

ツバル国
外務・環境・貿易・
労務・観光省

ツバル国
エコシステム評価及び海岸防護・再生計画調査

ファイナル・レポート
【第1編：要約】

平成22年1月
(2011年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

国際航業株式会社
水産エンジニアリング株式会社

環境
JR
11-093

〈 報告書の構成 〉

第1編
要約

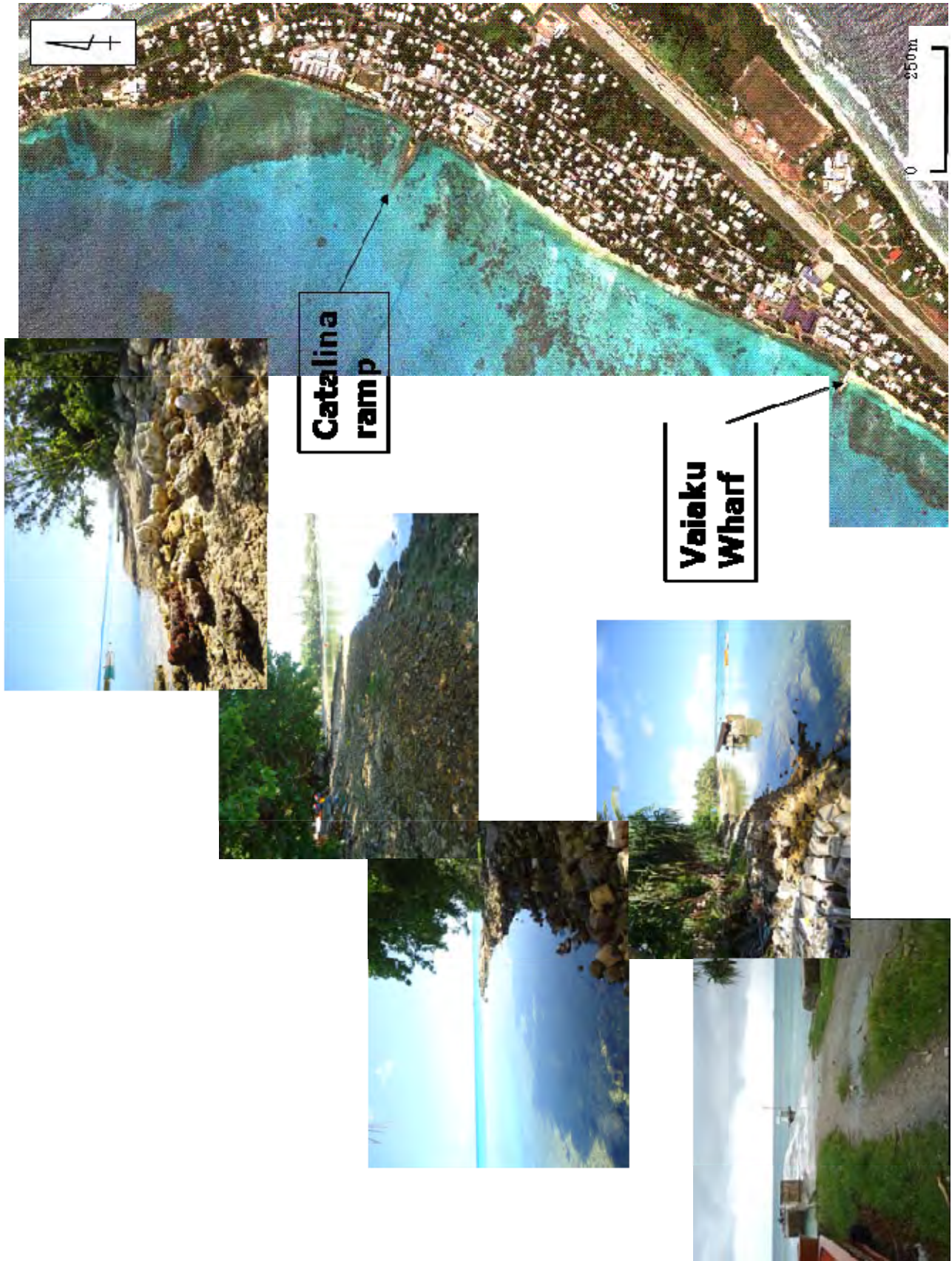
第2編
メインレポート

第3編
サポーティングレポート

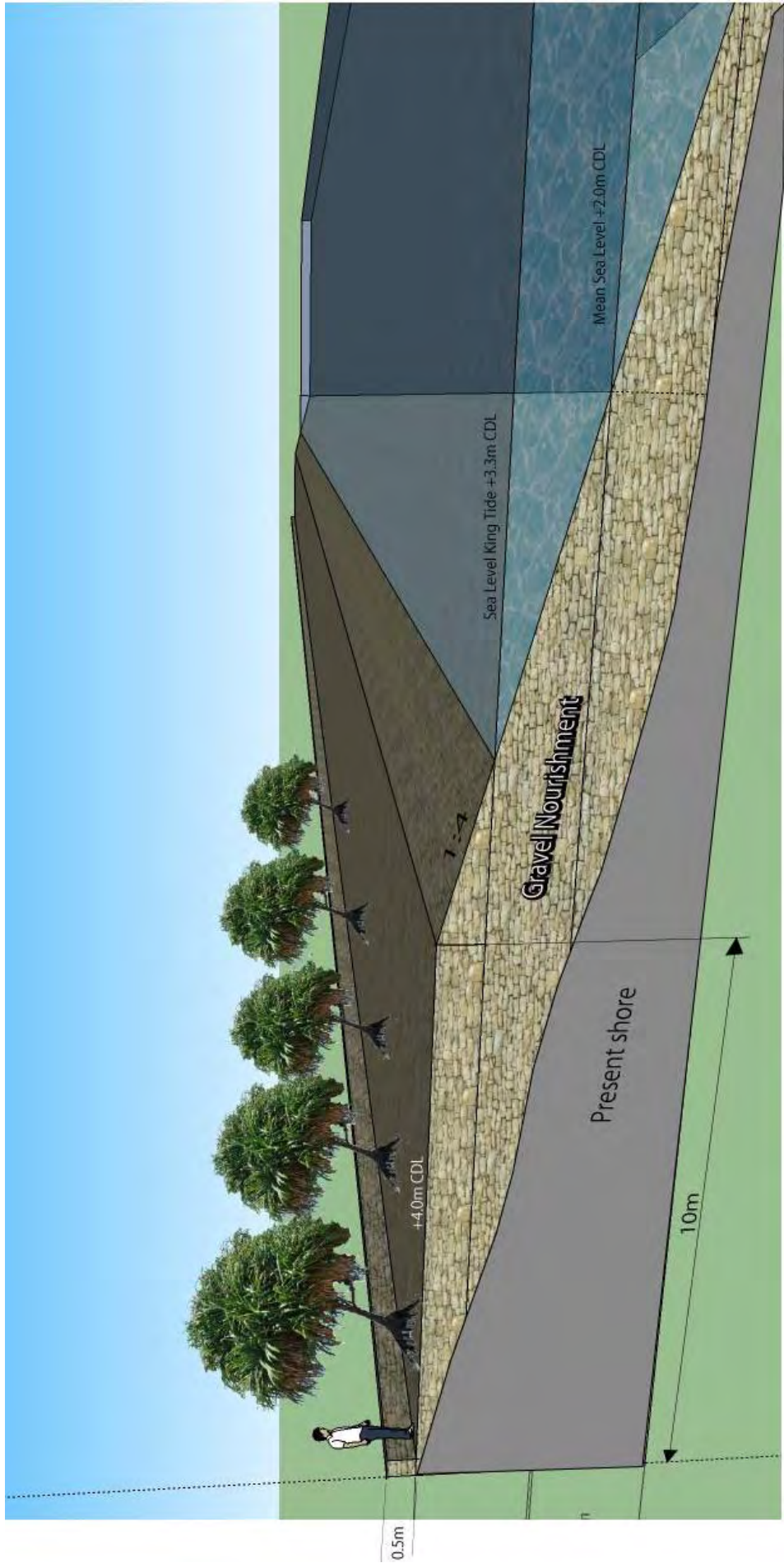
※サポーティングレポートは、英文のみ

1 FJ\$ = 48.9 Yen

(2010年11月現在)



对策地区 (写真)



礫養浜完成予想図

計画の概要

1. 各地域別の対策

フォンガファレ島の調査区域は7区域に分割して調査を進めた。各地域について、ゼロオプションを含む海浜保全復旧の代替案が作成/検討され、最適案が選択された。本事業で実施する対策工案を次表に示す。

表1 本事業で実施する対策工案

対策工	第1案	第2案	第3案	第4案
礫浜養浜工(D-1、D-3地域)	○	○	○	○
礫浜養浜工(C地域)				○
後浜地の植栽工	○	○	○	○
沿岸のボロービットの埋め戻し工(D-1、D-3地域前面)		○	○	○
沿岸のボロービットの埋め戻し工(C地域前面)		○	○	○
石積みによる嵩上げ工(パラペット)	○	○	○	○
石積みによる嵩上げ工(ストームリッジの修復)			○	○

2. 対策工実施の方針と実施スケジュール

本プロジェクトの実施スケジュールは、下記によることを提案する。

- 第1年次 本工事の一部をパイロット工事として施工
- 第2年次 パイロット工事地区のモニタリング
- 第3年次 本工事施工 及び モニタリング
- 第4年次 本工事施工 及び モニタリング
- 第5年次以降 モニタリング継続

3. 事業の実施効果と期待される成果

各対策工の実施により、以下のような効果が予想される。

表2 対策工により期待される効果

	期待される効果
礫浜養浜工	越波防止 内陸側への礫移転防止 砂の移動/堆積の促進
植栽工	礫浜の締め固め 景観向上
埋め戻し工	越波防止 砂の移動・堆積の促進

これらの対策工を施工し、その効果が発揮されることにより、本計画では次のような成果が得られる。

- ・ 毎年ラグーン側沿岸に襲って来ている 10 年確率波相当以下波浪の越波による、家屋浸水被害、家財道具浸水被害、事業資産被害、農作物被害、公共土木施設被害等の浸水災害を防止することができる。
