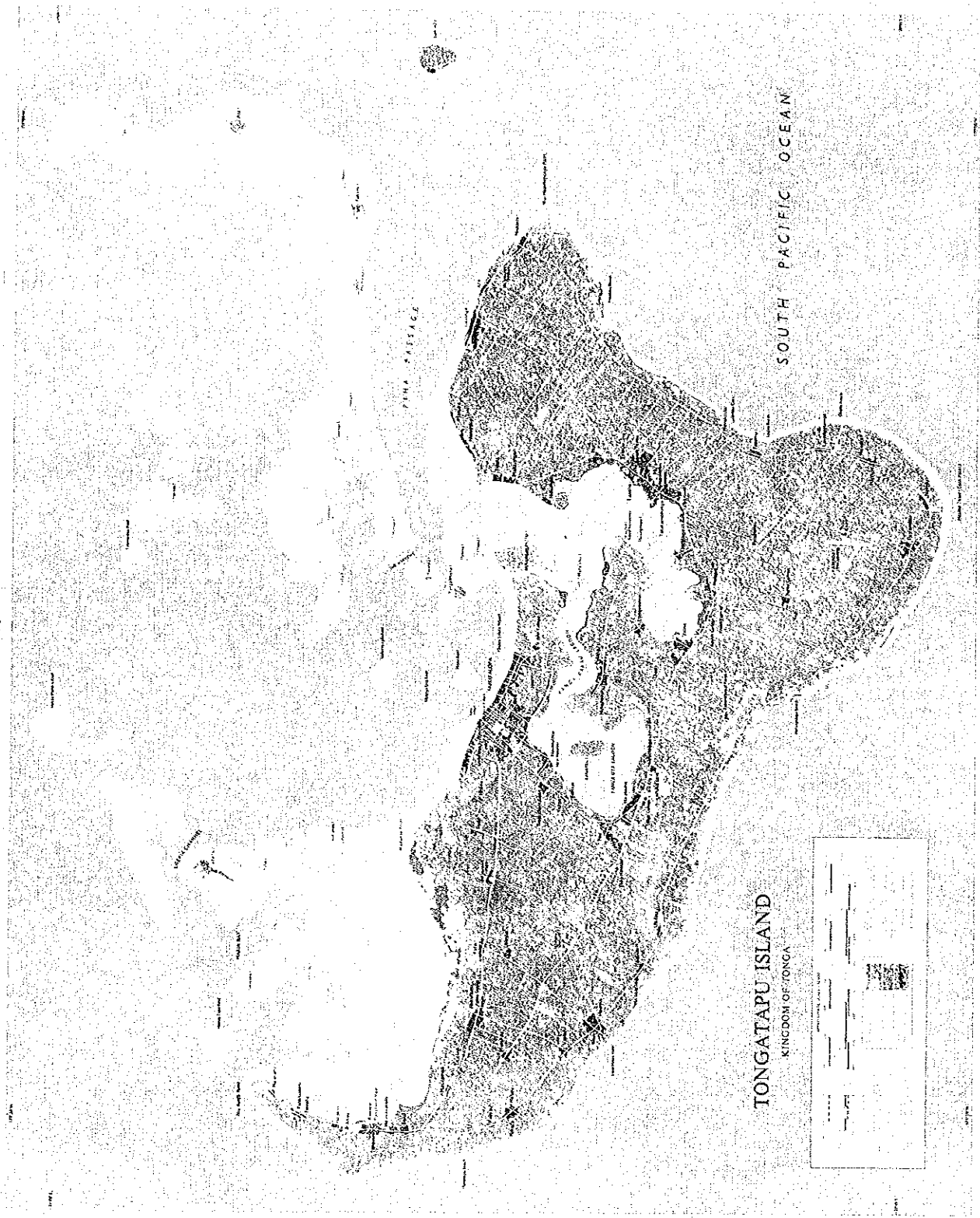


調査対象地域図 (1)

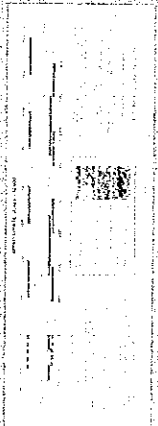


調査対象地域図 (2)





TONGATAPU ISLAND
 KINGDOM OF TONGA





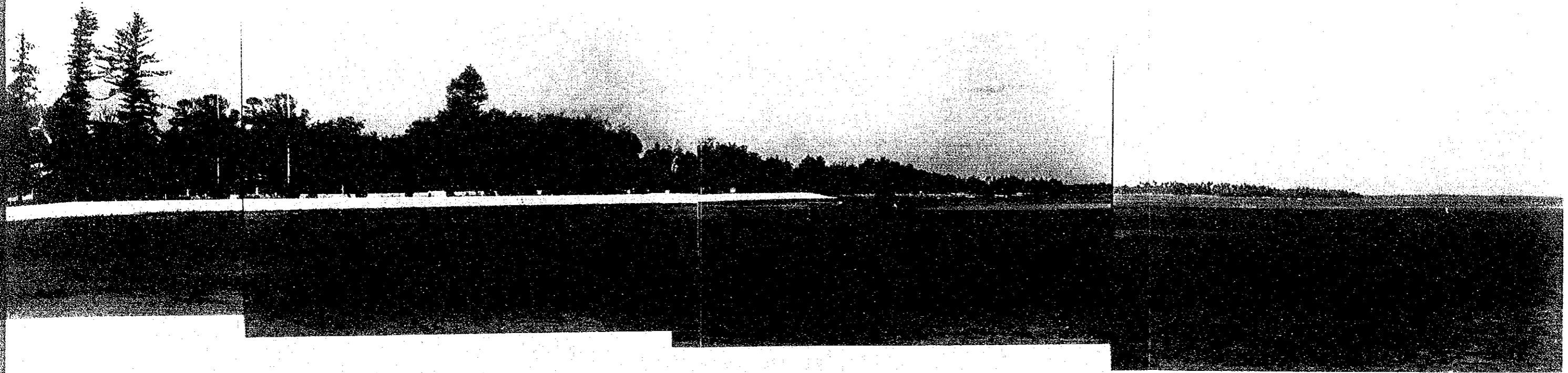
東側護岸全景



東側既設護岸（パラベット式）



東側既設護岸（石積式）



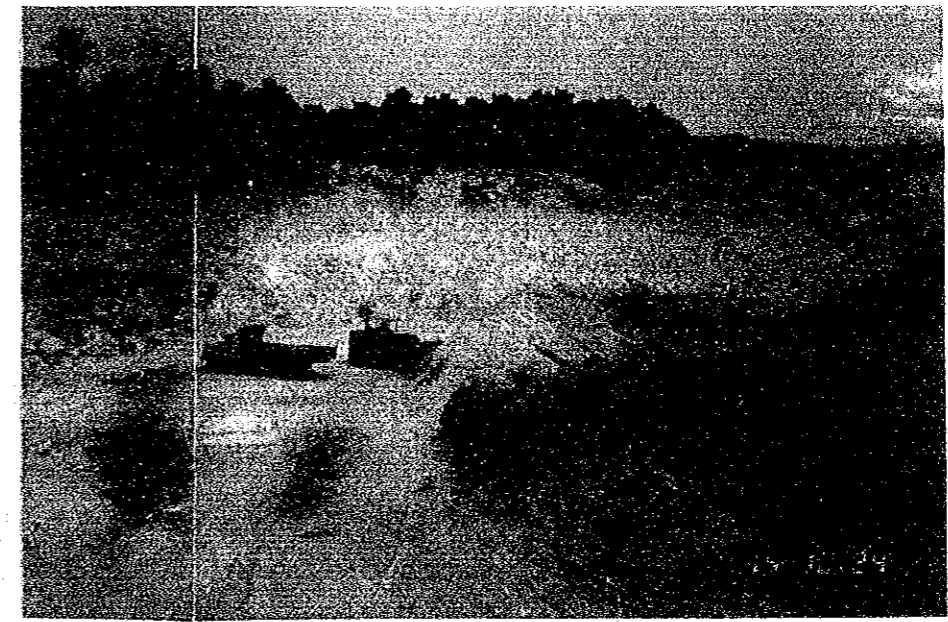
西側護岸全景



西側既設護岸（石積式）



西側既設護岸被害状況



「FARM」採石場

要 約

要 約

トンガ王国は南太平洋上南緯15°～23.5°に位置し、大小約169の島々からなる島嶼国家である。首都ヌクアロファ市はトンガ国最大の島トンガタブの北部に位置する。本調査の対象地域であるヌクアロファ海岸はヌクアロファ市の北側に位置する延長約8.7kmの海岸である。

首都ヌクアロファ市は政治、経済の中心であるが、その都市機能の確保ならびに開発事業の推進、ひいては市民の生命と財産の保全のためには、護岸施設の整備が緊急の課題となっている。既存の護岸は1982年3月3日に来襲したサイクロン「アイサック」によりコンクリートパラベット又は石積護岸は全半壊の状況にある。護岸背後は現在住宅地、石油基地、水産庁施設がありさらにはリゾート施設、海浜公園、ゴルフ場等の建設計画が急速に進められており、既設護岸は修復の緊急度を増している。1983年からトンガ国政府は西独の援助を得て、海岸総延長約8.7kmのうちヌクアロファ市中心部約3.2kmを復旧したが、残る5.5kmは未着手のままである。

上記サイクロンによる被害の直後、日本国政府はトンガ国に対し2万米ドルの財政援助を実施するとともに2千5百万円の医薬品等の援助を行なった経緯がある。

このような背景のもとに、トンガ国政府は「ヌクアロファ護岸拡充計画」を策定し、残る5.2kmの護岸施設の建設を内容とする無償資金協力を日本国政府に要請してきた。

これに対し日本国政府は、基本設計調査を行なうことを決定し、国際協力事業団を通じて昭和62年10月30日から11月19日まで基本設計調査団をトンガ国に派遣した。

調査団はトンガ国関係者との協議の他、必要な現地調査と資料の収集を実施し、帰国後現地調査結果をもとに基本設計計画をとりまとめた。

本護岸建設計画の基本事項は次のとおりである。

- (1) 護岸建設範囲はヌクアロファ東側海岸約2.5km、西側海岸約2.7kmの合計約5.2kmとする。残る0.3kmの未修復護岸は港湾部分であり、当該港湾は別途開発計画がある為、本プロジェクトの範囲から除外する。
- (2) 護岸型式は石積式とし、海浜利用と美観を考慮し、石積護岸の前面には養浜を設ける。
- (3) 西端沼地前面及び東端から170mの部分は越波防止を目的とするので養浜は設けない。

- (4) 建設期間は工費及び環境問題等を考慮する。
- (5) 建設順序は重要度と緊急度を考慮して西側護岸から開始し、次に東側護岸を施工する。
- (6) 主要建設資機材は現地調達不可能のため、工事の施工性、安全性を考慮して日本からの移入とする。
- (7) 将来の維持管理が極力不要な構造とする。

護岸建設計画の概要は以下のとおりである。

護岸建設計画の概要

計画対象地域	トンガタブ島ヌクアロファ市北側海岸
計画護岸長さ	東側 約 2.5km 西側 約 2.7km 合計 約 5.2km
護岸型式	石積傾斜堤
護岸形状	コーラルロックから成る石積護岸とコーラル砂から成る養浜工の石積傾斜堤である。 東側護岸の天端高：+ 2.8～+ 2.3m 西側護岸の天端高：+ 3.3～+ 3.0m

護岸材料は現地で得られるコーラルブロックを使用する。建設機材は現地で使用可能なものがないので、本護岸建設が所定の工事期間内に確実かつ安全に実施されるよう日本から調達する。

トンガ側の負担事業の主なものは次のとおりである。

- (1) 工事現場、採石場、工事事務所への取付道路建設
- (2) 建設工事にかかわる事務所、倉庫、貯蔵所、車庫等の用地提供
- (3) 用地事務所内への水、電気、電話設備の供給
- (4) 難破船の除去

トンガ国の本計画実施担当機関は公共事業省であり、護岸の建設及びその維持管理ともに同省が当る。

本計画に必要な事業費は、総額約 5.73 億円（日本側負担分約 5.72 億円、トンガ側負担分約 130万円）と見込まれる。

建設工事期間は、実施設計および入札業務を含めて、交換公文（E/N）締結後次の期間とする。

(1) 第1期工事：西側護岸約2.7kmの建設

E/N締結後、実施設計2.0ヶ月、入札業務1.5ヶ月、国内準備及び機材輸送1.0ヶ月、護岸建設7.0ヶ月となり合計11.5ヶ月が予定される。

(2) 第2期工事：東側護岸約2.5kmの建設

E/N締結後、実施設計1.5ヶ月、入札業務1.0ヶ月、護岸建設6.0ヶ月、機材輸送0.7ヶ月となり、合計9.2ヶ月が予定される。

全体工期は第2期工事の実施設計1.5ヶ月及び入札業務1.0ヶ月が第1期工事と重複して実施されるものとし18.2ヶ月が予定される。

本計画で建設する護岸は基本的に維持・管理を必要としない。また、不測の高潮・高波によって護岸に被害が生じた場合、その修復については維持管理実績のある公共事業省が担当するので問題はない。

本計画の実施により、トンガ国ヌクアロファ市の都市機能の保全、安定した開発計画の促進、ひいては国民の人命ならびに財産の保護が可能となり、経済発展および国民の生活の安定と向上に大いに寄与することが期待される。本護岸建設が日本国政府の無償資金協力によって行なわれる意義は大きい。

目 次

	頁
序 文	I
調査対象地域図	II
要 約	VIII
目 次	
第1章 結 論	1-1
第2章 計画の背景	2-1
2. 1 トンガ国の概要	2-1
2. 2 計画地の社会経済状況	2-1
2. 3 自然条件	2-2
2.3.1 地 質	2-2
2.3.2 気 象	2-3
2.3.3 サイクロン	2-3
2. 4 社会環境	2-3
2.4.1 道 路	2-3
2.4.2 港 湾	2-3
2.4.3 上下水道	2-4
2.4.4 電 力	2-4
2.4.5 電 話	2-4
2. 5 開発計画	2-4
2.5.1 国家開発計画	2-4
2.5.2 関連開発計画	2-5
2. 6 要請の経緯と内容	2-6
2. 7 護岸施設の現状と問題点	2-6
第3章 計画の内容	3-1
3. 1 目的・内容	3-1
3. 2 要請内容の検討	3-1
3. 3 プロジェクトサイトの現況	3-2
3. 4 護岸施設の概要	3-2
3. 5 実施機関	3-3

第4章	基本設計	4-1
4.1	基本設計方針	4-1
4.2	設計条件	4-1
4.2.1	設計波高	4-1
4.2.2	設計潮位	4-16
4.2.3	許容越波流量	4-19
4.3	基本計画	4-20
4.3.1	リーフ内の波高及び水位上昇量の算定	4-20
4.3.2	越波流量の検討	4-23
4.3.3	所要捨石重量の算定	4-25
4.3.4	天端高の決定	4-26
4.3.5	天端幅	4-26
4.3.6	養浜材料	4-26
4.3.7	各区間の断面	4-30
4.4	施工計画	4-33
4.4.1	施工方針	4-33
4.4.2	施工法	4-36
4.4.3	工事区分	4-39
4.4.4	施工監理計画	4-40
4.4.5	資機材調達計画	4-40
4.5	実施スケジュール	4-44
4.6	維持管理費用	4-45
4.7	概算事業費	4-45
第5章	事業評価	5-1
5.1	効果	5-1
5.2	妥当性	5-2
第6章	結論・提言	6-1
6.1	結論	6-1
6.2	提言	6-1

資料編

I.	協議議事録	A-1
II.	調査団の構成	A-8
III.	調査日程	A-9
IV.	面談者リスト	A-12
V.	第5次5か年開発計画プロジェクト内容	A-14
VI.	気象データ（降雨量、気温）	A-15
VII.	潮位観測結果	A-17
VIII.	底質調査結果	A-18
IX.	アイサックによる被害状況写真集	A-23
X.	収集資料リスト	A-25

目 次

		頁
3-1	護岸背後地の利用状況	3-4
3-2	トンガ国政府組織図	3-5
3-3	公共事業省組織図	3-6
4-1	サイクロン経路図	4-3
4-2	アイサックの経路と推定風速	4-4
4-3	アイサックの詳細経路	4-5
4-4	各時刻の風速分布図	4-6
4-5	風速分布の時間変化	4-7
4-6	ウィルソンの発達曲線	4-8
4-7	碎波帯内の波高の算定図	4-11
4-8	不規則波の浅水変形による平均水位変化	4-11
4-9	方向分散法による波高推算点	4-14
4-10	屈折図	4-15
4-11	潮位観測位置図	4-16
4-12	設計区間分割図	4-20
4-13	碎波帯内の波高の算定図	4-21
4-14	不規則波の浅水係数による平均水位の変化	4-21
4-15	越波量推定図	4-23
4-16	前浜勾配と d_{50}/H_o の関係	4-27
4-17	現地資料による汀線の前進・後進	4-27
4-18	底質調査地点	4-29
4-19	各区間の断面	4-30
4-20	採石場位置図	4-35
4-21	採石工フロー図	4-36
4-22	護岸工フロー図	4-38
4-23	実施スケジュール	4-44

表 目 次

	頁
4-1 主要潮位成分	4-17
4-2 越波による被災限界の越波流量	4-19
4-3 越波流量決定の目安	4-19
4-4 リーフ諸元	4-21
4-5 リーフ上の波高及び水位上昇量	4-22
4-6 護岸天端高	4-24
4-7 K_D 値	4-25
4-8 施工期間比較表	4-33
4-9 公共事業省所有機械リスト	4-41
4-10 建設会社所有機械リスト	4-41
4-11 主要資材調達リスト	4-42
4-12 主要建設機械調達リスト	4-43

第 1 章 緒 論

第 1 章 緒 論

トンガ国は、現在「第5次5か年開発計画」にもとづき、生産の増強、国民所得の増加、国民の生活及び文化水準の向上を目標に商工業団地を建設し、商工業の積極的誘致を計っている。同国の首都ヌクアロファ市はその中枢を成すもので現在多数の開発計画が検討されている。

ヌクアロファ海岸の既存護岸は、総延長約 8.7kmのうち中心部の約 3.2kmを除き、残り 5.5kmは1982年3月に来襲したサイクロン「アイサック」により全半壊の状態である。地形的にも海岸地域は満潮水面上約 1.0mと低いうえ、一部分は海岸地域よりも背後地の方が低くなっているため、ヌクアロファ市を高潮・高波から保護することは現状のままでは困難である。

護岸施設が都市機能を守る基盤として、市民の生命と財産の保全、首都としての政治、経済の機能の確保ならびに安定的な都市開発事業の推進を図る上で重要な役割を果たすものであるとの観点からすれば、既設護岸は規模、質ともに極めて不十分であり、その修復は極めて緊急を要するものである。

かかる状況のもとトンガ政府は、未修復の約 5.5kmを対象に「ヌクアロファ護岸拡充計画」を策定し、護岸施設の建設を内容とする無償資金協力を日本国政府に要請してきた。

日本国政府は、国際協力事業団を通じて昭和62年10月30日から11月19日まで、建設省土木研究所河川部長 橋本宏氏を団長とする基本設計調査団を現地に派遣した。

基本設計調査団は、本案件の無償資金協力としての妥当性を検討するため下記の調査を行なった。

- (1) 要請の背景の分析および内容の妥当性
- (2) 本計画に関する上位計画の調査
- (3) 計画内容および規模に関する検討と協議
- (4) 事業実施体制、維持管理体制、トンガ側負担工事範囲の確認
- (5) 潮位観測、横断測量、底質調査、採石場調査、施工機械調査等

以上の調査、協議をもとに、基本設計調査団はトンガ政府関係者との間で協議議事録を取り交した。

本報告書は、現地調査の結果を踏まえ計画の内容、規模、工期、事業費、計画の妥当性等について検討した結果をとりまとめたものである。

本調査団の構成、相手国政府関係者、現地調査日程および協議議事録は添付資料として巻末に収録した。

第2章 計画の背景

第 2 章 計画の背景

2. 1 トンガ国の概要

トンガ国は南太平洋上に位置するポリネシアの国で南緯 $15^{\circ} \sim 23^{\circ} 30'$ 、西経 $173^{\circ} \sim 177^{\circ}$ に跨がり、フィジーの東、西サモアの南に位置する。約 169の島々が南北36万km²にわたってつらなり、総国土面積はわずか 750km²（我が国の対島とほぼ同じ）と典型的な島嶼国家である。地形上、北部のヴァヴァイ諸島、中部のハバイ諸島、南部のトンガタブ諸島の三群と、ヴァヴァイ諸島の北方に遠く位置するニウァフォオウ島とニウアトプタブ島に区分されている。北部から西部にかけて火山島があり、ハーバイ群島の北西端にあるカオ島は標高 1,030m（トンガ最高）の円錐形の火山島である。これに対し中南部は概して偏平な隆起珊瑚礁よりなる平坦な地形となっており、首都ヌクアロファ市のあるトンガタブ島は標高65mの平地よりなっている。一般に珊瑚石灰岩からなり農耕に適していない島々が多いが、トンガタブ島は農耕に適した肥沃な土質をもつ。

1985年の推定総人口は 102,190人で、その68.7%に当る約7万人がトンガタブ島に住み、そのうちの約3万人は政治・経済の中心であるヌクアロファ市に集中している。

1970年に独立したトンガ国は国連専門機関等への加入も積極的で、E S C A P（アジア太平洋経済社会委員会）、S P F（南太平洋フォーラム）、A D B（アジア開発銀行）、S P C（南太平洋委員会）の準加盟国である。

2. 2 計画地の社会経済状況

トンガ国の産業構造は、農業を中心とする第1次産業が中心で、主要輸出品であるバナナ、コブラ、西瓜、トマト、バニラ等の果物・野菜を生産している。製造業としてはココナッツの繊維加工工場、コブラ、乾燥ココナッツの生産工場、魚類缶詰工場、製材所等があるが、国内市場の狭小性、国内資源、開発資金の不足により極めて小規模である。

1985年のGDPは73百万トンガドルで、1人当たり 715トンガドルである。貿易収支は1985年で50百万トンガドルの輸入超でこの赤字を海外居住者からの本国送金、観光、海外ローン、援助等の貿易外勘定によりかろうじて穴埋めしている。

トンガ経済にとって当面する大きな問題は失業者の増加である。特に近年は若年労働者の増加に加え、従来失業者の雇用促進の一助となっていたニュージーランド、オーストラリアへの出稼が受入国の労働許可の制限により減少しており、深刻な問題となっている。

これらの問題に対して、人口の抑制、農業を中心とした地方既存産業の再開発、小規模製造業の育成、資源の有効活用、水産資源の開発、観光産業等の外貨収得に貢献する産業の育成が必要である。

政治・経済の中心である首都ヌクアロファ市の護岸施設の修復は、安定的社会経済活動の維持及び市民生活に不可欠である。また、ヌクアロファ市の経済状態が地方経済に与える波及効果を勘案すれば、ヌクアロファ護岸の重要性はさらに増大する。

2. 3 自然条件

2.3.1 地 質

(1) 概 要

トンガ諸島は東北東に延びている太平洋では2番目に深いトンガ海溝（長さ約3,000km、幅約100km、最深部10,882m、）の西側に、海溝と平行に点在する隆起珊瑚礁および火山島からなる。

太平洋プレートの圧力で隆起したアジア・オーストラリアプレートの上に隆起珊瑚礁（トンガタブ島、ハアパイ群島、ババウ島など）がある。更に西側にトファトラフを経て火山群島（ラテ島、カオ島、ファルコン島など）がある。

トンガタブ島は前述の隆起珊瑚礁の部類に入り、島の東南部で海拔約65mあるが、北西部へ向ってなだらかに傾斜しており、概ね平坦な島である。

(2) 護岸建設位置

護岸建設位置は概ね既設護岸線上から海側へ10m付近の範囲にある。この付近の土質条件は以下の通りである。

0～0.4m：砂又はコーラル粒

0.4～7.5m：細砂又はコーラル粒（シルト質）

7.5～9.0m：凝灰岩

地耐力は既設護岸から判断して3 t～4 t/m²以上と推定される。本調査において西独の援助による修復護岸約3.2kmの沈下調査測量を実施したが、顕著な沈下は発生していないことが判明した。本計画護岸構造は、上記修復護岸とはほぼ同型式・同重量であることから、地耐力不足、沈下の問題はないと考えられる。

2.3.2 気 象

海洋性亜熱帯地域に属するトンガ国では、貿易風が年間を通じ絶えず吹いており、5月～8月の冬期は弱く12月～4月の夏期は強く吹く。最多風向は、約70%の頻度で南東または東南東からの方向である。ヌクアロファ市に於いては、12月～4月が暑く湿った季節で平均気温は25℃程度である。降雨量も夏期が多く、特に1月～3月では250mm/月以上になり、湿度も約75%になる。一方、5月～11月は涼しく乾いた季節で、平均気温は22℃程度である。降雨量も130mm/月以下で少なく、湿度も65%程度である。年間平均気温は24℃で、1975～85年の平均降雨量は1,600mm/年程度である。

2.3.3 サイクロン

トンガ国は、12月から4月にかけて高温多湿に見舞われる。この時期がサイクロンの季節であり、赤道付近で発生したサイクロンが発達しながら急速に南下してくる。多量の雨と強風をとめない、ココナッツなどの農産物が被害を受けるほか、船舶、建物も被害を蒙る。1982年3月2日にババウ島のはるか北東で発生したサイクロン「アイサック」は中心付近で最大風速約61m/秒でトンガ諸島をなめるように南下し甚大な被害をもたらした。

2. 4 社会環境

2.4.1 道 路

トンガ国全体で舗装道路は延長約300kmあり、その内約190kmはトンガタブ島にある。首都ヌクアロファ市の主な道路は珊瑚礁碎石を填圧し、表面をアスファルトで舗装した簡易なものである。道路維持管理については、公共事業省がこれに当る。

護岸建設現場から採石場まで約20kmの道路は幅員約6～12mで簡易アスファルト舗装が施されており護岸材料運搬には問題はない。

2.4.2 港 湾

計画護岸地域内にクイーンサラローテ埠頭がある。沖合いの珊瑚礁と小島により取り囲まれた水深13mの良港で、長さ100mの埠頭を有している。「第4次5か年開発計画」にもとづいて現在オーストラリアの援助により拡張工事中である。

1985年の荷扱量は、荷揚げ荷降し合計で83,857トン、入港の商船は801隻にのぼっている。

2.4.3 上下水道

市内の給水は水道局により行なわれている。水質は地下水であるため硬水でカルシウム分が多く、塩分を若干含んでいる。飲料水としてはWHO（世界保健機関）の基準を満足しており、衛生的に問題はない。ヌクアロファ市への給水量は32,000m³/日である。給水網の行き届いてない地域は雨水を集水し使用している。

下水道は整備されておらず、貯溜浸透方式で処理している。

2.4.4 電力

給電は電力局がディーゼル発電機を利用して5,850KWの電力を発電し、3相415ボルトと単相240ボルトで送電している。近年の石油の値上りによりトンガ国政府はソーラ、貿易風、波力などによる発電を検討している。

2.4.5 電話

電話は総理大臣直属の電信電話局が管轄している。電話設置台数は、トンガ国全体で2,673台（1985年）である。

2.5 開発計画

2.5.1 国家開発計画

トンガ国政府は現在「第5次5か年開発計画」（1986～1990）を遂行中であり、その長期目標は以下のとおりである。

- 生産の増強と国民所得の増加
- 経済社会発展の地域不均衡の是正
- 国民の生活及び文化水準の向上及び環境保全
- 関係諸外国との社会経済発展における友好と協力
- 国民生活向上のための環境づくり

計画中の具体的プロジェクトは、数個の農業及び工業プロジェクト以外は、そのほとんどがインフラストラクチュアと社会サービス関連である。「第5次5か年開発計画」の内容を資料編VIに示す。

本計画護岸は「第5次5か年開発計画」においても、政治経済活動の大半が集中する首都としての社会基盤を防護する意味で重要プロジェクトとして取り上げられている。

2.5.2 関連開発計画

(1) ヌクアロファ護岸建設 (ヌクアロファ市中心部 3.2km)

トンガ国は、1983年8月から1986年10月にかけてヌクアロファ海岸総延長 8.7kmのうち、中央部の約 3.2kmの護岸を西独の援助により建設した。この計画は首都ヌクアロファ市の中心部の最重要地域のみをサイクロンより防護するために実施された。

しかしながら、本護岸両翼の護岸未修復地区にも、石油基地、レクリエーション施設、民家等が存在しており、これらの施設を防護することは急務の課題となっている。また、これらの護岸未修復地区を現在のまま放置すれば、中心部の背後に未修復地区から越波した海水が流入し、冠水も予想される。

(2) トンガタブ島道路建設

「第5次5か年開発計画」の長期道路建設計画は、以下のとおりである。

種 別	長 さ (km)	費用 (1,000T\$)
— 幹線道路	90	5,000
— 主要道路	80	1,250
— 支線道路	40	500
— 農道等	50	425

安定した経済活動を維持するためには、道路網は基本的なインフラストラクチャであり、その施設をサイクロンより防護することは不可欠である。

(3) 観光関連開発計画

ヌクアロファ市内の観光開発計画は以下のとおりである。開発地域 (建設地) の保全は、安定的な開発計画を進める意味において重要な課題である。

- ヌクアロファ市内の国立博物館の建設
- 地元住民及び観光客用海浜公園の建設
- ヌクアロファ市東端のゴルフ場の建設
- 多目的海岸リゾート施設の開発
- Dateline Hotelの施設、サービスの改善

(4) 養殖池の建設

ヌクアロファ市西端に位置する沼地において、養殖池建設の計画がある。この計画はトンガ国の食糧事情の改善のみならず漁類缶詰工場の育成にも大いに寄与する。養殖池の保全と安定的開発を維持するために護岸施設は必要である。

2. 6 要請の経緯と内容

1982年3月ババウ島の北東で発生したサイクロン「アイサック」は中心付近で最大風速61m/秒、強風圏域半径160kmの威力でトンガ諸島を縦断した。

「アイサック」は海岸護岸及び家屋、農園、道路、空港、港湾施設等を破壊し、大きな被害を与えた。その被害状況は次のとおりである。

- 死者 6人
- 家屋破壊数千戸（被害総額10百万トンガドル）
- 被害総額18.7百万トンガドル
- 湛水域 2km×1kmの範囲

これに対し日本国政府は、トンガ国に対し2万米ドルの財政援助を実施するとともに25百万円の医薬品等の援助を行なった。

一方、トンガ国政府は「ヌクアロファ護岸復旧計画」を策定し、1983年から復旧工事を開始した。しかし現在のところ、工事が終了したのは全長約8.7kmのうち中心部3.2kmについてのみであり、その両側合計約5.2kmは資金不足が原因で未着手のままである。トンガ国政府は、「アイサック」の被害による「第4次5か年開発計画」の大幅な遅れに鑑み、新たに

- i) 残る5.2kmの護岸建設
 - ii) 建設工事終了後の建設機械等の供与
 - iii) 建設工事中の現地作業員の実地訓練
- を骨子とした「ヌクアロファ護岸拡充計画」を策定し、その実施につき我が国の無償資金協力を要請してきた。

日本国政府は当該要請を検討することを決定し、国際協力事業団を通じ、建設省土木研究所河川部長 橋本宏氏を団長とする基本設計調査団を昭和62年10月30日から11月19日まで現地に派遣した。

2. 7 護岸施設の現状と問題点

ヌクアロファ海岸総延長約8.7kmは1983年8月から3年間を要して建設された約3.2kmを除き、老朽化あるいは1982年3月に来襲した「アイサック」により破壊されたままである。東西海岸の現状は以下に示すとおりである。

(1) 東側海岸

- 東端より約 400mは護岸はなく、自然海浜のままである。
- 上記地点より西端の港湾までは天端高約+ 2.0mの重力式のコンクリートパラペット又は石積護岸が存在しているが、部分的に全壊または半壊したまま放置されている。
- 調査結果によれば、所要護岸天端高は+ 2.8m～+ 2.3mであることから、将来「アイサック」程度のサイクロンが来襲すれば多量の越波流量が予想され、既設護岸の被害が発生すると考えられる。

(2) 西側海岸

- 水産庁前面にあるマングローブ部以外はほぼ全域にわたり天端高約+ 2.0mの重力式のコンクリートパラペット又は石積護岸が存在している。
これら護岸は一部が全壊のほか、ほぼ全域にわたり半壊している状態である。
- 調査結果による所要護岸天端高+ 3.30 m～+ 3.0mに比較して、既設護岸天端高は低いため、将来のサイクロン来襲時には多量の越波量が発生し、現在半壊のまま放置されている護岸は容易に破壊される。また背後地は低地になっているために浸水被害が予想される。

第3章 計画の内容

第 3 章 計画の内容

3. 1 目的・内容

1982年3月トンガ国を襲ったサイクロン「アイサック」は、首都ヌクアロファ市のある同国最大の島トンガタブ島北岸を直撃し、護岸施設に甚大な被害を与えた。

これに対し、トンガ国政府は、

- (1) 延長 5.2kmの護岸建設
- (2) 建設工事終了後の建設機械等の供与
- (3) 建設工事中の現地人作業員の現地訓練

を骨子とした「ヌクアロファ護岸拡充計画」を策定し、その実施につき我が国の無償資金協力を要請してきた。

3. 2 要請内容の検討

基本設計調査団は、トンガ国政府と要請内容の確認と協議、既設護岸施設の現況、現地資料・情報収集を行なった。

その結果、既設護岸を現状のまま放置することは、「アイサック」の被害状況からみても重要な都市機能やヌクアロファ市民の日常生活を維持することが困難となり、ひいては住民の生命・財産をも脅かしかねないと判断された。その対応を検討した結果は以下のとおりである。

(1) 護岸建設について

- 拡充護岸の東側終点は、計画海岸道路の終点までとし、西側終点は沼地の河口の対岸までとする（総延長約 5.2km）。
- 対象地区内に港湾とその拡張予定地が含まれているが、その部分延長約 300m は本計画の対象外とする。
- 海岸道路は将来拡幅の計画があるため、新護岸の法線位置は、計画道路陸側端より最小限20m離す。
- 護岸前面海域は、魚貝類の採取に利用されている。そのための舟だまりがある5箇所につき簡単な昇降路を設ける。

(2) 建設機械等の供与について

当初要請書では、供与された建設機械の用途は、建設された護岸の維持管理及び今回対象に含まれていない地域の護岸の建設用とされていた。

しかしながら、本計画護岸は基本的に維持管理を必要としない構造であるため、工

事終了後は殆ど建設機械を必要としない。また、トンガ国政府でも特に明確な建設機械の利用計画がなかったため本計画からは除外することとした。

(3) 現地作業員の現地訓練

我が国の無償資金協力の枠を越えるので、本計画から除外することとした。しかしながら、建設工事においては現地オペレーターを雇用するので、実質的には技術移転が行なわれる。