- ・ 10 年確率波相当以下波浪の越波による浸水で起こされる弱者の負傷や恐怖、ストレスなどの人的被害を防止することができる。
- ・ 本計画の礫養浜により、ラグーン側海岸部に約 20,000 m²の新たな土地が造成され、環礁の伝統的な風景がよみがえり、良好な景観が形成される。この土地は住民のスポーツやレクリエーションのための広場として利用でき、将来この礫浜の上に砂が堆積すれば、ツバルの観光スポットのひとつの環礁砂浜海岸として観光客誘致に役立つことができる。
- ・ 礫浜養浜により、既存の土地を防護し、波浪が礫浜で減衰されることにより侵食作用が弱まり、侵食を防止できる。

4. 事業評価

プロジェクトの便益は、家屋、家財道具、農作物、公共施設等への浸水直接被害額の減少、家庭における応急対策費用の減少、人的被害額の減少、および土地造成による価値増加額として計測された。EIRRは第1案11.6%、第2案7.25%、第3案6.77%と計算され、事業実施に経済性があるが、第4案の場合は4.23%であり、経済性は低いと判断される。

本プロジェクトを施工するに当たり、住民移転等の社会的影響は発生せず、調査期間中に繰り返し開催した住民公聴会では、プロジェクトの早期実施を要請する意見が多かった。また、環境への影響は低く、工事によるラグーン内生態系に対する影響は、コーラル移植等の対策をとれば、回復可能な範囲にとどまる。

本計画は越波による浸水被害を防ぐための実行可能な対策工であり、環境への影響は回復可能であり、完成後は、逃げ場のない環礁で波の越波により自宅やその周辺が浸水し、増水してくる恐怖とストレスから住民を解放することができる。以上より、本計画実施の意義は大きいと判断される。

独立行政法人 国際協力機構 (JICA)

ツバル国 外務・環境・貿易・労働・観光省

ツバル国におけるエコシステム評価及び海岸防護・再生計画調査

<ファイナル・レポート>

第1編: 要 約

目 次

対策地区 (写真)
礫養浜完成予想図
調査の概要
目 次
表目次
図目次
略 語

頁:

1	調査の背景	1
2	調査の目的及び調査対象地域	1
2.1	調査の目的	1
2.2	調査対象地域	1
3	社会条件及び経済条件	2
3.1	社会条件	2
3.2	経済条件	3
3.3	上下水道及び廃棄物	4
4	調査対象地域における自然環境及び生態系の現状	5
4.1	気象	5
4.2	海象	6
4.3	地形および地質	7
4.3.1	地形特性	7
4.3.2	海底地形	8
4.4	水質および底質	9
4.4.1	水質	9
4.4.2	底質	9
4.5	沿岸生態系	9