3. 3 プロジェクトサイトの現況

計画護岸背後地は、ヌクアロファ市の都市機能の基礎的施設群によって利用されている。具体的には、東側護岸背後は、住宅地、石油基地に利用され海浜公園、リゾート施設、ゴルフ場等の開発計画がある。西側護岸背後は住宅地、商業地、水産庁施設、養殖場等がある。両背後地とも全般的に海岸地点に比較して低地になっており、サイクロン来襲時は浸水被害が予想される。現在及び将来の計画護岸背後地利用計画を図3-1に示す。

3. 4 護岸施設の概要

護岸建設計画の概要は以下のとおりである。

護岸建設計画の概要

計画対象地域	トンガタブ島ヌクアロファ市北側海岸
計画護岸長さ	東側 約 2.5km 西側 約 2.7km 合計 約 5.2km
護岸型式	石積傾斜堤
護岸形状	コーラルロックから成る石積護岸とコーラル砂から成る養浜工の石積傾斜堤である。 東側護岸の天端高：+ 2.8～+ 2.3m 西側護岸の天端高：+ 3.3～+ 3.0m

護岸材料は現地で得られるコーラルブロックを使用する。建設機材は現地で使用可能なものがないので、本護岸建設が所定の工事期間内に確実に安全に実施されるよう日本から調達する。

3. 5 実施機関

本護岸建設事業は、その建設及び維持管理共に公共事業省が実施する。トンガ国政府組織における同省の位置付け並びに同省の組織図を図3-2および3に示す。

公共事業省はインフラストラクチャの建設、管理を担当しており、その年間事業費は約4.5億円である。現在遂行中の具体的プロジェクトは、クイーンサロテ岸壁の拡張計画、ファウハ漁港建設計画、コロonga・ニウトウア間の道路建設、ブナ道路建設、ハアパイ空港建設、住宅建設等である。

また、同省はトンガ国政府が策定した「第5次5か年開発計画」の中で道路、空港、港湾、護岸、電力、建築等の大型事業を実施する予定である。

従って、公共事業省は多数のプロジェクト実施経験があり、本護岸建設についても確実・円滑に進めることが可能である。

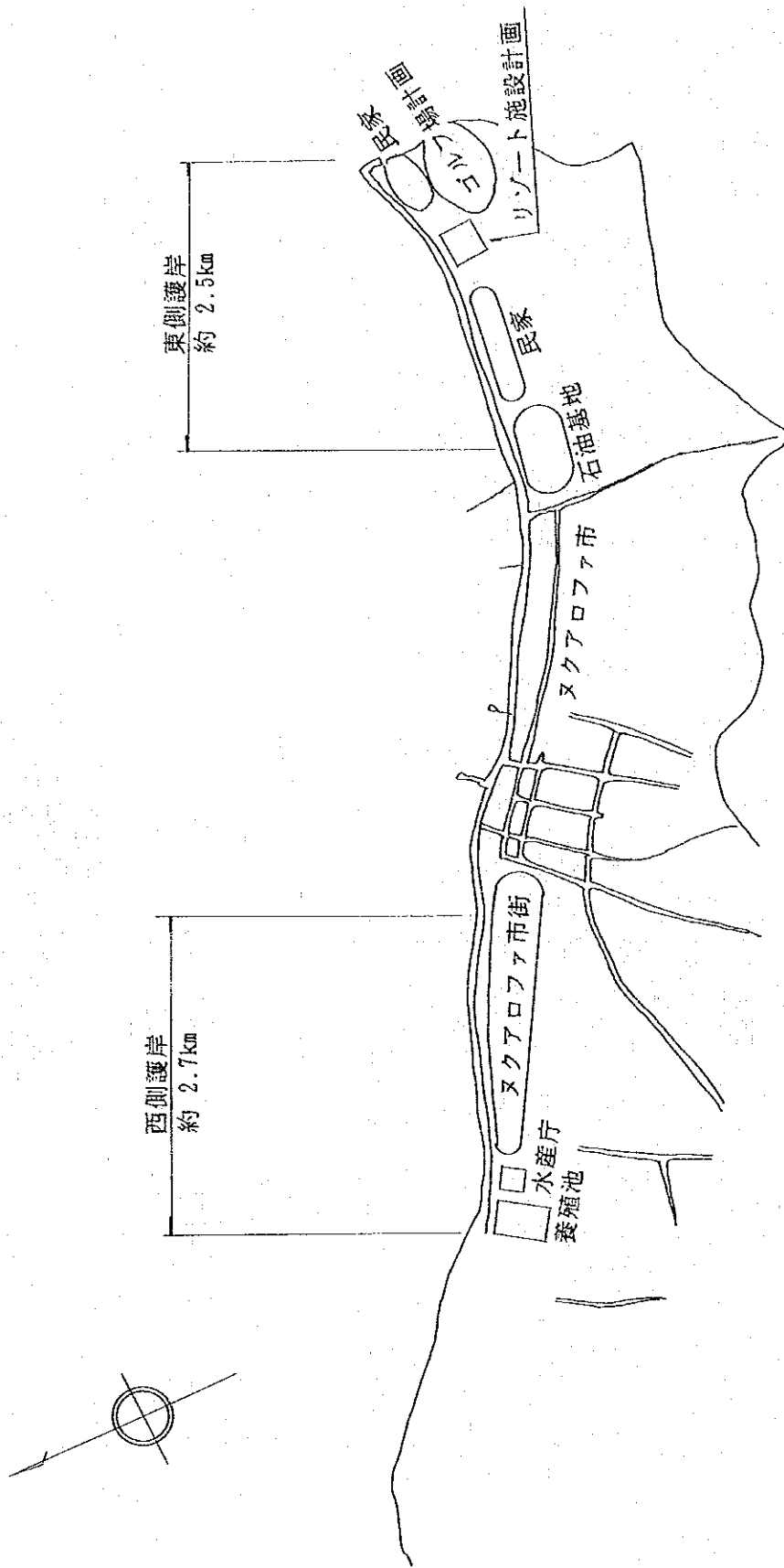


図 3-1 護岸背後地の利用状況

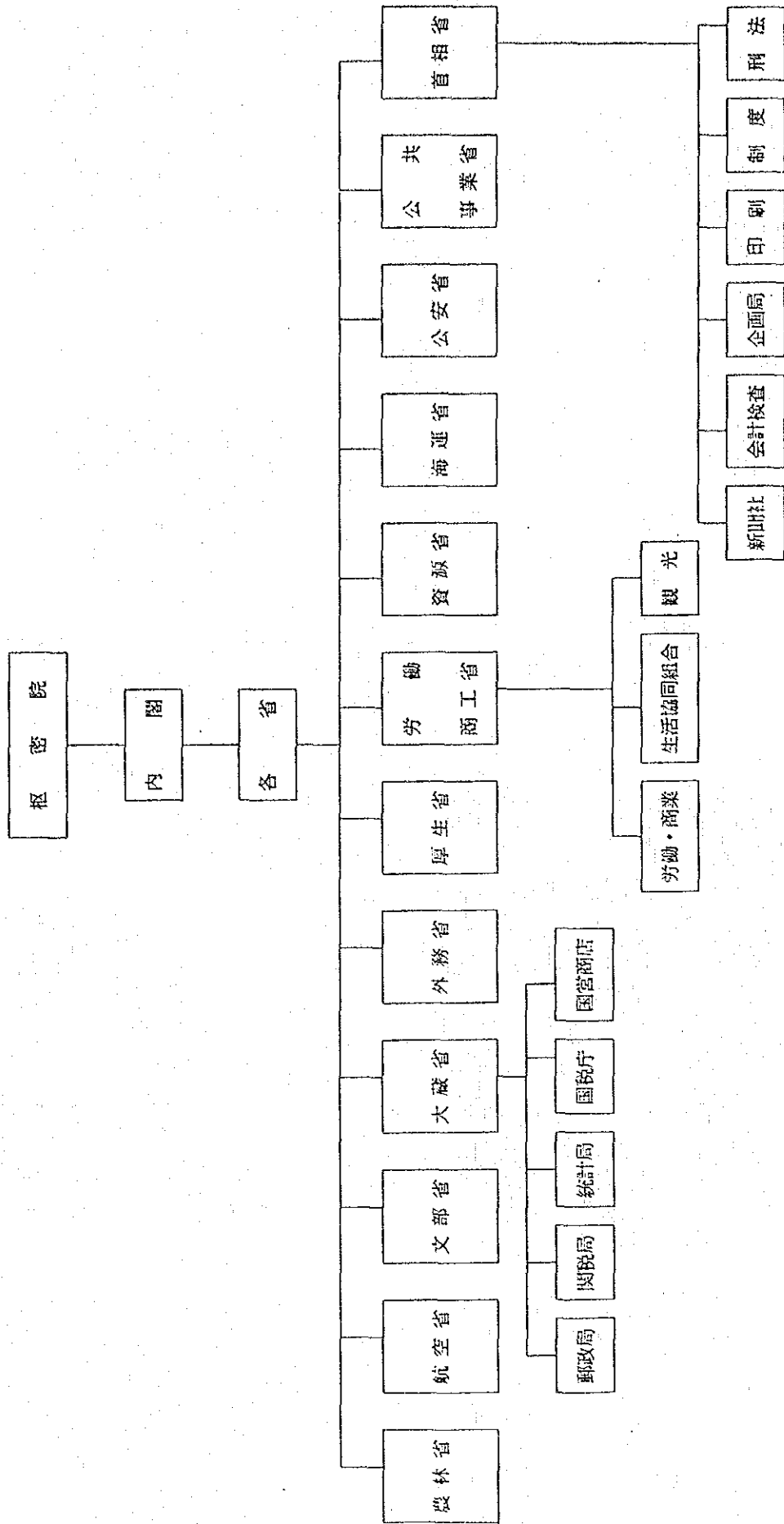


図 3-2 トンガ王国政府組織図

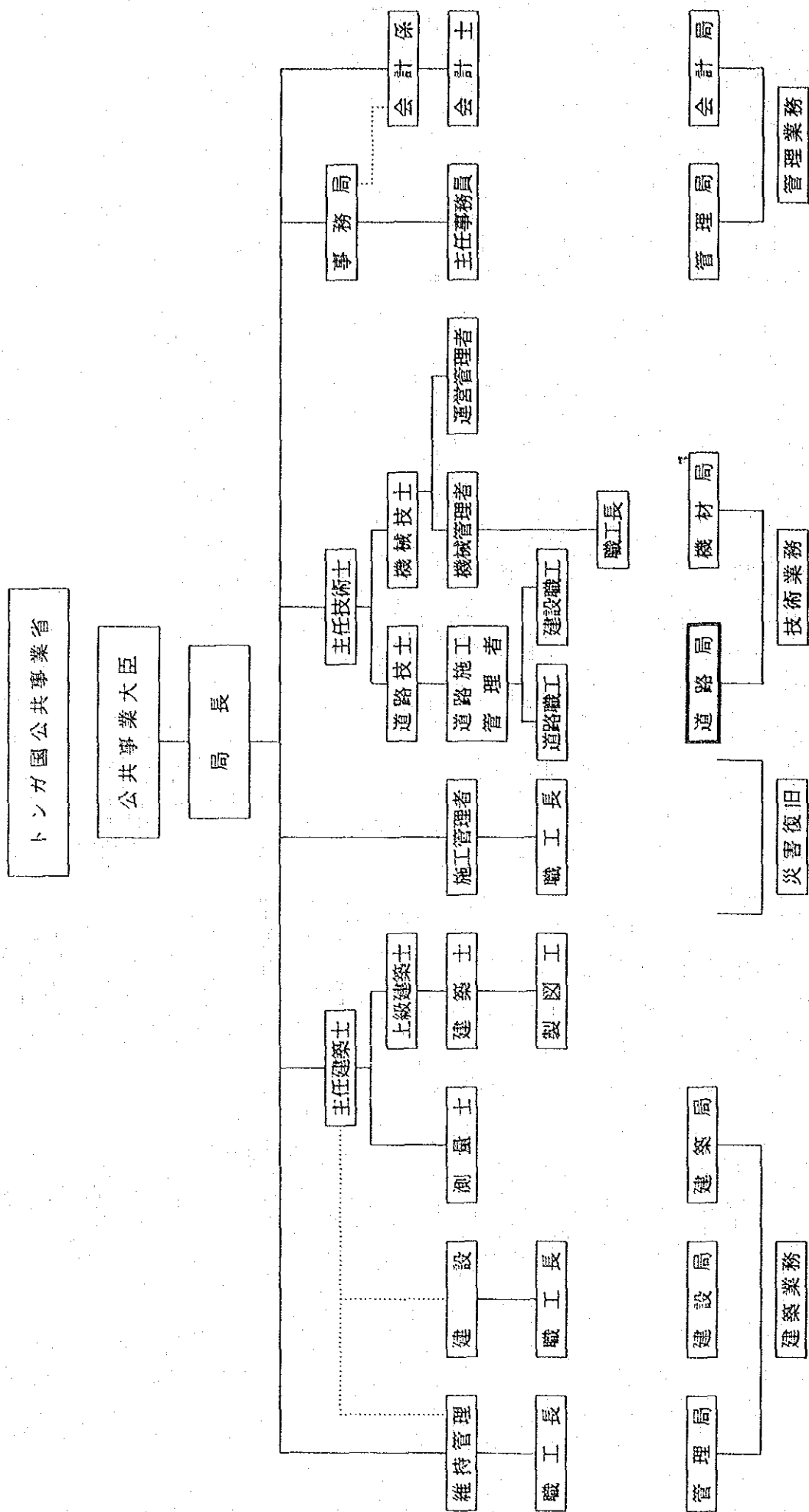


図 3-3 公共事業省組織図

第4章 基本設計

第 4 章 基本設計

4. 1 基本設計方針

本計画は、サイクロンによる被害からトンガ国の政治・経済の中心である首都ヌクアロファ市を防護することを目的とする。また、計画区域の海浜全体は、熱帯性海洋生物の宝庫であるとともに、地元住民および観光客の海水浴場や魚釣り等の磯遊びの場でもある。従って自然景観や海浜美観を妨げることのないよう十分配慮し以下のような方針で実施する。

- (1) 対象地域はヌクアロファ市東海岸約 2.5km、西海岸約 2.7kmの合計約 5.2kmとする。
- (2) 建設資材、機材については、同国で入手可能なものを極力活用、利用する。
- (3) 将来の維持・管理が極力不要な構造とする。
- (4) 海浜利用と美観を考慮し、石積護岸の前面には養浜を設けるものとする。
- (5) 西端の沼地前面は越波防止を目的とするので養浜は設けない。
- (6) 東端から 170mの部分の前面は河川幅を維持するため養浜は設けない。
- (7) 背後地の地盤高さが低いことを考慮して越波量は極力少なくするものとする。

4. 2 設計条件

4.2.1 設計波高および周期

護岸前面における設計波高の推算手順は以下のとおりである。

- i) 設計対象サイクロンの選定
- ii) 沖波の推算
- iii) 浅水変形計算（屈折、回折係数）
- iv) 護岸前面波高

以下、手順に従って推算する。

(1) 設計対象サイクロンの選定

ニュージーランド気象局の観測資料により1939～1982年の43年間に南太平洋上で発生したサイクロンを選出し、その中でトンガ国に被害を与えた全てのサイクロンの経路を図 4-1に示す。これらのうちで、1982年3月に来襲した「アイサック」がサイクロンの中心気圧、最大風速、移動速度、通過経路から判断して、ヌクアロファ海岸に最大波高を発生させたと推定できる。そこで「アイサック」を過去43年間の既往最大サイクロンとして設計波高の推算に利用する。

(2) 風速分布

サイクロン内の風速分布の推定は、フィジー気象観測所の資料（図 4-2）をもとに算出し、その結果を図 4-4に示す。推算に当っては、フィジー気象観測所では 148km/時（41m/秒）と推定し、またサイクロンの中心から24kmに位置していた船舶で 167km/時（46m/秒）の風速を報告していることから風速を3月3日午前1時には最強風速41m/秒、3月3日午前4時から午後4時までは46m/秒とする。一方、ヌクアロファ海岸で3月3日午後1時45分に、最低気圧 976.4ミリバール、最強風速 130km/時（36m/秒）と観測された。（図 4-3）これより「アイサック」の中心気圧は 950ミリバールと推定される。中心気圧と最強風速の関係は高橋博士（元気象庁長官）の式により与えられる。

$$V_{\max} = 6 \sqrt{P_0 - P_c}$$

P_0 : サイクロンの外側の気圧（ミリバール）

P_c : 中心気圧（ミリバール）

$$\begin{aligned} V_{\max} &= 6 \sqrt{1010 - 950} \\ &= 46 \text{ m/秒} \end{aligned}$$

この値は船舶の報告値と一致しており、妥当な値と判断できる。

(3) 沖波高推算

1) ウィルソン法による波高推算

図 4-4 における原点（△印）から出発した波は、サイクロンの移動に沿って発達する。図 4-5は、図 4-4より作成した風域の時間変化図である。図 4-5を図 4-6「ウィルソンの波の発達曲線」に重ね合わせ、最強風速域がウィルソンの発達曲線と合うように風域を決定する。ここで、風速は出発点より3時間が $(25+36) / 2 = 31$ m/秒、それ以後 9.4時間が平均風速36mとする。推算結果は以下のとおりである。

沖波高 $H_0 = 11.6 \text{ m}$

周期 $T_0 = 12.6 \text{ 秒}$

波向 NE（北東）

- 1. 1949 12月 : 熱帯性低気圧
- 2. 1958 12月 : サイクロン
- 3. 1961 3月 : サイクロン
- 4. 1963 3月 : 熱帯性低気圧
- 5. 1978 12月 : 熱帯性低気圧
- 6. 1982 3月 : サイクロン「アイサック」

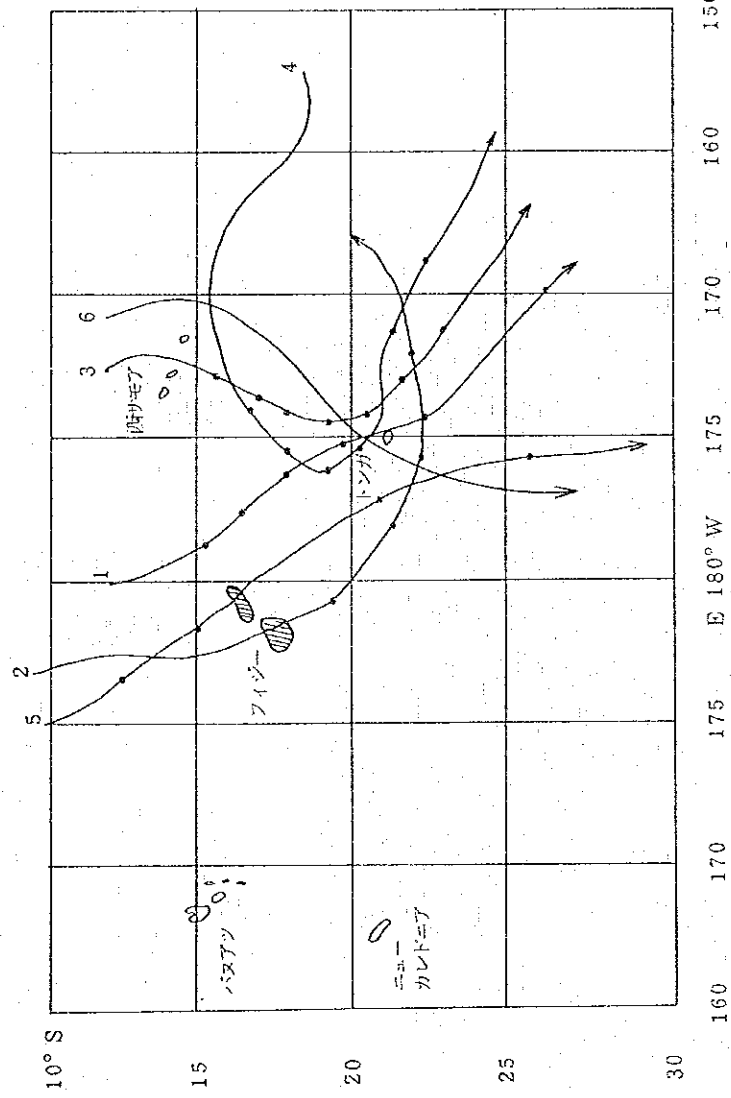


図 4-I サイクロン経路図

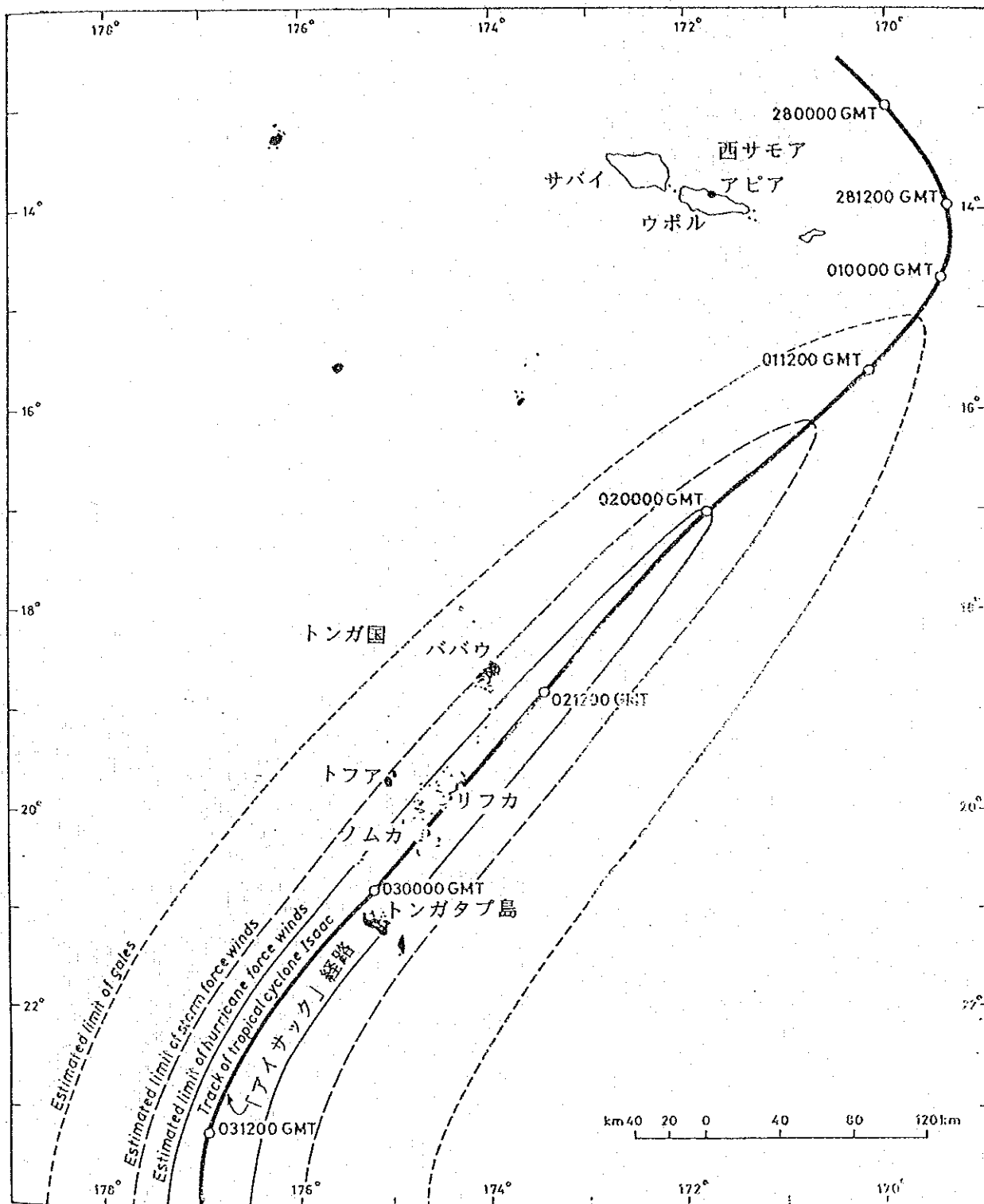


図 4-2 「アイサック」の経路と推定風速 (フィジー気象局による)

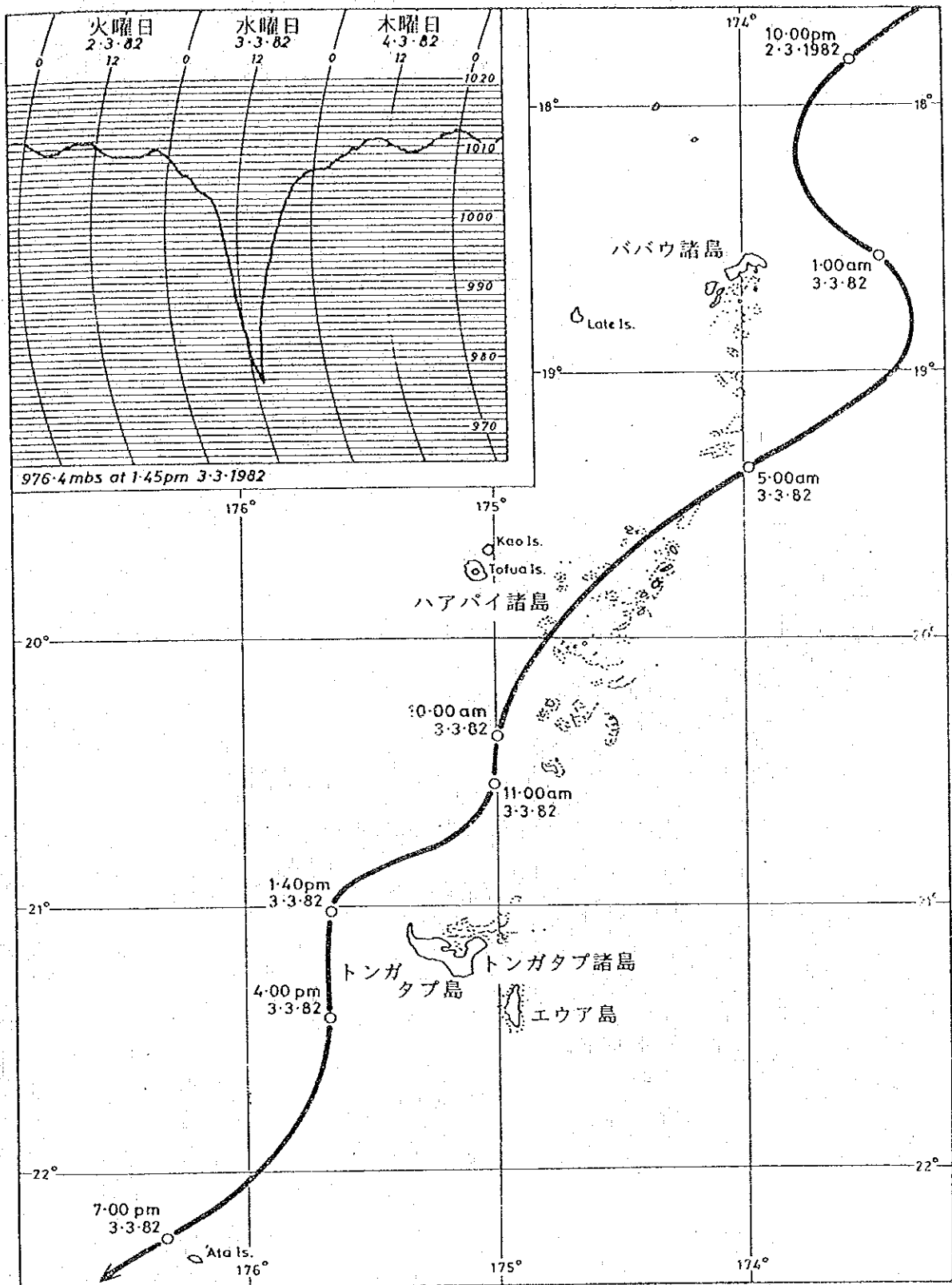


図 4-3 アイサックの詳細経路 (ヌクアロファ気象局による)