5	海岸の現状	10
5.1	住民アンケート調査	10
	5.1.1 アンケートの目的	10
	5.1.2 アンケート調査結果	10
5.2	越波状況実態調査	12
5.3	海岸の脆弱性に関するまとめ	13
	5.3.1 ラグーン側	13
	5.3.2 外海側	13
6	海岸の現状	13
6.1	海岸線の変化状況	13
6.2	海浜の変形機構	13
	6.2.1 外海側	13
	6.2.2 ラグーン側	14
7	海岸防護・再生計画の基本計画	14
7.1	海岸保全区域	14
	7.1.1 海岸保全区域の設定	14
	7.1.2 緊急整備必要性の順位付け	14
7.2	対策工法の選定方針と比較検討	15
	7.2.1 ツバルにおける対策工法の選定についての考え方	15
7.3	海岸防護・再生事業の基本方針	17
	7.3.1 事業目標	17
	7.3.2 事業実施の基本方針	17
	7.3.3 地域別の対策方針	17
7.4	海岸保全施設の基本設計	18
	7.4.1 対策施設の標準断面の検討	18
8	海岸防護・再生計画に係る地域住民との合意形成	19
8.1	地域住民への公聴会	19
8.2	公聴会から得られた結論	21
9	フィージビリティスタディ	21
9.1	優先プロジェクト対象地区の選定	21
9.2	海岸保全施設的设计	21
	9.2.1 養浜の平面形の検討	21
	9.2.2 礫養浜地区の植栽	22
9.3	養浜材の検討	22
	9.3.1 養浜材の国内調達	22
	9.3.2 礫材の推定賦存両と計画採掘量	23
9.4	対策工の提案	23
9.5	施工計画	25

9.5.1	礫養浜工の検討	25
9.5.2	ボローピット埋め戻し工の検討.....	25
9.5.3	材料採取工の検討	26
9.5.4	工程計画	27
9.6	維持管理・運営計画	27
9.6.1	維持管理計画	27
9.6.2	モニタリング計画	28
9.6.3	運営計画	30
9.7	概算事業費	30
10	財務経済分析	31
10.1	費用対効果分析の方針	31
10.1.1	評価対象期間	31
10.1.2	便益の算定方法	31
10.2	財務分析	31
10.2.1	財務的内部収益率	31
10.3	経済分析	32
10.3.1	経済評価結果	32
11	環境社会配慮	32
11.1	初期環境影響評価（P E A）	32
11.2	影響の予測と緩和策	33
11.3	今後の予定	34
12	提言及び今後の課題	35

表 目 次

	頁:
表 3.1 ツバルの人口変化（1991年～2001年）	3
表 4.1 窒素およびリンの水質分析結果（補足調査）	9
表 7.1 海岸保全区域における緊急整備必要性の順位付け	15
表 7.2 海岸保全施設の比較結果	16
表 7.3 地域別の対策方針	18
表 7.4 後浜高および後浜幅の設定	19
表 7.5 礫養浜の必要後浜高および後浜幅	19
表 9.1 海岸保全施設の概要	21
表 9.2 礫材の計画採取量	23
表 9.4 モニタリング項目と調査概要	28
表 9.5 調査工程	29
表 9.6 対策工（4案）のコンポーネント構成と概算事業費	30
表 10.1 財務的内部収益率(FIRR)	31
表 10.2 経済分析（礫材を国内調達）	32
表 10.3 経済分析（礫材を輸入した場合）	32
表 11.1 緩和策が必要な事業の影響一覧	34

目 次

	頁:
図 2.1 調査対象地域	2
図 4.1 風 配 図	5
図 4.2 年平均海水面変化図（フナフチ：1999年～2008年）	6
図 4.3 Funafuti環礁の海底地形	8
図 4.4 有孔虫の出現傾向（Baculogypsina）	10
図 5.1 冠水レベルの分布	11
図 5.2 越波発生状況	11
図 5.3 越波状況実態調査による被害状況分布	12
図 7.1 検討地域	15
図 8.1 住民参画の観点から整理した海岸防護・再生計画の策定プロセス	20
図 9.1 対策工平面図	24
図 9.2 礫養浜工の標準断面	25
図 9.3 端部処理堤（兼船揚場）の標準図	25
図 9.4 全体工程表（案）	27
図 9.5 モニタリングに関する連絡協議会の体制	29
図 11.1 環境影響評価（案）実施の流れ	33

略 語

ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
CBOs	Community Based Organizations	地域社会組織
CDM	Clean Development Mechanism	クリーン開発メカニズム
DMO	Disaster Management Office	災害管理事務所
DOA	Department of Agriculture	農業局
DOE	Department of Environment	環境局
DOF	Department of Fisheries	水産局
DOLS	Department of Lands and Survey	土地および測量局
EIA	Environment Impact Assessment	環境影響評価調査
EU	European Union	欧州連合
F/S	Feasibility Study	実行可能性調査
GEF	Global Environment Facility	地球環境ファシリティ
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
IEE	Initial Environment Examination	初期環境影響評価調査
IGCI	International Global Change Institute	国際地球変動研究所
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
O&M	Operation and Maintenance	維持管理
PICCAP	Pacific Islands Climate Change Assistance Programme	気候変動枠組み条約関連の能力開発支援プログラム
PICs	Pacific island countries	太平洋島嶼国
PWD	Public Works Department	公共事業局
SOPAC	South Pacific Applied Geoscience Commission	南太平洋応用地球科学機構
SPREP	South Pacific Regional Environment Programme	南太平洋環境計画
STP	Sewage Treatment Plant	下水処理場
T-N	Total Nitrogen	全窒素
T-P	Total Phosphorus	全燐
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
USP	University of the South Pacific	南太平洋大学
NSDS	National Strategy for Sustainable Development	持続的開発の国家戦略
NAPA	National Adaptation Program of Action	国家行動適応計画
AusAID	Australian Agency for International Development	オーストラリア国家開発省

要 約

1 調査の背景

「ツ」国は、国土のほとんどが標高 1~3m と低平な環礁で、地球温暖化の影響による海面上昇により水没の危機に瀕している国として国際的に注目されている。一方、現在見られる海岸侵食や海水の湧き出しなどの現象は、地球温暖化による降水量変化や海面上昇による影響よりも人口増加に伴う環境負荷の増大(水質の悪化による砂供給の減少、堆砂の障害となる構造物の建設など)や居住地区の拡大が主因であるとの研究報告もあり、長期的な島の維持を図るにはこれら人間活動の要因も含めた総合的な調査が必要である。これまでの調査を通じて、環礁島の保全を図るためには、島の形成・維持メカニズムに基づいた保全策を実施するとともに、そのメカニズムに悪影響を与える要因を緩和し、また、将来の海面上昇も考慮して、耐性の高い島とすることが必要である。また、長期的な島の耐性の向上を考えなければならない一方で、すでに海岸侵食が進行しており、生活に影響を及ぼす箇所も報告されている。このような場所については、緊急的、短期的な対策が必要とされており、早急な対策事業の計画策定が求められている。特に首都フナフチのあるフォンガファレ島には、「ツ」国全人口(9,652人:2006年)の約45%にあたる国民が生活しており、本島における海岸侵食の影響に関する調査およびそれに対する対策事業の立案が緊急の課題となっている。