- - - - : 線風域
 ● - - - : サイクロンの経路

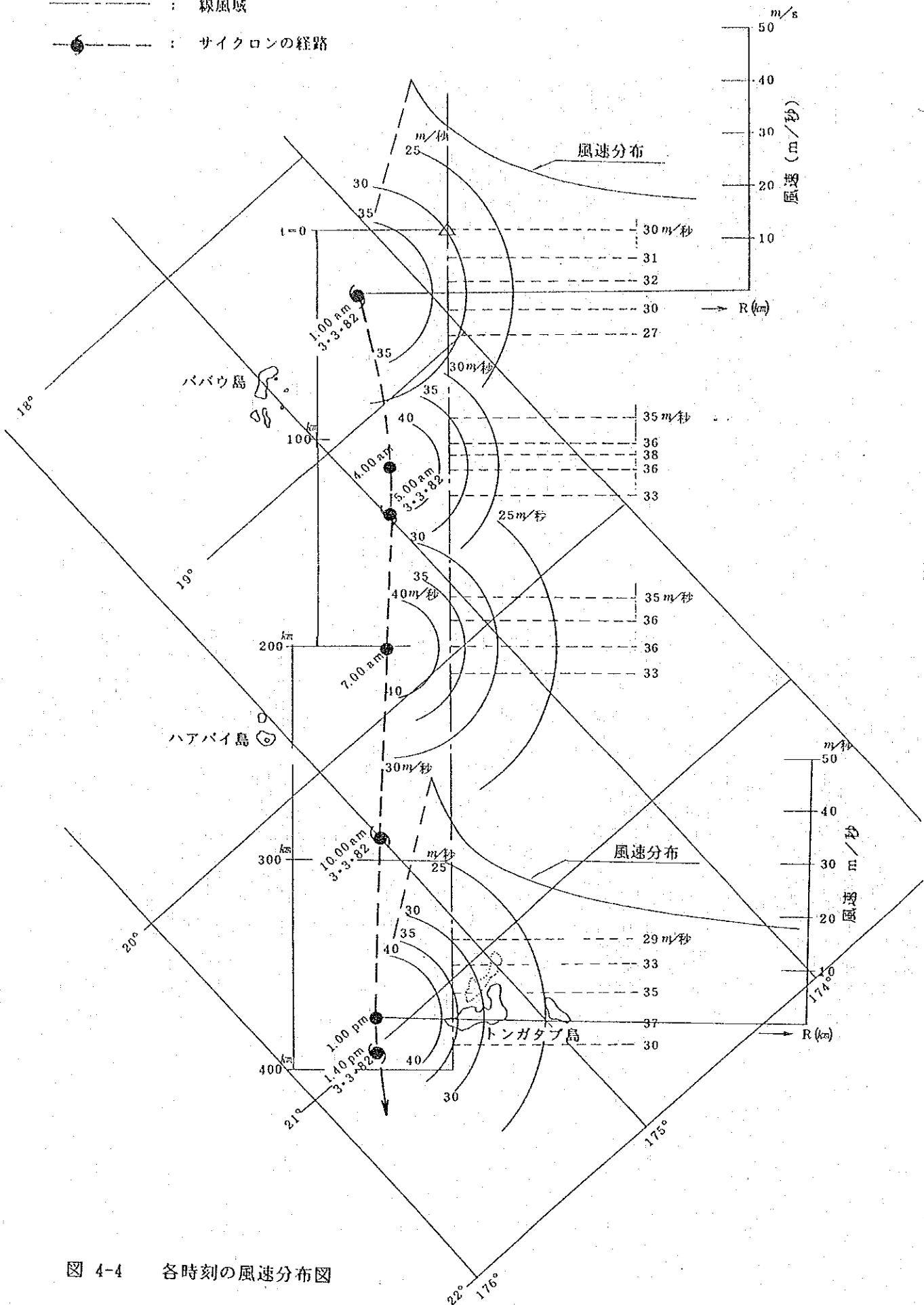


図 4-4 各時刻の風速分布図

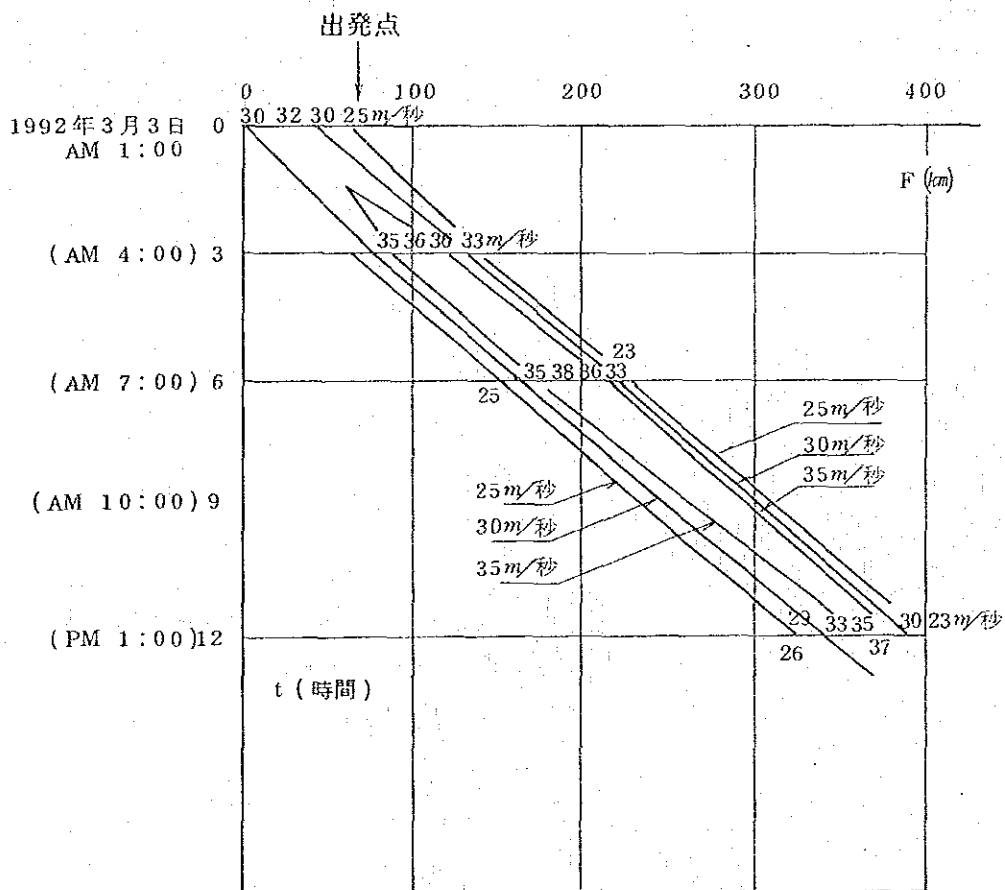


図 4-5 風速分布の時間変化

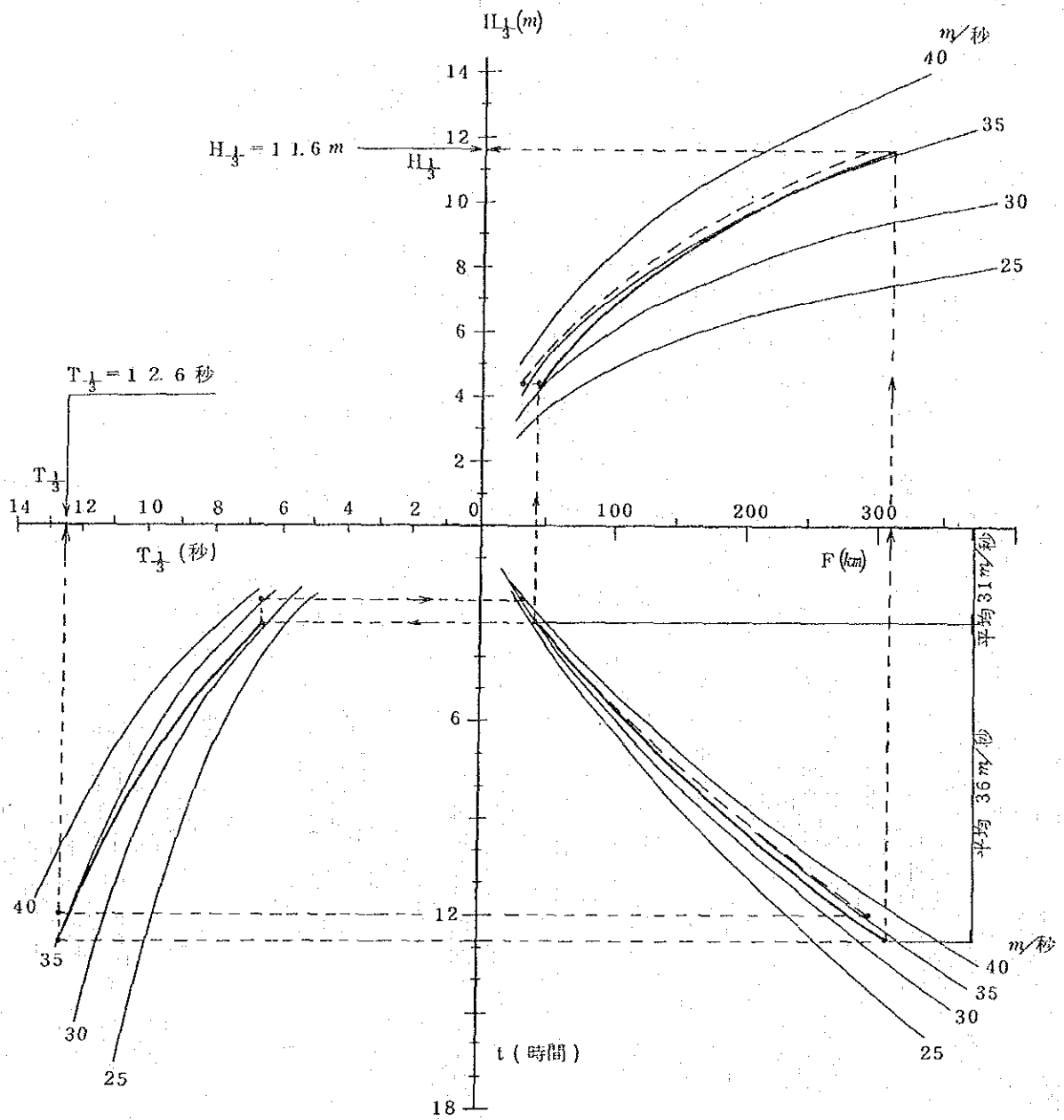


図 4-6 ウィルソンの発達曲線

11) 井島法による波高推算

この方法は、サイクロンの中心気圧、最強風帯の半径及び速度をパラメータとして中心付近の最大波高を求めるものである。

$P_0 - P_c$: サイクロンの外側の気圧と中心気圧の差 (ミリバール)

r_0 : 最強風帯の中心からの距離 (km)

$$A : (P_0 - P_c)^{3/4} r_0^{1/4}$$

V : サイクロンの移動速度 (m/秒)

H_{max} , T_{max} : 最大波高とその周期

H_{max} , T_{max} は A/V^2 の関数で、図表より求める。

$$P_0 - P_c = 1010 - 950 = 60 \text{ mb}$$

$$r_0 = 24 \text{ km}$$

$$V_{mean} = 8.0 \text{ m/秒}$$

$$A/V^2 = \frac{60^{3/4} 24^{1/4}}{V^2} = 0.746 \dots \dots (1)$$

(1) の値を図表に入れると、

$$\frac{H_{max}}{V^2} = 0.175, \quad \frac{T_{max}}{V} = 1.65$$

$$\therefore H_{max} = 11.2 \text{ m}, \quad T_{max} = 13.2 \text{ 秒}$$

これらはウィルソン法によるものとほぼ一致しているため、ウィルソン法による方法は妥当な値と考える。従って設計沖波高は $H_0 = 11.6 \text{ m}$, $T_{1/3} = 12.6 \text{ 秒}$ とする。

(4) ヌクアロファ海岸前面の波高

調査地域の代表地点 A, B 及び C 点 (図 4-9) における波高を算出する。

沖波が浅海に侵入すると海底の影響を受けるようになり、波は屈折して変形する。

図 4-10 には水深 -45m から干潟群 (リーフ) 前面までの屈折図 (波向北東 (NE), 周期 12 秒) を示す。

図 4-10 により、干潟群前面 (ハカウマオとマリナオアを結ぶ線) における屈折係数 K_r は次のようになる。

$$K_r = 0.77$$

この波は、干潟群の影響で直接調査地点には侵入しない。A, B, C 点に来襲する波は、下記 i) と ii) の合成波となる。

1) 干潟ハカウママオとマリナオアの間から入る回折波

回折係数KD は方向分散法により求めることができる (図 4-9)。

11) 干潟群を通過して各地点に侵入する波

設計高潮位における干潟群の水深は約 3 m であり、干潟群の幅は波向北東 (NE) の場合、平均すると約 3 km である。

沖波は干潟群を通過すると碎波する。この時の波高 $H_{1/3}$ は次のようになる。

リーフ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 (港湾技研資料 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。

$$H_{1/3} / H_0' = B \exp \left[-A \frac{x}{H_0'} \right] + \alpha \frac{h + \eta_{\infty}}{H_0'} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\eta + h}{H_0'} = \sqrt{C_0 - \frac{3}{8} \beta \left(\frac{H_{1/3}}{H_0'} \right)^2} \dots\dots\dots (2)$$

ここに $H_{1/3}$: リーフ上での波高 (m)

H_0' : リーフ先端における換算沖波波高 (m)

h : リーフ上の静水深 (m)

x : リーフ先端を 0 とするリーフの距離 (m)

η_{∞} : $x = \infty$ での平均水位の上昇量 (m)

η : リーフ上での水位の上昇量 (m)

A, α, β は常数で $A = 0.05, \alpha = 0.3, \beta = 0.56$

B, C_0 はそれぞれ次式により求まる。

$$B = \frac{H_{1/3} \ x=0}{H_0'} - \alpha \frac{h + \eta_{\infty}}{H_0'} \dots\dots\dots (3)$$

$$C_0 = \left(\frac{\eta \ x=0 + h}{H_0'} \right)^2 + \frac{3}{8} \beta \left(\frac{H_{1/3} \ x=0}{H_0'} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{\eta_{\infty} + h}{H_0'} = \sqrt{\frac{C_0}{1 + \frac{3}{8} \beta \alpha^2}} \dots\dots\dots (5)$$

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

$$H_0 = 11.6 \times 0.77 = 8.9 \text{ m}$$

$$L_0 = 1.56 \times 12.6^2 = 247.7 \text{ m}$$

リーフ先端より外側の海底勾配 $\theta = 1/10$

$$h / H_0' = 3.0 / 8.9 = 0.34$$

$$h/L_0 = 3.0 / 247.7 = 0.012$$

$$H_0' / L_0 = 8.9 / 247.7 = 0.036$$

図4-7, 図4-8により

$$H_{1/3}(x=0) / H_0' = 0.48$$

$$H_{1/3}(x=0) = 0.48 \times 8.9 \\ = 4.27 \text{ m}$$

$$\eta(x=0) / H_0' = 0.095$$

$$\eta(x=0) = 0.095 \times 8.9 \\ = 0.85 \text{ m}$$

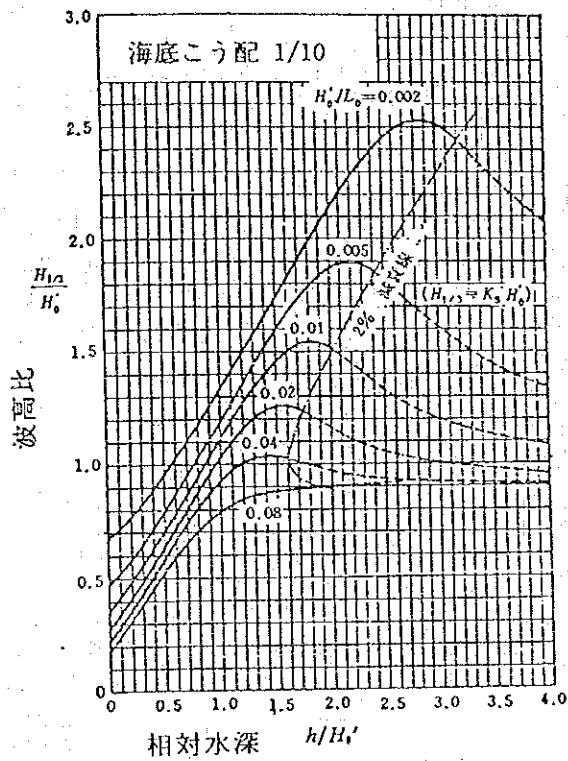


図 4-7 砕波帯内の波高の算定図

(海底勾配1/10)

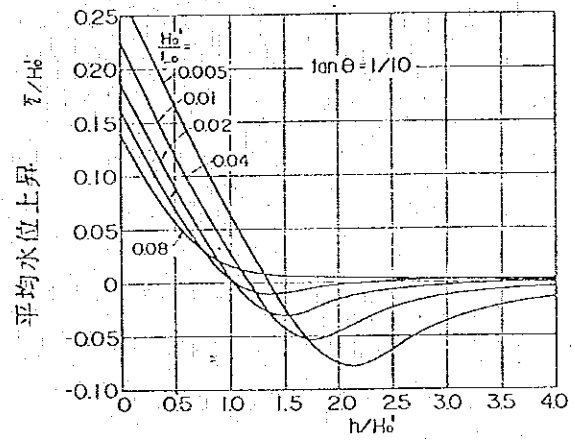


図 4-8 不規則波の浅水変形による平均水位の変化

(海底勾配1/10)

(4) 式より

$$C0 = (0.095 + 0.34)^2 + 3/8 \times 0.56 \times 0.48^2 \\ = 0.238$$

(5) 式より

$$\frac{\eta_{\infty} + h}{H0'} = \sqrt{\frac{0.238}{1 + 3/8 \times 0.56 \times 0.3^2}} \\ = 0.483$$

(3) 式より

$$B = 0.48 - 0.3 \times 0.483 \\ = 0.335$$

(1) 式より

$$H_{1/3} / H0' = 0.335 \exp(-0.05 \times 3,000 / 8.9) + 0.3 \times 0.483 \\ = 0.145 \\ H_{1/3} = 0.145 \times 8.9 \\ = 1.29 \text{ m}$$

(2) 式より

$$\eta / H0' = \sqrt{0.238 - 3/8 \times 0.56 \times 0.145^2} - 0.34 \\ = 0.143 \\ \eta = 0.143 \times 8.9 \\ = 1.27 \text{ m}$$

以上により各地点 (A, B 及び C 点) に到達する波は回折波と干潟群を通過して来た波エネルギーの合成波として求める。なお、KD は $S_{\max} = 10$ の方向関数を用い、方向分散法により求めた。

1. 干潟の間から侵入する回折波

$$\text{A点: } H_0 K_r KD = 11.6 \times 0.77 \times 0.60 = 5.36 \text{ m}$$

$$\text{B点: } H_0 K_r KD = 11.6 \times 0.77 \times 0.32 = 2.86 \text{ m}$$

$$\text{C点: } H_0 K_r KD = 11.6 \times 0.77 \times 0.14 = 1.25 \text{ m}$$

2. 干潟群を通過する波

干潟群を通過する波の回折係数 KD は

$$\text{A点: } +2^\circ \sim +48^\circ, KD = 0.63$$

$$\text{B点: } -34^\circ \sim +33^\circ, KD = 0.81$$

$$\text{C点: } -52^\circ \sim +29^\circ, KD = 0.85$$

したがって各点における波高は1及び2のエネルギーを合成したものになる。

$$\begin{aligned} \text{A点: } H_{1/3} &= \sqrt{5.36^2 + (1.29 \times 0.63)^2} \\ &\doteq 5.4\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B点: } H_{1/3} &= \sqrt{2.86^2 + (1.29 \times 0.81)^2} \\ &\doteq 3.0\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C点: } H_{1/3} &= \sqrt{1.25^2 + (1.29 \times 0.85)^2} \\ &\doteq 1.7\text{m} \end{aligned}$$

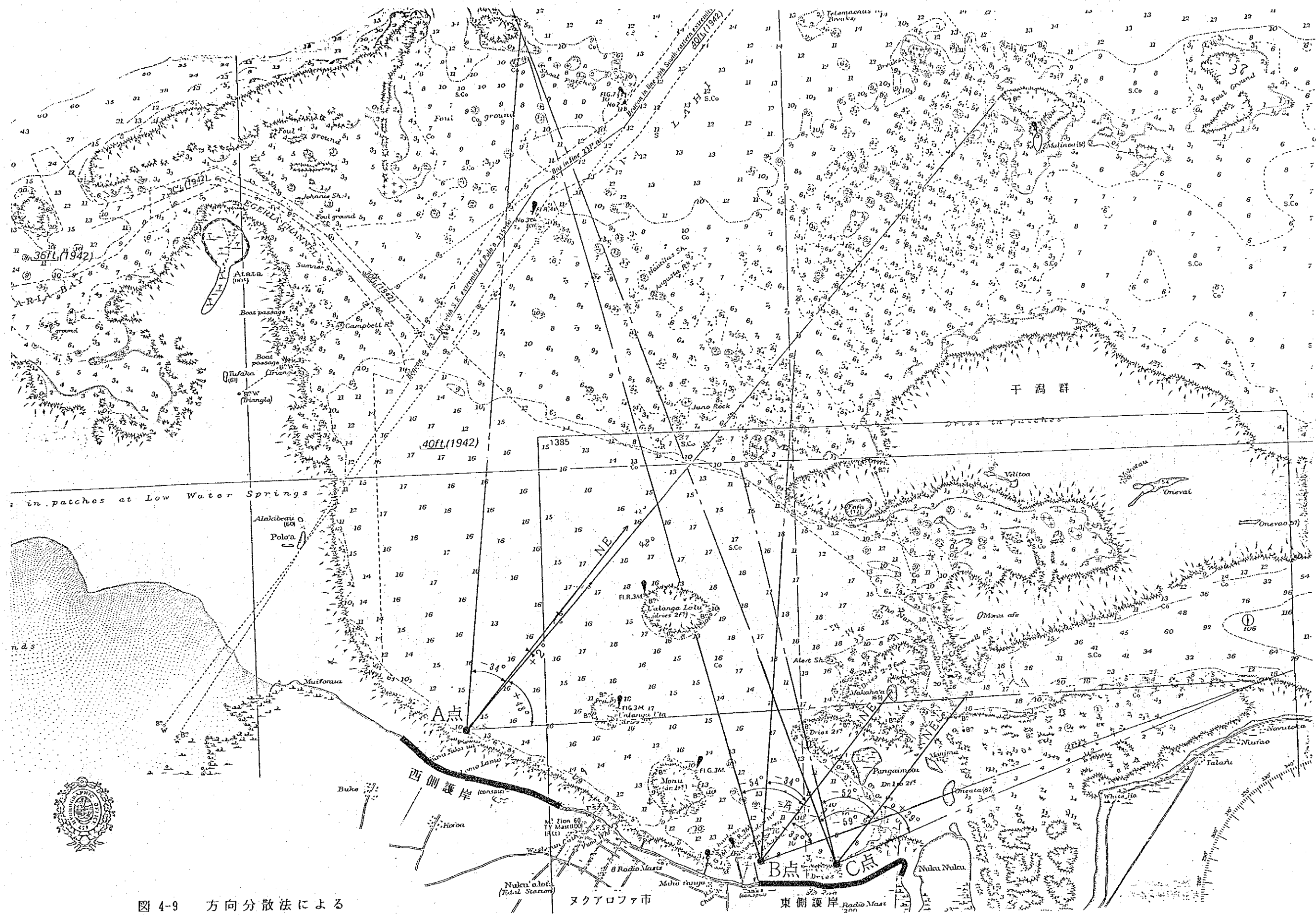


图 4-9 方向分散法による
波高推算点

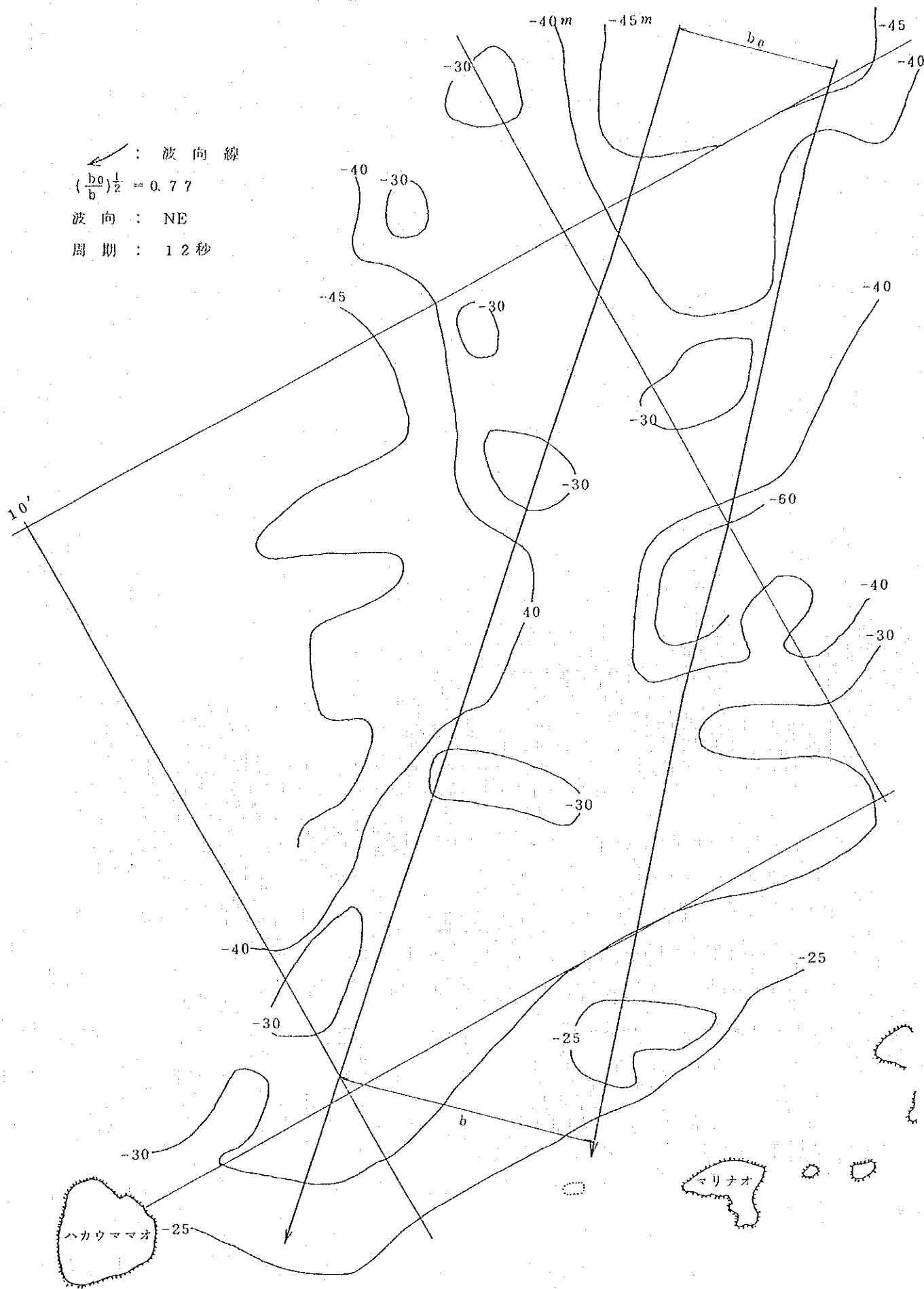


図 4-10 屈折図

4.2.2 設 計 潮 位

護岸の工事基準面および設計潮位の決定のため潮位観測を実施した。

潮位観測実施内容を以下に示す。

観測期間：11月3日～11月18日（15昼夜）

観測位置：図4-11に示されるクイーンサロテ港内のヨット接岸棧橋

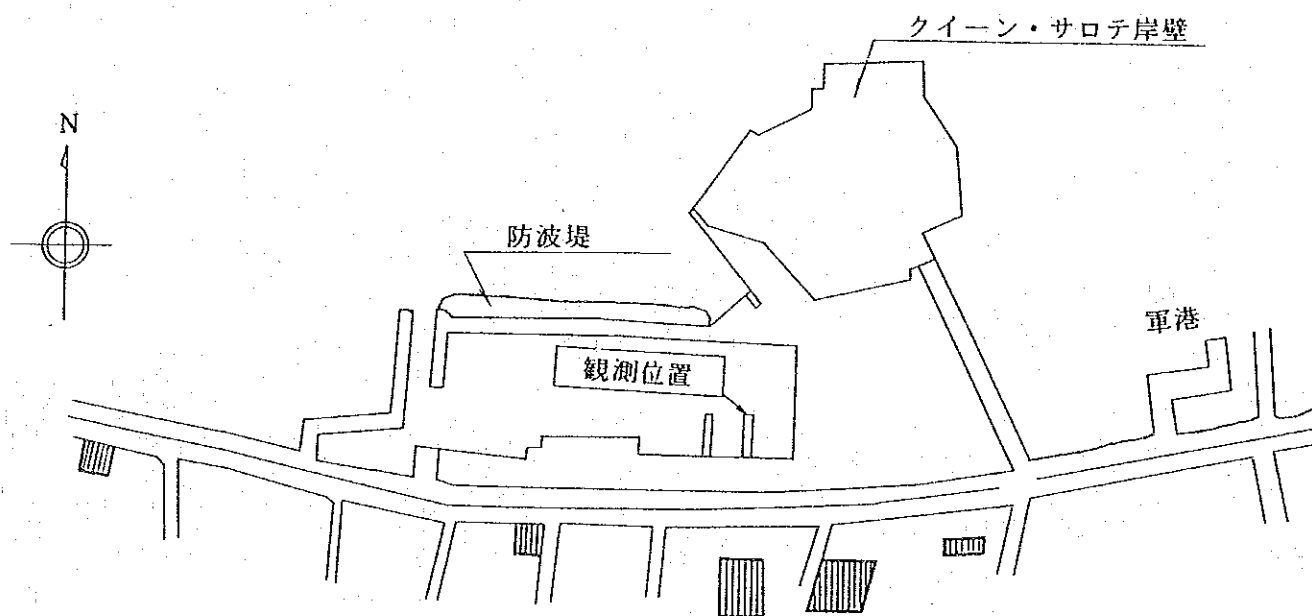


図 4-11 潮位観測位置図

(1) 潮位変動

観測期間中の潮位差は 1.50 mであった。

主な潮位を以下に示す。

最高潮位 (H.W.L.) : + 1.42 m

平均潮位 (M.S.L.) : + 0.71 m

最低潮位 (L.W.L.) : - 0.08 m

上記標高はロイヤルパレス内にあるプリンスウェリントンメモリアル (+ 2.99 m) を基準面とした値である。

(2) 調和解析

上記観測結果に対し、調和解析を実施した。

解析結果からヌクアロファ海岸の主要潮位成分 (M2, S2, K1, O1)を求めた。

各潮位成分を表 4-1に示す。

表 4-1 主要潮位成分

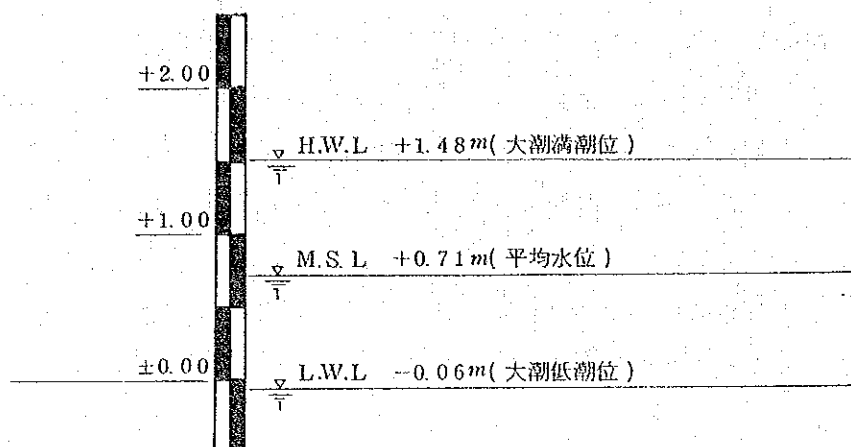
定数	振幅 (m)	周期 (hr)	定数	振幅 (m)	周期 (hr)
M2	0.528	12.421	K1	0.096	23.935
S2	0.097	12.000	O1	0.046	25.819

上表より、 $Z_0 = M2 + S2 + O1 + K1 = 0.77$ として、MSL (+ 0.71) $\pm Z_0$ を求めると、HWL = + 1.48 m, LWL = - 0.06 mとなり、ほぼ観測記録と整合するとともに当地域の潮位変動は、M2 (主太陰半日周潮), S2 (主太陽半日周潮) 及びK1 (日月合成日周潮) の混合したタイプであることがわかる。

現地で収集した潮位表による主要潮位成分は、M2 = 0.52, S2 = 0.06, K1 = 0.08, O1 = 0.05, Z0 = 0.75 である。この値は観測記録と良く整合している。

(3) 基準潮位の決定

現地観測結果、調和解析及び潮位表による比較検討の結果、数cmの差が認められる。当海岸には潮位記録がないことを考慮して基準潮位は観測記録をもとに以下の如く設定する。



(4) 設計高潮位

海岸保全施設における設計高潮位は、

- ① 既往の最高潮位
- ② 朔望平均満潮面 + 既往の最大潮位偏差

のいずれかの方法による。しかしながら、当海岸には既往の最高潮位の観測記録がない。従って、②の方法で推定するものとする。概略の朔望平均満潮面 (H.W.L) は次式で与えられる。

$$H.W.L. = M2 + S2 + K1 + O1$$

当海岸の主要四分潮は調和解析結果より

$$Z0 = M2 + S2 + K1 + O1 = 0.77 \text{ m であるので}$$

$$H.W.L. = 0.71 + 0.77$$

$$= + 1.48 \text{ m}$$

$$\approx + 1.50 \text{ m となる。}$$

1982年3月3日トンガ国を襲ったアイサックの異常高潮の痕跡調査によれば、当海岸全域約8kmにわたりその高さは+2.50 ~ +2.60 mである。一方、後述の設計波来襲時の水位上昇は、西側海岸で約0.9mである。H.W.L.+水位上昇は1.50 + 0.9 = 2.40 mとなり、痕跡調査結果より約20cm低い。従って、潮位偏差は20cm程度と推定される。

また、気圧の低下による静的海面上昇を検討するため、風波の影響のないトンガタブ島の西側および南側の海岸で現地踏査を行なった結果、西側のコロバイビーチにてアイサック来襲時には顕著な水位上昇がなかったことが判明した。

潮位表によれば、3月3日の干潮は7時と20時、満潮は1時と13時30分であり、13時30分の潮位は+ 1.45 mである。現地報告によれば、越波は10時頃より開始し16時頃終了している。これは満潮位が13時30分であったことと一致している。

以上の検討結果より設計高潮位は潮位偏差を20cmとしてH.H.W.L = 1.50 + 0.2 = + 1.70 mとする。

4.2.3 許容越波流量

許容越波流量をどの程度にするかは、護岸構造、高波の継続時間、背後地の利用状況、背後の排水能力など各種の要因を考慮する必要がある。

合田は台風による海岸堤防、護岸の被災例について、被災当時の越波流量を推定し越波による施設の被災限界値を表 4-2のように示している。また、運輸省では、背後施設の重要度を基準にした事業実施上の目安として表 4-3の値を示している。

表 4-2 越波による被災限界の越波流量

種 別	被 覆 工	越波流量 (m ³ /m・秒)
堤 防	天端、裏法面とも被覆工なし	0.005以下
	天端被覆工あり、裏法面被覆工なし	0.02
	三面巻き構造	0.05
護 岸	天端被覆工なし	0.05
	天端被覆工あり	0.2

合田良實：港湾構造物の耐波設計：鹿島出版会

表 4-3 越波流量決定の目安

要 件	期待越波流量 g (m ³ /m・秒)
背後に人家、公共施設等が密集しており、特に越波、しぶき等の侵入により重大な被害が予想される地区	0.01 程度
その他の重要な地区	0.02 程度
その他の地区	0.02 ~ 0.06

永井康平：海岸保全施設築造上の技術的留意点について

(社) 日本港湾協会：港湾行政(技術)研究会資料

当海岸は東西総延長約 8 km にわたっており、その中心部約 3 km の地域には政治、経済、商業等の重要な施設が集中している。また、その両側約 2.5 km は現在住宅地に利用されており、将来はホテル、レジャー施設等の利用計画がある。

以上を踏まえ、中心部約 3 km の地域は越波、しぶき等の侵入により重大な被害が予想される地区、或いはその他の重要な地区に相当し、その両側 2.5 km はその他の地区に相当すると考えられ、許容越波流量は $0.02 \sim 0.06 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{秒}$ である。一方、護岸自体の構造上の許容越波流量は、天端被覆工はないので、 $0.05 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{秒}$ である。従って、当設計区間の両側 2.5 km の許容越波流量は $0.05 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{秒}$ とする。

4.3 基本計画

4.3.1 リーフ内の波高及び水位上昇量の算定

波高及び水位上昇量は図 4-12 に示す A、B、C 及び D の 4 区間について行なう。

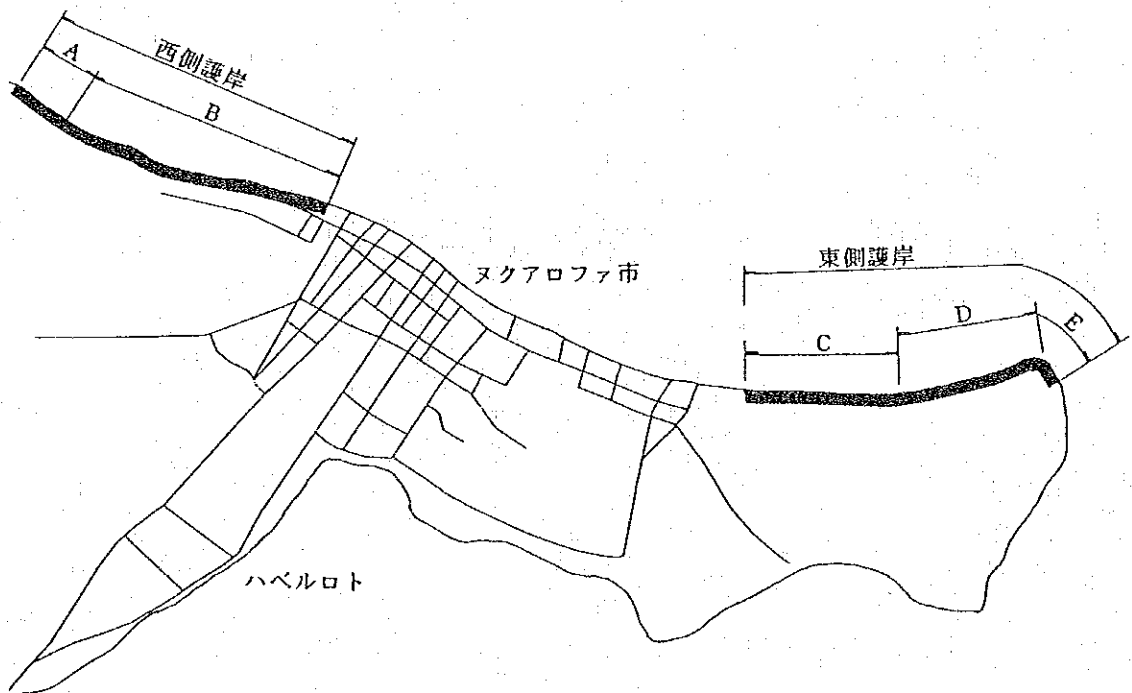


図 4-12 設計区間分割図

各区間におけるリーフ長さ及びリーフの高さを表4-4に示す。

区 間	リーフ長さ (m)	リーフ高さ (m)
A	500	+ 0.4
B	400	+ 0.2
C	300	- 0.2
D	300	- 0.4

表 4-4 リーフ諸元

(1) A区間

$$H0' = 5.4\text{m}$$

$$L0 = 1.56 T^2 = 1.56 \times 12.6^2 = 247.7\text{m}$$

リーフ先端より外側の海底勾配 $\theta = 1/10$

$$h/H0' = (1.70 - 0.4) / 5.4 = 0.241$$

$$h/L0 = (1.70 - 0.4) / 247.7 = 0.005$$

$$H0'/L0 = 5.4 / 247.7 = 0.022$$

図4-13, 図4-14により

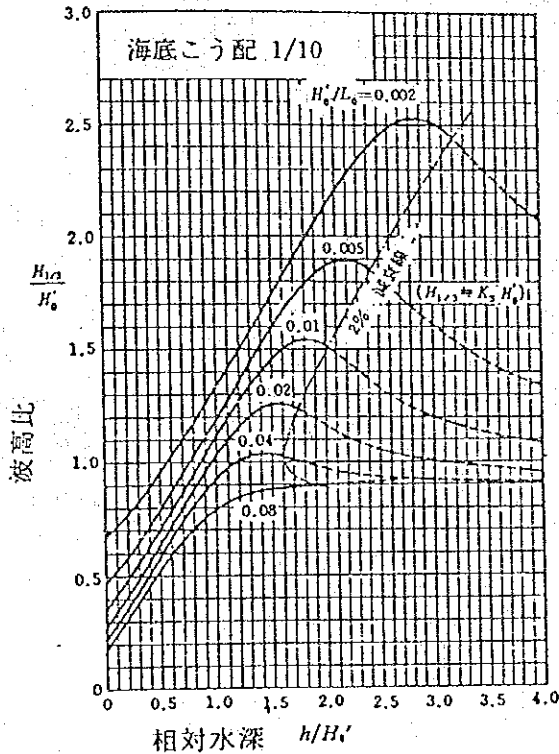


図 4-13 碎波帯内の波高の算定図
(海底勾配1/10)

$$H1/3(X=0)/H0' = 0.41$$

$$\eta(X=0)/H0' = 0.13$$

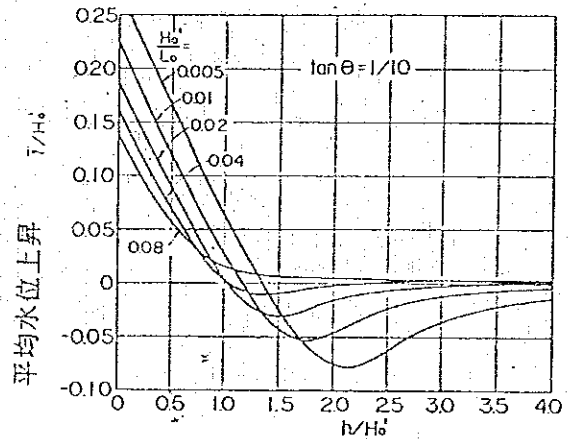


図 4-14 不規則波の浅水変形による
平均水位の変化
(海底勾配1/10)