「ツ」国政府は、わが国に対し、長期的な視点から島の形成・維持メカニズムの解明を目的とする地球規模課題対応国際科学技術協力「海面上昇に対する「ツ」国の生態工学的維持」(以下、科学技術協力)と、海岸侵食等の防止にかかる短期的な対策事項の提案を行う本件調査を要請してきた。これを受けて、JICAは2009年1月22日にM/M及びS/Wを署名し、2009年4月に開始した科学技術協力と連携して、本件調査を実施する運びとなった。

2 調査の目的及び調査対象地域

2.1 調査の目的

調査の背景から、調査目的は以下のとおりである。

1. フォンガファレ島沿岸の海岸防護・再生計画の策定
2. 海岸防護・再生計画の中で選定される優先プロジェクトに係るF/Sの実施
3. 海岸防護技術と海浜管理手法にかかる技術移転

2.2 調査対象地域

調査対象地域は、ツバル国フナフチ環礁フォンガファレ島を中心とするフナフチ環礁全域とする。

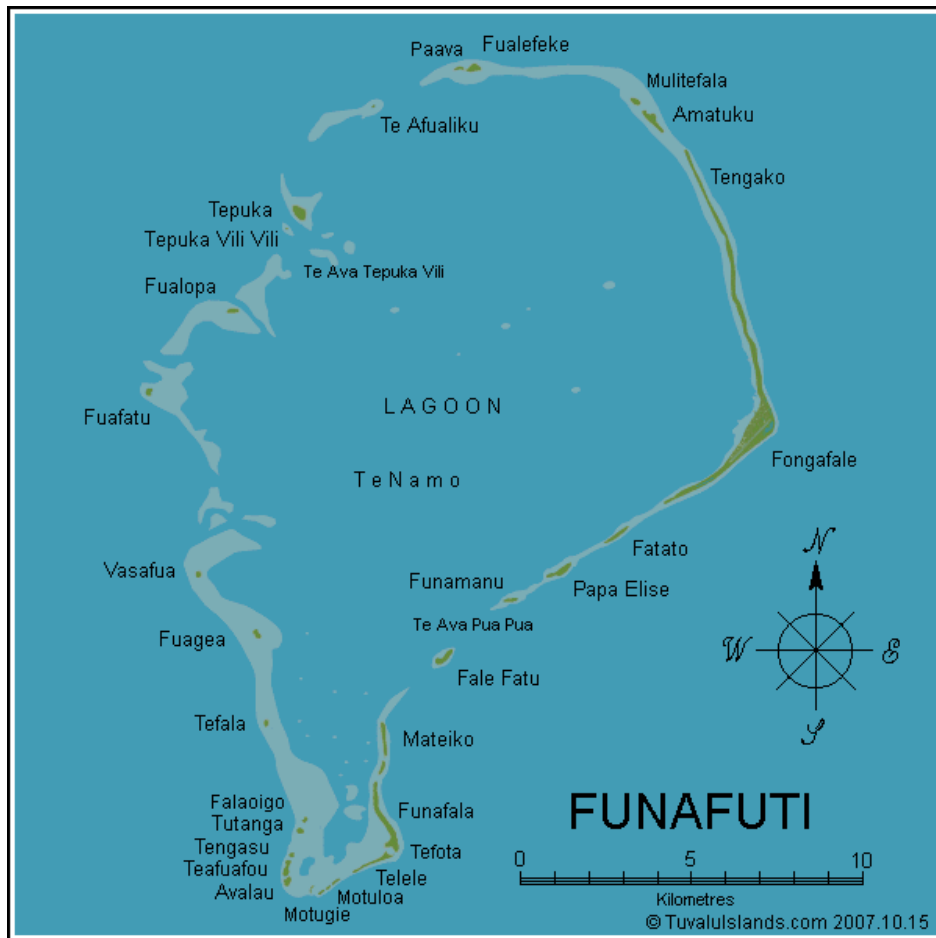


図 2.1 調査対象地域

3 社会条件及び経済条件

3.1 社会条件

(1) 人口構造

ツバルの人口は、2002年11月に実施された最新の国勢調査によれば9,561人、常住人口は9,359人とされる。前回(1991年)に実施された国勢調査時から5.7%の人口成長率、年平均人口増加率は0.5%と比較的低い水準となっている。首都のあるFunafutiと離島では、人口変化の傾向が大きく異なる(表3.1)。ツバル国面積の1割ほどしか満たないFunafutiに、全人口の4割を超える人口が居住し、人口密度も1,420/km²と離島の平均(222人/km²)の7倍以上となっている。

表 3.1 ツバルの人口変化 (1991 年～2001 年)

	面積 (km ²)	総人口		人口割 合 (%)	人口成長率 (%) (1991-2002)	年平均 人口増 加率 (%)	人口密 度 (人 /km ²)
		1991	2002			2002	
総人口 (Tuvalu 全体)	25.6	9,043	9,561	100	5.7	0.5	365
常住人口		8,750	9,359			7.0	
Funafuti	2.79	3,576	3,962	42.3	10.8	0.9	1,420
離島	22.84	5,174	5,397	57.7	4.3	0.4	236

出典：Basic Table of Population and Housing Census 2002

(2) 開発計画

「ツ」国経済の構造的弱点として、大幅な貿易不均衡であり、公共部門の比重が大きく、しかも低生産性であること、民間部門が弱体であり、GDP の 4 分の 1 しか占めていないこと、また、企業の多くは政府が大株主として関与し、それらの多くは財務的基盤が弱いこと、金融システムの発展が遅れていること等をあげている。

これらの状況下で戦略的開発分野として、下記 8 分野を掲げている。

1. 善き統治
2. マクロ経済成長及び安定
3. 社会発展：健康、福祉、青少年、ジェンダー、住宅及び貧困削減
4. 離島及びファレカウプレ開発
5. 雇用及び民間部門開発
6. 人的資源開発
7. 天然資源：農業、水産、観光及び環境マネジメント
8. インフラ及びサポート・サービス