(4) 式より

$$C_0 = (0.13 + 0.241)^2 + 3/8 \times 0.56 \times 0.41^2$$

$$= 0.173$$

(5) 式より

$$\frac{\eta_{\infty+h}}{H_0'} = \sqrt{\frac{0.173}{1 + 3/8 \times 0.56 \times 0.454^2}}$$

$$= 0.407$$

(3) 式より

$$B = 0.41 - 0.454 \times 0.407$$

$$= 0.225$$

(1) 式より

$$H_{1/3} / H_0' = 0.225 \exp(-0.05 \times 500 / 5.4) + 0.454 \times 0.407$$

$$= 0.187$$

$$\text{リーフ上の波高 } H_{1/3} = 0.187 \times 5.4$$

$$= 1.01 \text{ m}$$

(2) 式より

$$\eta / H_0' = \sqrt{0.173 - 3/8 \times 0.56 \times 0.187^2} - 0.241$$

$$= 0.166$$

$$\text{リーフ上の水位上昇量 } \eta = 0.166 \times 5.4$$

$$= 0.90 \text{ m}$$

となる。

以下同様に B, C, D 区間について計算した結果を表 4-5 に示す。

表 4-5 リーフ上の波高及び水位上昇量

諸元 区間	H ₀ ' (m)	T ₀ (秒)	リーフ長 (m)	リーフ高 (m)	$\frac{H_{1/3}(X=0)}{H_0'}$	$\frac{\eta(X=0)}{H_0'}$	H _{1/3} (m)	η (m)
A	5.4	12.6	500	+ 0.4	0.41	0.13	1.01	0.90
B	5.4	12.6	400	+ 0.2	0.42	0.125	1.10	0.86
C	3.0	12.6	300	- 0.2	0.77	0.085	1.08	0.45
D	1.7	12.6	300	- 0.4	1.35	0.005	1.05	0.21

4.3.2 越波流量の検討

越波流量の算定は「海岸保全施設築造基準解説」（海岸保全施設築造基準連絡協議会）の推定図表を利用して推定する。

(1) A区間

$$H1/3 = 1.01 \text{ m}$$

$$T0 = 12.6 \text{ sec}$$

$$\text{水位上昇量 } \eta = 0.90 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{水深 } h &= \text{H.H.W.L.} - \text{GL} + \eta \\ &= 1.7 - 0.4 + 0.90 \\ &= 2.20 \text{ m} \end{aligned}$$

水深 2.20 mにおける波長は $L = 57.96 \text{ m}$ である。

$$\begin{aligned} H1/3 / L &= 1.01 / 57.96 \\ &= 0.017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h / H1/3 &= 2.20 / 1.01 \\ &= 2.18 \end{aligned}$$

$$q / \sqrt{2gH1/3}^3 = 0.0111$$

図4-15により

$$hc / H1/3 = 0.35$$

$$\begin{aligned} hc &= 0.35 \times 1.01 \\ &= 0.35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{護岸天端高} &= 1.70 + 0.90 + 0.35 \\ &= + 2.95 \text{ m} \end{aligned}$$

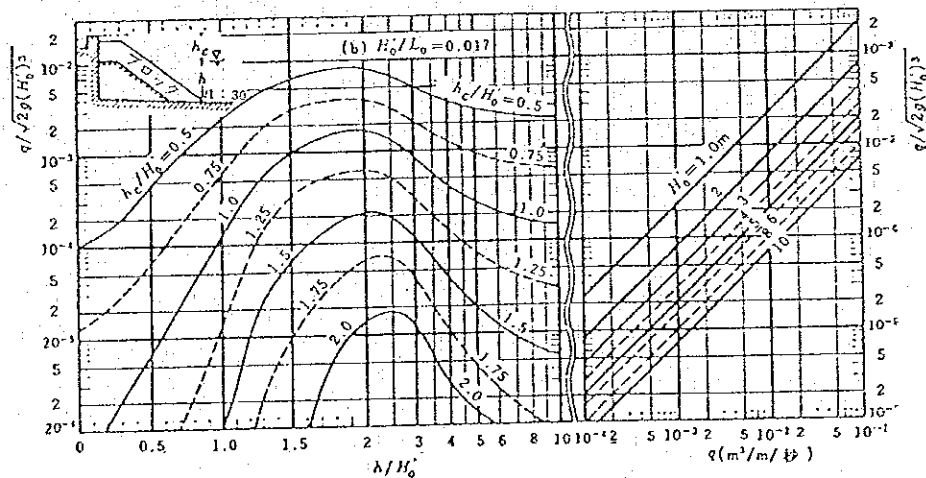


図4-15 越波量推定図

以下同様に B, C, D 区間について計算した結果を表 4-6 に示す。

表 4-6 護岸天端高

諸元 区間	$H^{1/3}$ (m)	n (m)	h (m)	L (m)	$\frac{h}{H^{1/3}}$	$q / \sqrt{2gH^3}$	$\frac{hc}{H^{1/3}}$	hc	護岸 天端高
A	1.01	0.90	2.20	57.96	2.18	0.011	0.35	0.35	+2.95
B	1.10	0.86	2.36	59.99	2.15	0.010	0.40	0.44	+3.00
C	1.08	0.45	2.35	59.87	2.18	0.010	0.40	0.43	+2.58
D	1.05	0.21	2.31	59.36	2.20	0.0105	0.37	0.39	+2.30

4.3.3 所要捨石重量の算定

所要捨石重量はバドソン式を用いて算定する。

$$W = \frac{\gamma_r \times HD^3}{KD (\gamma_r / \omega_0 - 1)^3 \cot \alpha}$$

W : のり面における表面捨石の重量 (t)

γ_r : 捨石の空中単位体積重量 (t/m³)

ω_0 : 海水の単位体積重量 (t/m³)

α : 斜面が水平面となす角 (度)

KD : 捨石の種類によって決まる係数

HD : 斜面の法先における進行波の波高 (m)

KD は表 4-7により 2.8とする。

表 4-7 KD 値

区 分	層 数	KD の 値
丸みのある石	2 層 以 下	2.1 ~ 2.6
	3 層 以 上	2.5 ~ 3.2
角 ば っ た 石	2 層 以 下	2.8 ~ 3.5
	3 層 以 上	3.1 ~ 4.3

(1) A 区間

$$W = \frac{1.8 \times 1.01^3}{2.8 \times (1.8/1.03 - 1)^3 \times 2.0} = 0.8 \text{ t}$$

同様に B、C、D 区間は、1.0 t、1.0 t、0.9 t となる。

所要重量は前述のとおりであるがコーラル石の偏平さと耐久性を考慮して全区間にわたり 1.2 t 石を使用するものとする。

4.3.4 天端高の決定

天端高は次の式によって求められる。

$$\text{天端高} = \text{設計高潮位} + \text{設計波に対する必要高} + \text{余裕高}$$

設計高潮位 + 設計波に対する必要高については前節までに検討した。余裕高は堤体が将来沈下すると予想される場合にその予測量を加える。また若干の不確実性を考慮して概括的に余裕高を考慮する。本調査において既設護岸（修復済）の断面測量を実施した。その結果堤体の断面形は設計断面より0～10cm程度低いことが判明した。既設護岸は施工終了時より約3年経過している。この断面変形は施工精度と測量精度を考慮すると無視できる程度に小さい。

従って調査、設計、施工等の概括的不確実性を考慮して最大30cm程度の余裕高を見込むものとする。

	西側海岸		東側海岸	
最終	A	B	C	D
天端高 (m)	+ 3.00	+ 3.30	+ 2.80	+ 2.30

4.3.5 天端幅

天端幅は、堤体が波力に対抗し越波による天端水平面の越流に対抗する広さが必要であるから少くとも捨石3ヶ分以上の幅は必要であるので2.5mとする。

4.3.6 養浜材料

(1) 養浜材料の選定

養浜材料は、海浜の安定性、周辺環境に及ぼす影響を考慮して決定しなければならない。海浜の安定の面からは一般に粗い方が良い。一方海浜利用及び浄化機能の面からは泥質でない程度に細い方が良い。当海岸においては、安定している日本の12海岸の事例をもとに図4-16により決定する。前浜勾配1/10、 $H_o / L_o = 0.004$ より安全側にて、

$$d_{50} / H_o = 10^{-3}$$

$$d_{50} = 10^{-3} \times 1.0\text{m}$$

$$= 1\text{mm} \text{ となる。}$$

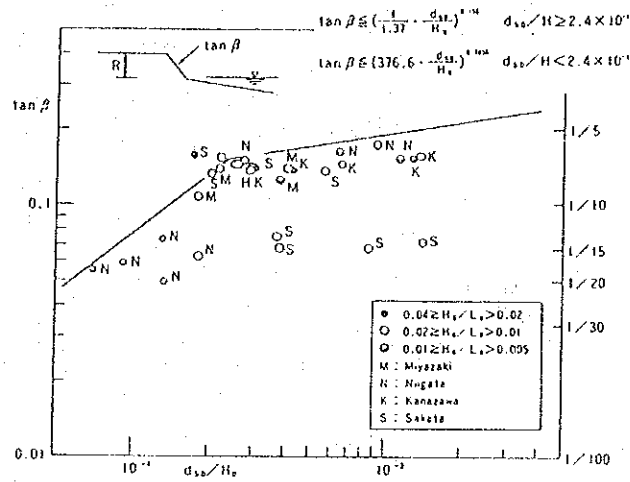


図 4-16 前浜勾配と d_{50}/H_o の関係

また「海岸保全施設築造基準解説」（海岸保全施設築造基準連絡協議会）によれば、海岸の侵食および推積現象は C をパラメーターとして次式によって表わされている。

$$H_o / L_o = C (\tan \beta)^{-0.27} (d / L_o)^{0.67}$$

ここに C の値が 18 以上なら汀線後退、それ以下なら汀線前進となる。（図 4-17）

i) 台風来襲時（アイサック対象）

$$\begin{aligned} C &= (H_o / L_o) (\tan \beta)^{0.27} (D / L_o)^{-0.67} \\ &= 1.0 / 247.7 \times (1/10)^{0.27} \times (10^{-3} / 247.7)^{-0.67} \\ &= 8.9 < 18 \end{aligned}$$

ii) 常時の波

$$\begin{aligned} C &= 0.5 / 25 \times (1/10)^{0.27} \times (10^{-3} / 25)^{-0.67} \\ &= 9.5 < 18 \end{aligned}$$

となりどちらの場合も汀線前進となり養浜は安定すると推定される。

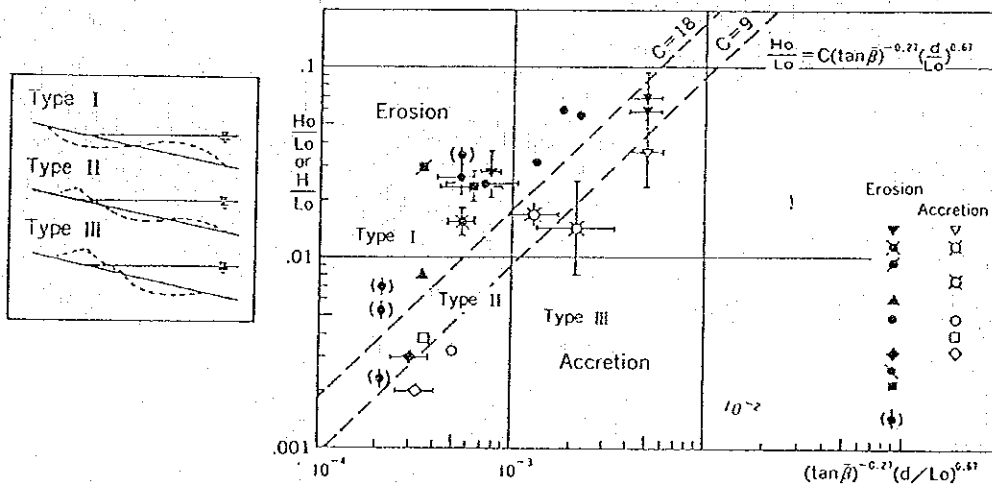


図 4-17 現地資料による汀線の前進・後退

(2) 底質調査結果

海況と底質特性の関連を調査対象海岸全域にわたり把握するため図 4-18 に示す位置において底質調査を行ない、粒度分布及び土粒子の比重試験を実施した。調査結果によれば西側護岸から東側護岸に向うにつれ粒子は小さくなっている。これは波浪状況が西側が大きく東側が小さいことと良く一致する。また d_{50} は約 $1.0\text{mm} \sim 0.6\text{mm}$ 程度であり土粒子の比重は平均 2.8程度である。

以上の結果により養浜材料は安定性を考慮して 1mm 以上とする。

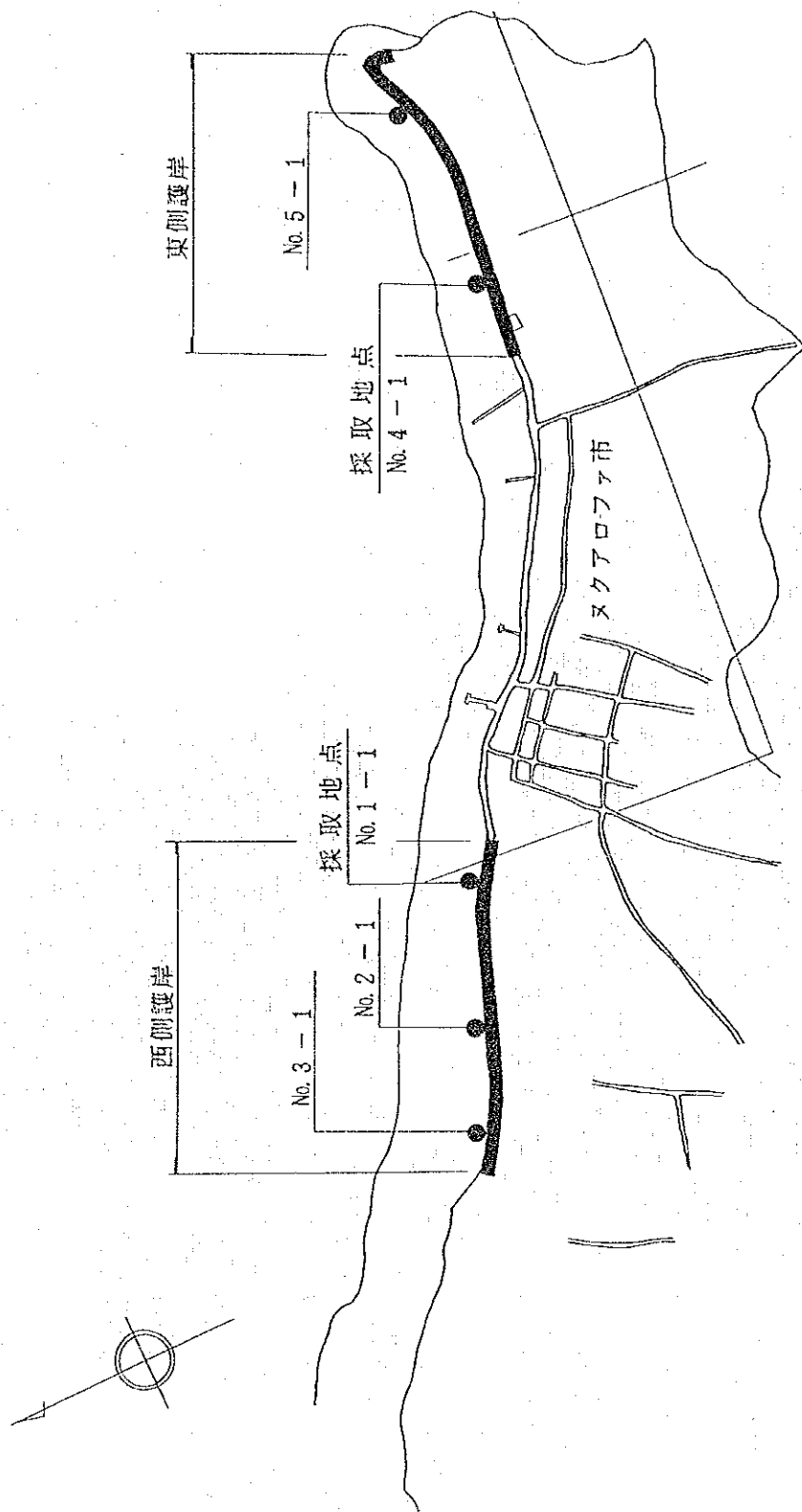
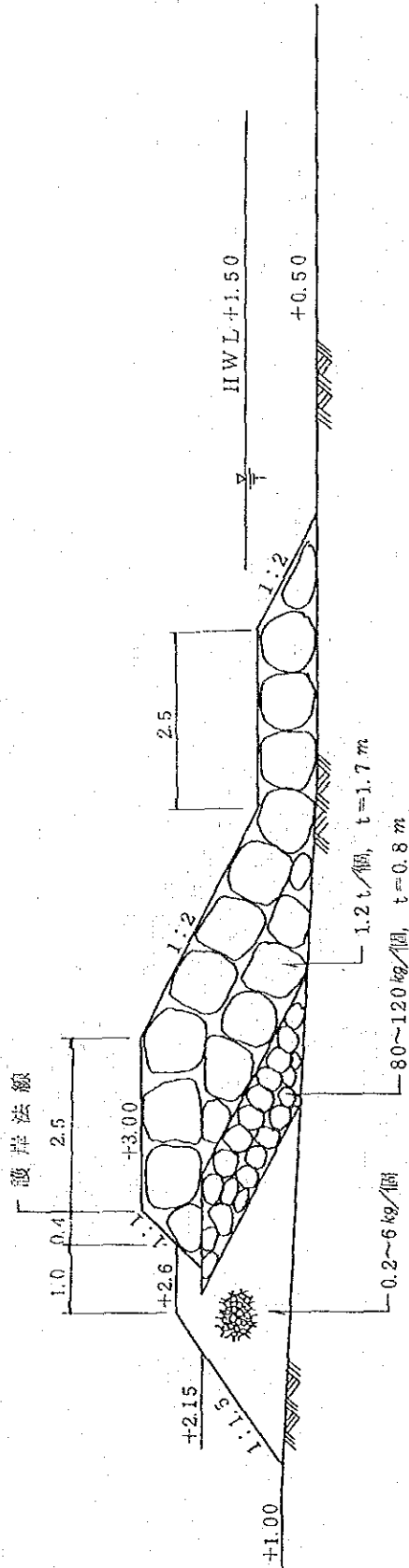