天然資源分野の中の一分野としてあげられている環境分野では、次の 2 主要課題があげられている。

- 1) フナフチの都市化進展により引き起こされる多くの問題
- 2) 気候変動と海面上昇に伴う国家的影響、特に多かれ少なかれ地球温暖化に帰せられるタロイモ・ピットの海水浸水、沿岸侵食および洪水、

3.2 経済条件

(1) GDP

ツバルは、環礁性島嶼で構成されているため、資源に乏しく、農水産業の生産性も高くない。国内資源が乏しいため、食料を始め、多くの生活必需品を輸入に頼っている。2002 年の GDP は 27.5 百万 AU\$ で、一人あたり GDP は 2,814AU\$ となっている。

(2) 土地利用

Fongafale 島の中心部の土地利用は以下の通りである。

Alapi 村は全域が居住地区、Senala 村は Funafuti 役場、長老会の集会所、教会、病院、小学校等の Funafuti 環礁島の主な機関が立地する。Vaiaku 村にはツバル国政府系の庁舎、首相官邸等があり、飛行場から南東側 (Fakai Fou 村ならびに Vaiaku 村の一部) は、発電所、刑務所、公共事業局、気象局、競技場等が立地する政府用地であり、住宅はなく、Tafua 沼周辺には個人の豚舎が並んでいる。島内には Alapi 村と Senala 村の飛行場側にある湿地でタロイモ畑 (Plaka Pit)、政府用地南端の台湾政府の技術支援農園の他には主だった農地がない。漁業は生活用採取漁業が主で、魚市場等の流通ルートがないため、魚類は個人売買によっている。全ての廃棄物は、Tengako 島の米軍掘削跡地に無処理で投棄されている他、島南部にも小規模な処分地がある。

3.3 上下水道及び廃棄物

(1) 上水道

ツバル国における安全な飲料水に対するアクセスは 97% と高い。主たる水源は雨水であり、Funafuti ではほとんどの世帯が水タンクを有し、飲料、食事・調理、トイレ、シャワー、洗濯などに利用されている。一方、中央庁舎や病院の地下には貯水槽が設置され、旱魃時など必要に応じて給水車によって一般家庭へ供給されている。また、旱魃等の緊急時に備えて、Funafuti には日本の援助で海水淡水化装置が 2 基設置されている。

(2) 下水道

浄化槽は、設計基準や仕様書に沿わずに設置されることが多く、浄化槽の底面部はサンゴ礁の礫などを敷き詰めるだけで、未処理の廃水が土壌へ浸み出している。また、浄化槽の不適切な設置及び維持管理によって土壌に浸み出した未処理の廃水による地下水や海水への汚染が懸念されている。一方、し尿処理対策として、GEF IW/EU Water Facility による資金を用いて、一般家庭へのコンポスト・トイレの普及を試みている。

(3) 廃棄物

Funafuti における 1 世帯あたりの一泊あたりのごみ排出量は 5.1kg、Funafuti 全世帯における年間ごみ排出量は 258.024 トンとなっている。また、Funafuti では、近年の急激な人口増加、生活様式の多様化などに伴い、輸入品に依存する傾向が強まっており、ごみ排出量の増加及びごみ質の多様化が生じている。

現在、EU (EDF10) の廃棄物分野に対する支援の一環として、Fongafale 島北部の最終処分場の改善整備事業が進められている。この事業によって道路上のごみを隣接するボローピット内に移動させ、ピット内で側面に向けて重機材でごみを転圧させながら、ボローピットを順次ごみで埋め立てていくことになる。この事業は、沿岸管理の観点から以下の 3 点について懸念される。

1. アクセス道路建設によるストームリッジへの影響

2. ごみの浸出水によるラグーン・外洋への水質及び有孔虫生息域への影響
3. リッジ崩壊に伴うごみ流入によるラグーン・外洋への水質及び有孔虫生息域への影響

4 調査対象地域における自然環境及び生態系の現状

4.1 気象

フォンガファレ島における風況は、夏期／多雨期（12月～2月）、冬期／寡雨期（5月～9月）および二つの推移期（3月～4月および10月～11月）の四時期に分類される。12月から2月にかけての夏期においては、北東風（N—ENE）が卓越し、15 m/sec以上の強い西風はこの時期に観測される。5月から9月にかけての冬期においては、東風ないし南東風（ESE—SE）が卓越する。この季節においては、10 m/sec以上の強い風は非常に稀で、10年間で12回観測されただけである。3月から4月にかけてと10月から11月にかけての推移期における風況は、夏期と冬期または冬期と夏期との中間の風況特性を示す。

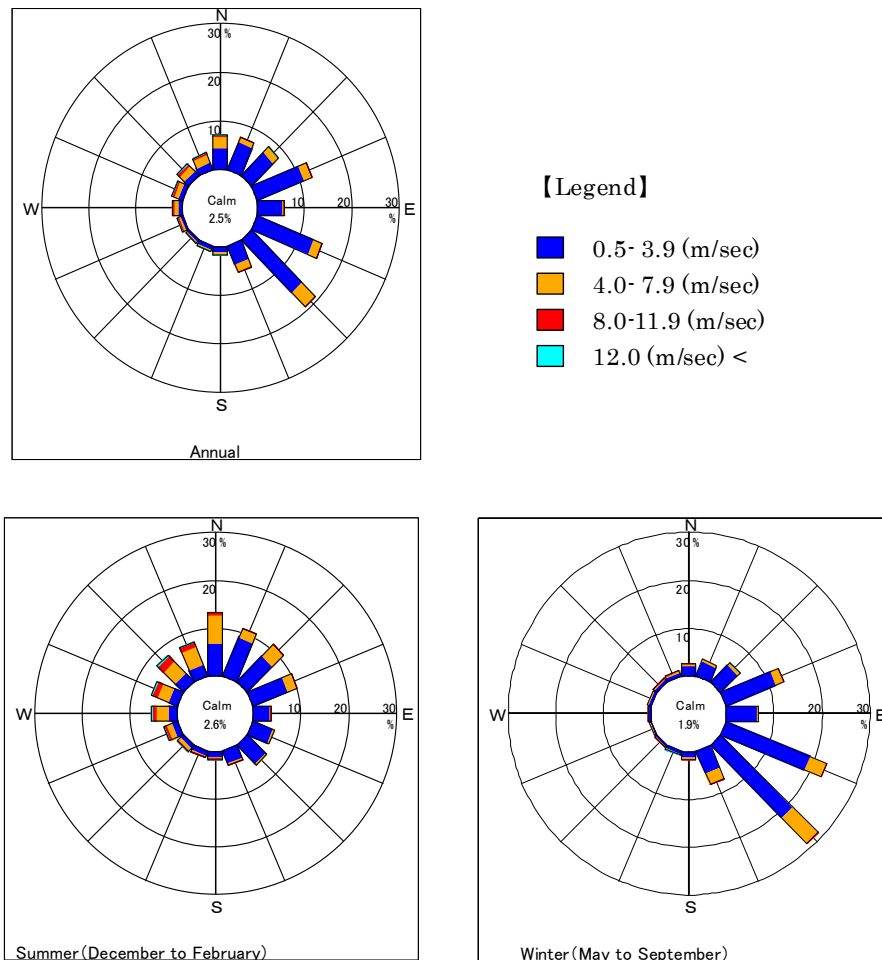


図 4.1 風配図

4.2 海象

(1) 海面水位および潮位

太平洋諸島における海面水位は、潮汐のような周期性のものやサイクロンのような一時的であるが激しい事象およびエルニーニョのような長期的な現象など、多くの要素により支配されている。1998年に見られた海面水位の大きな降下は1997/1998年エルニーニョの期間に記録された。観測期間中での最高水面は2006年2月28日に記録した3.42mである。

(2) 気候変動による海面上昇

フナフチのSEAFRAME観測所における1999年から2008年の10年間における平均海面データを用いて、海面変動を求めた結果が図4.2である。これによると、平均海面上昇率は2.3mm/年と求められた。これは、第4次評価報告書（IPCC AR4, 2007）の1993年～2003年の海面上昇率：3.1±0.7mm/年の下限に近い値である。

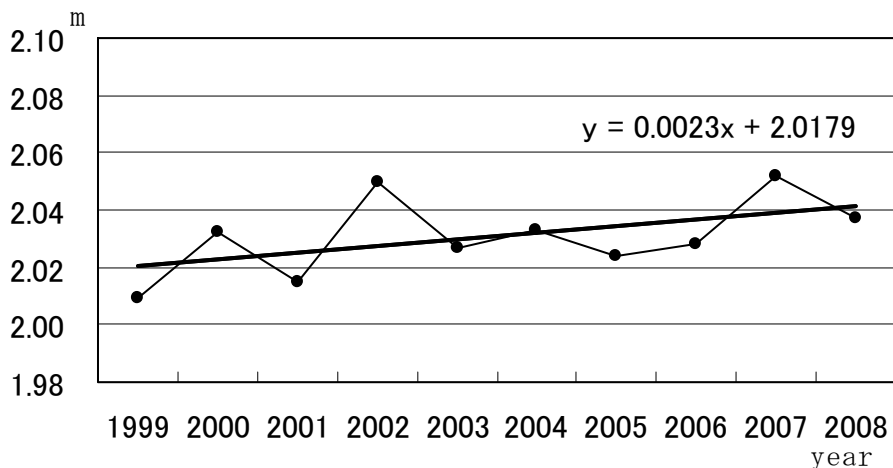


図 4.2 年平均海水面変化図（フナフチ：1999年～2008年）

(3) 波浪

1) 外海側

Waverider Buoyによる波浪観測が、フナフチ環礁の東側海岸沖で1990年5月8日から1992年4月7日にかけて、実施された。外海側の波浪状況は、以下のとおりである。

- フナフチ環礁の東側海岸沖における有義波高（H1/3）は、年間を通してほぼ一定であり、平均有義波高は1.8m、平均周期9.2secである。
- 最大波高は、1990年11月に有義波高で3.4m（周期Tp：16.7sec）を記録している。これは南側を通過した熱帯性低気圧“Sina”によるうねりの影響を受けたものである。

2) ラグーン側

本調査における波浪観測は、基礎調査期間中（2009年9月～2010年2月）に、Fongafa島のVaiaku Lagi Hotel地先海域（WG-1）およびTepuka島南側海域（WG-2）の2地点にて実施

した。

- Vaiaku Lagi Hotel 地先海域 (WG-1) では、第一次観測結果から得られた有義波波高、有義波周期、平均波向は、それぞれ 0.2~0.3 m (平均 0.2 m)、2~4 秒 (平均 2.5 秒) および 49~83 度 (進む方向、平均 70.7 度) である。また、第一次観測結果と第二次および第三次観測結果とを比較すると、第二次・第三次観測結果の方が西方向からの風やうねりの影響を強く受けている波浪特性を示している。
- Tepuka 島南側海域 (WG-2) では、第一次観測結果から得られた有義波波高、有義波周期、平均波向は、それぞれ 0.2~1.1 m (平均 0.3 m)、5.3~14.9 秒 (平均 8.9 秒) および 22.4~310.1 度 (進む方向、平均 193.9 度) である。第一次観測結果と第二次観測結果とを比較すると、波高と周期に関しては顕著な差は認められない。波向に関しては、220 度付近が卓越しているものの、第二次観測結果の方が北東方向からの風やうねりの影響を強く受けている波浪特性を示している。

(4) 流況

本調査における流況観測は、基礎調査期間中に、Acoustic Doppler Profilers (ADP) 2 式と、電磁流速計 (Infinity-EM AEM-USB) 1 式を用いて行った。なお、流速計は、ラグーン内 3 点の海底に設置した。

- Vaiaku 観測地点 (CM-1) においては、流速は概して弱く、最大流速 12cm/sec、平均流速 2cm/sec を記録し、主方向を 90° - 270° とする往復運動が観測された。
- 観測期間中の最大流速 45cm/sec は、Tepuka Vili Vili 観測地点 (CM-2) において観測され、流向はラグーン側から Tepuka Vili Vili と Fualopa 島との間の水路を通じてオーシャン側へ流出する 320° 方向であった。
- Causeway 観測地点 (CM-3) においては、最大流速が 18cm/sec で、流向は 175° 付近、すなわち海岸線に沿ってラグーンの奥側 (南方向) への流れが卓越している。

4.3 地形および地質

4.3.1 地形特性

Fongafale 島は、“幅広い V 字型”あるいは“逆くの字型”をした細長い地形で、極端に標高が低いのが特徴である。外洋に面した島の外縁部は、サンゴの破砕屑が平均海面上 3 m 以上に積み上げられ、島の最高標高となっている。その他の地区は、標高が平均海面上 2 m 以下の地域が大部分である。

Fongafale 島ラグーン側の海岸は、地元の古老によると、第二次世界大戦 (WWII) 前は長い緩やかな砂浜があったと言われている。WWII の時に、サンゴ破砕屑による 2.3 km にも及ぶ護岸建設のための埋め立て、そのための護岸に沿っての掘削による長いボロービットあるいは他の海岸線に鉛直ないしは平行な水路の掘削などの地形変形がなされた。Fongafale 島中