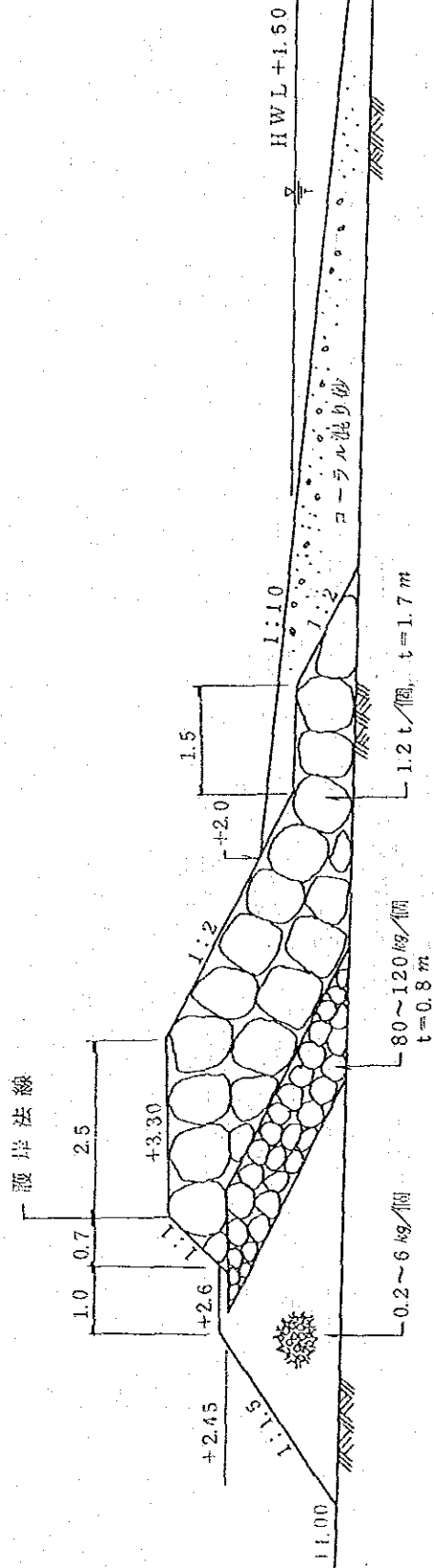
図 4-18 底質調査地点

4.3.7 各区間の断面

(位置図は図 4-12 参照)

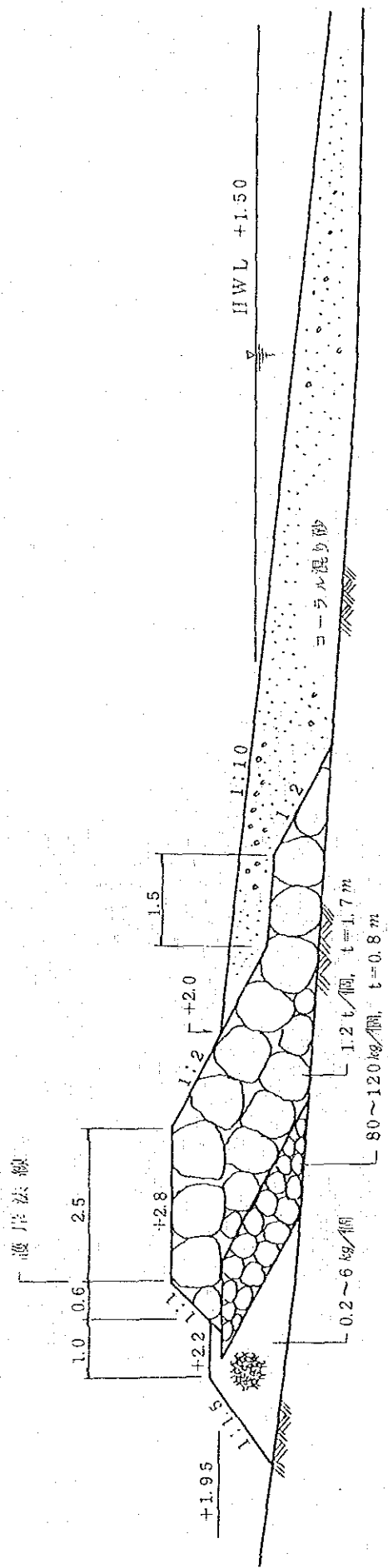


A 区間の断面 S = 1 : 100

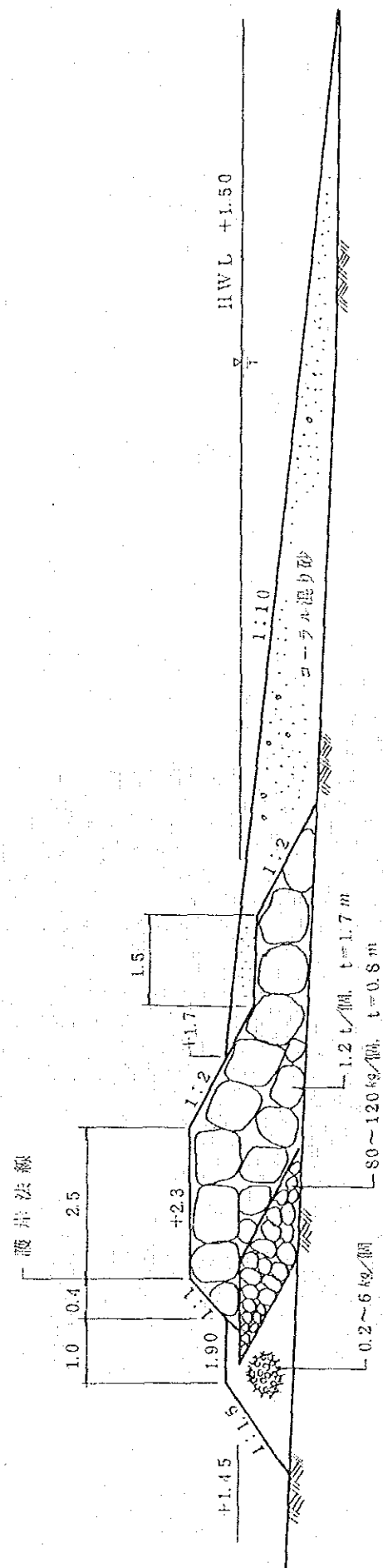


B 区間の断面 S = 1 : 100

図 4-19 各区間の断面

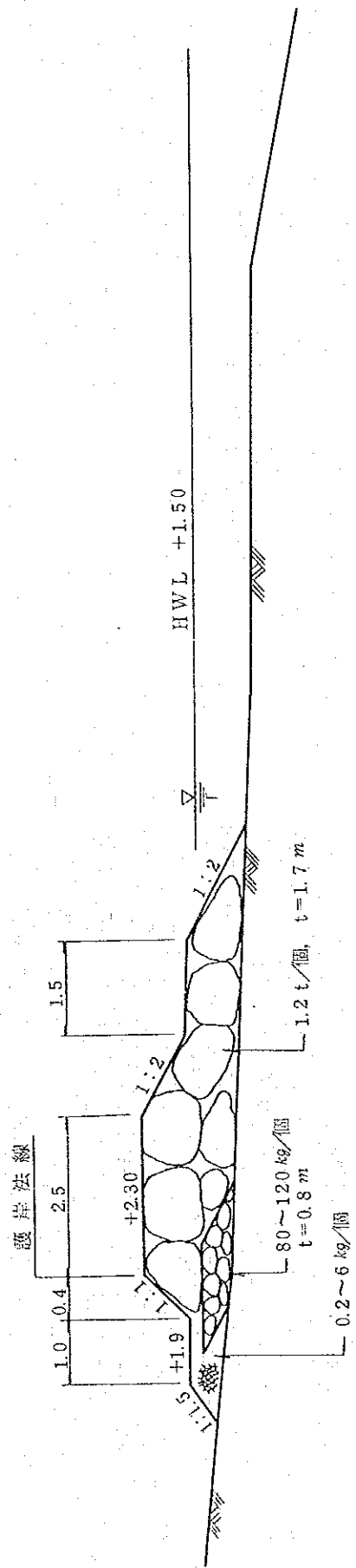


C 区間の断面 S = 1 : 100



D 区間の断面 S = 1 : 100

図 4-19 各区間の断面



E 区間の断面 S=1:100

図4-19 各区間の断面

4. 4 施工計画

4.4.1 施工方針

(1) 施工期間

一般に工期を短縮するためには建設資材・機材の大量投入が必要である。当護岸の建設工事においては護岸石材数量が膨大であるため単年度内に施工すると投入機械（クレーン、ブルドーザ、ダンプトラック等）台数が増加し経済的ではない。またダンプトラックの台数増加により交通渋滞、沿道住民への震動、騒音、粉塵が問題となる。単年度施工（Case 1）と二期分け施工（Case 2）の経済比較結果を表 4-8に示す。ここに二期分け施工の場合は重要度を考慮して初年度西側護岸、次年度東側護岸を施工するものとする。

表 4-8 施工期間比較表

	Case 1 (単年度)	Case 2 (二期分け)
採石場	3ヶ所 ドリル2台、ローダ3台、ブル3台	2ヶ所 ドリル1台、ローダ2台、ブル2台
運搬	ダンプトラック 24台	ダンプトラック 17台
据付	クレーン 4台 ブル 2台	クレーン 3台 ブル 1台
工事費率	1.14 (Case 2を1.0として)	1.0
判定	△	◎

比較結果より、経済性と地域環境への影響を考慮して全体を2期に分割して実施するものとする。

(2) 採石場

調査団は現地において、5箇所の採石場を調査した結果、埋蔵量、運搬距離、岩質、採取工法等の点において、No.6「FUALU」及びNo.8「FARM」が最適であるのでこれらを利用するものとする。

1) 当計画での用途別使用量の概算は

	〈第一期工事〉	+	〈第二期工事〉	=	〈合計〉
被覆石及び捨石	35,000		30,000		65,000m ²
養浜土	18,000		37,000		55,000m ²
計	53,000		67,000		120,000m ²

ii) 既設採石場 No6「FUALU」及び No8「FARM」について（図 4-20 参照）

一 No6「FUALU」は工事予定地の西側海岸より約12km、東側海岸より約14kmの位置にある。採石場面積5haの広さをもち細粒土の骨材、土砂を生産している。公共事業省担当者及び現地調査結果から養浜材料の採石場に適している。

一 No8「FARM」は前記 No6とは反対方向の東側にあり距離は西側海岸より約17km、東側海岸より約19kmの位置で、トンガタブ空港方面へ向う幹線道路より、未舗装の道路を約3.0km南側に入った所にある。

採石場面積は全体で約1.6haの広さをもち、現在土質的に硬質の土砂を採取している。

埋蔵量と掘削状況より判断して被覆石及び捨石の採石場に適している。

iii) 採石場を養浜土は No6「FUALU」、被覆石及び捨石は No8「FARM」との2箇所した場合の長所・短所は以下のとおりである。

- 長所
1. 養浜土砂の運搬距離が短くなる。
 2. 養浜土砂の掘削をリッパのみで行なえる。
 3. 発破の作業効率に関係なく養浜土砂の掘削が行なえる。
 4. 車輛（ダンプトラック）の一箇所への集中による交通渋滞や沿道住民及び作物等への粉塵、震動、騒音などの影響を軽減できる。
 5. 車輛及び重機械の分散により材料のストックヤードの確保が容易になる。
 6. 経済的である。
- 短所
1. 現場管理箇所が2ヶ所となる。
 2. No6採石場～No8採石場間の重機械の回送が発生する。

よって、No.6「FUALU」からは養浜土砂を、又 No8「FARM」からは被覆石及び捨石を採取する。

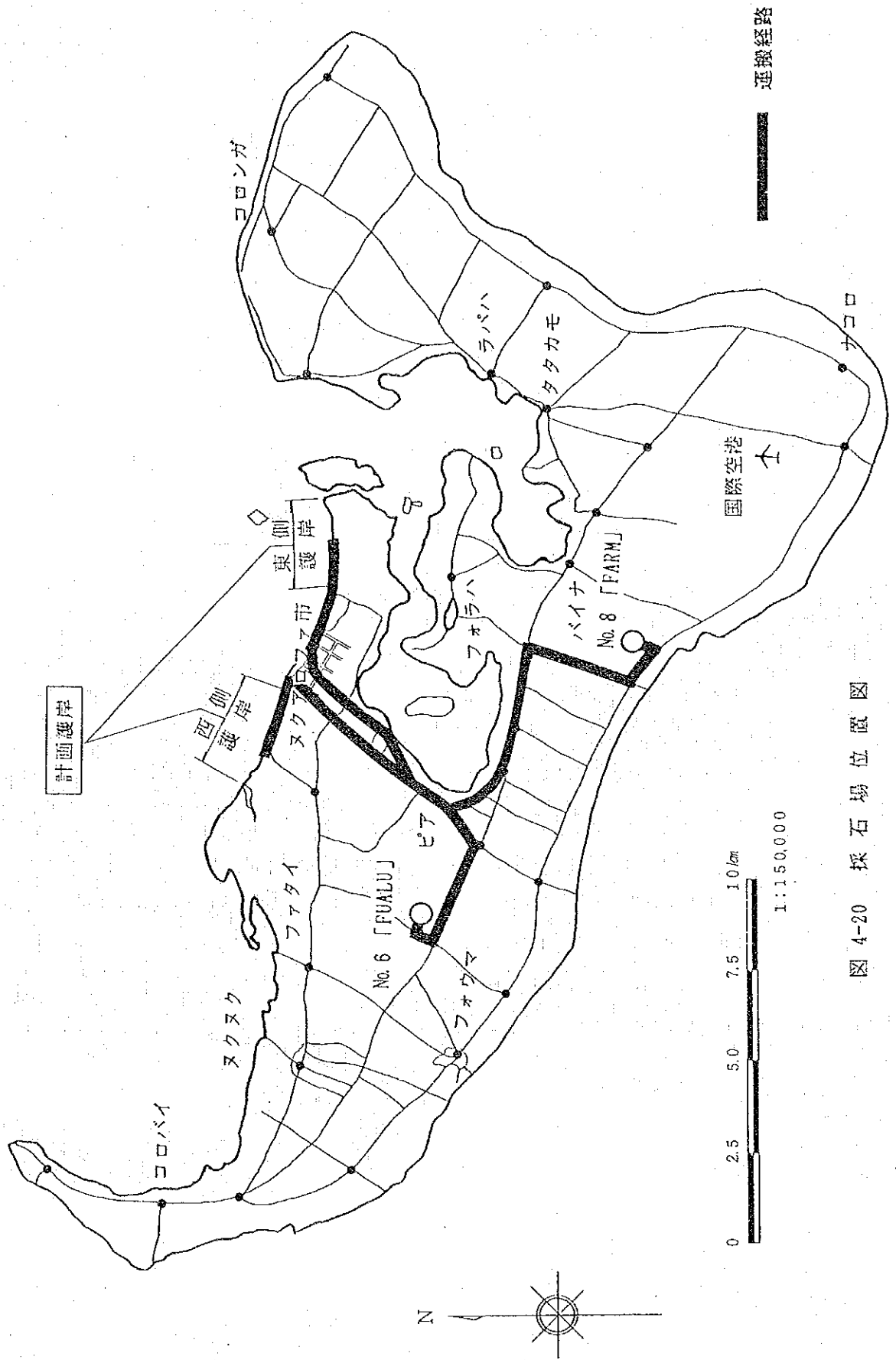


図 4-20 採石場位置図