中央部のラグーン側に沿っての海岸線の現状は、海岸のほとんどはビーチ・ロックで覆われており、砂浜海岸は Vaiaku Lagi Hotel の北側から Catalina Ramp の南側までのわずか 500 m ほどの長さに限られているだけである。

4.3.2 海底地形

(1) 外海側

Funafuti 環礁の海底地形の概要は、図 4.3 に示した通りである。外洋側においては、リーフフラットがストムリッジの前面に 100 m ほどの広さで分布している。リーフ縁の外側は、水深が急速に深くなり、1,000 m を超える水深まで急速に落ちて行く。

(2) ラグーン側

ラグーン側のリーフフラットは、幅 15- 25 m の浜を含めると 55- 350 m の幅がある。ラグーン内には至るところに浅瀬 (Te Akaue) が散在しており、ラグーン中央部の水深は 40 m ~ 50 m あり、最も深い水深は既存の海図では 49 メートルとなっている。

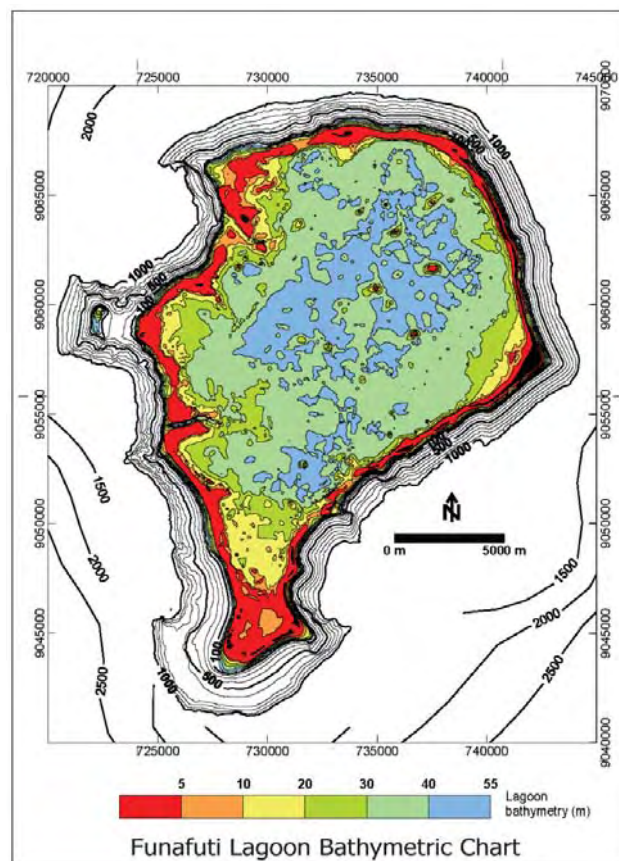


図 4.3 Funafuti 環礁の海底地形

4.4 水質および底質

4.4.1 水質

本調査による水質調査は、2009年12月から2010年1月に、Funafuti 環礁内全域、外洋、湖沼および地下水を対象に18地点にて実施した。

- サンゴ礁の富栄養化の指標については、海水中のクロロフィル a 濃度に対して 0.3~0.5 $\mu\text{g/l}$ 、溶存無機態窒素 ($\text{NH}_4+\text{NO}_3+\text{NO}_2$) に対して 0.014 mg/l (1 μM)、溶存無機態リン (P04) について 0.006~0.009 mg/l が、富栄養化のしきい値であると提案されている (Vecsei, A. 2003)。これらのしきい値と本調査の水質分析結果を比較すると、ラグーン側の海岸近傍 (LW3、LW9) において無機態窒素 (NH_4) と無機態リン (P04) の両方がしきい値を上回っている。このように、ラグーン側の海岸近傍においては、富栄養化によるサンゴへの影響が懸念される。
- 地下水 (井戸水) の水質は、T-N が 3.6 mg/l (海水の 24 倍)、T-P が 0.14 mg/l (海水の 6 倍) と濃度が高くなっており、地下水が汚染されていることが伺える。

表 4.1 窒素およびリンの水質分析結果 (補足調査)

Parameters	Units	Sea Water: Lagoon Side					Sea Water: Ocean Side		Groundwater
		LW-1	LW-2	LW-3	LW-9	LW-10	OW-2	OW-3	GW-2
T-N	mg/l	0.17	0.12	0.18	0.12	0.10	0.15	0.14	3.6
$\text{NH}_4\text{-N}$	mg/l	0.03	0.04	0.06	0.11	0.05	0.06	0.10	0.02
$\text{NO}_3\text{-N}$	mg/l	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3.6
T-P	mg/l	0.015	0.015	0.065	0.034	0.008	0.015	0.011	0.14
P04-P	mg/l	0.008	0.007	0.054	0.024	0.006	0.008	0.007	0.12

4.4.2 底質

JICA 調査による底質調査は、2009年10月に、Funafuti 環礁内全域の35地点 (ラグーン海底堆積物: 15点、海岸線堆積物: 20点) にて実施した。

- 海岸線で採取した堆積物は、全ての地点が Coral Fragments、Foraminifera、Shell Fragments で構成されていた。
- ラグーン内の海底から採取した堆積物の内、Fongafale 島の中央部から南部にかけて地域の沖合いおよびラグーンの北部と西部の地点でも、堆積物の構成は Coral Fragments、Foraminifera、Shell Fragments で構成されていた。一方、Fongafale 島の北部、ラグーンの北部と南部および南東部の地域、およびラグーンの沖合いでは、51%~91%の割合で Halimeda が優占する構成を示した。

4.5 沿岸生態系

生態調査は、外洋側16測線、礁池側15測線の計30測線 (水深5m以浅) においてラインセンサス法により実施した。事前に既存資料収集・衛星写真判読作業を行った上で現地踏査を実施し、調査測線を設定した。砂礫生産能力が期待される有孔虫の出現状況を見ると、*Baculogypsina*、*Amphistegina* が高い密度で確認され、*Calcarina* や *Sorites*、*Marginopora*

はそれほど多くない状況にあった。図 4.4 には、Baculogypsina の密度を示すが、本種は礁の外洋側に多く出現することが分かる。

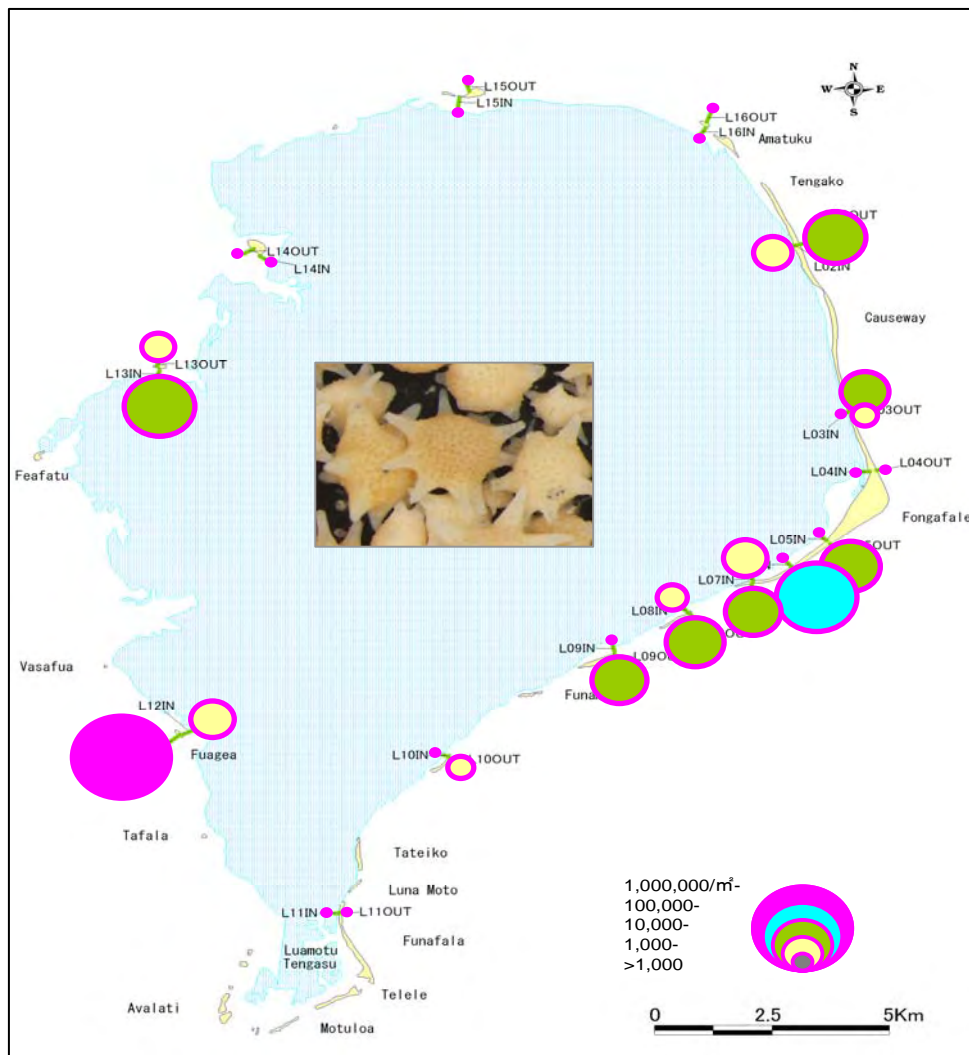


図 4.4 有孔虫の出現傾向 (Baculogypsina)

5 海岸の現状

5.1 住民アンケート調査

5.1.1 アンケートの目的

住民アンケート調査は、緊急的な海岸災害の危険性低減の施策を立案する際、優先順位の検討や、工法選定の背景資料として必要な情報を得ることを目的として実施した。

5.1.2 アンケート調査結果

空き家、長期不在者等を除き島内のほぼ全世帯からの調査票を作成することができた。有効回答数は 592 である。

冠水レベル及び越波発生状況

冠水レベルについては、中央部の従来からの居住区は浸水しない地区があるほかは、内陸部を含むほとんど全ての居住区で床上もしくは床下浸水が生じている。越波の発生状況については、ラグーン側では中央部で発生し、外海側では南部と北部で発生している。

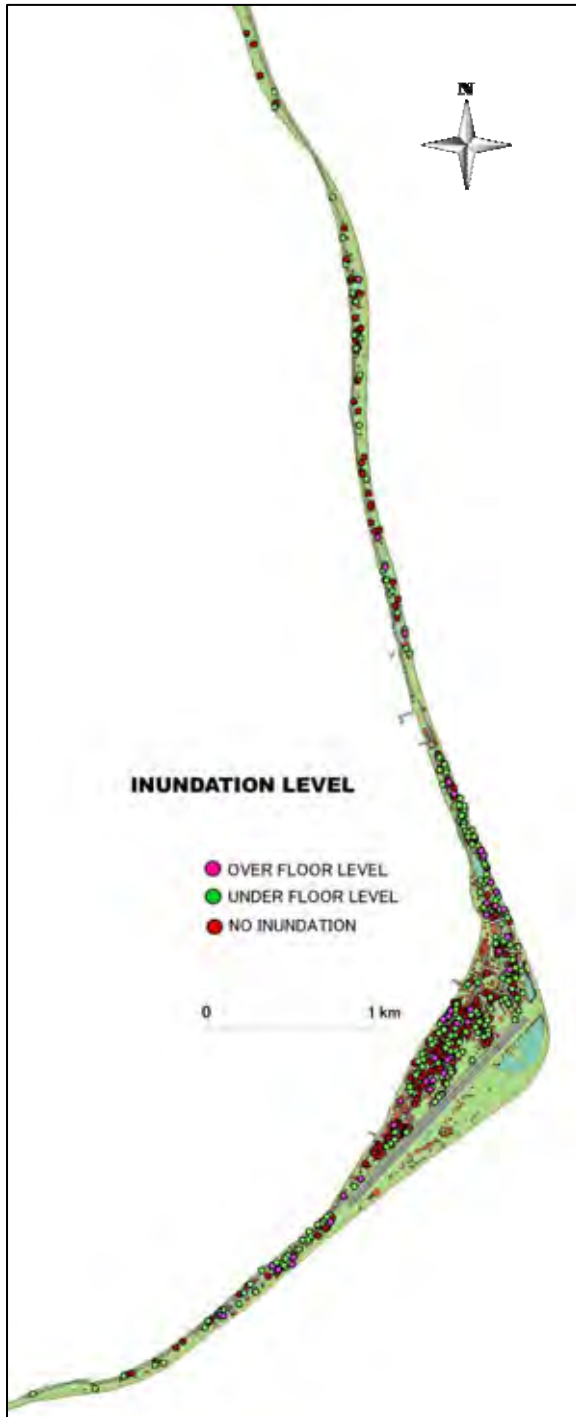


図 5.1 冠水レベルの分布

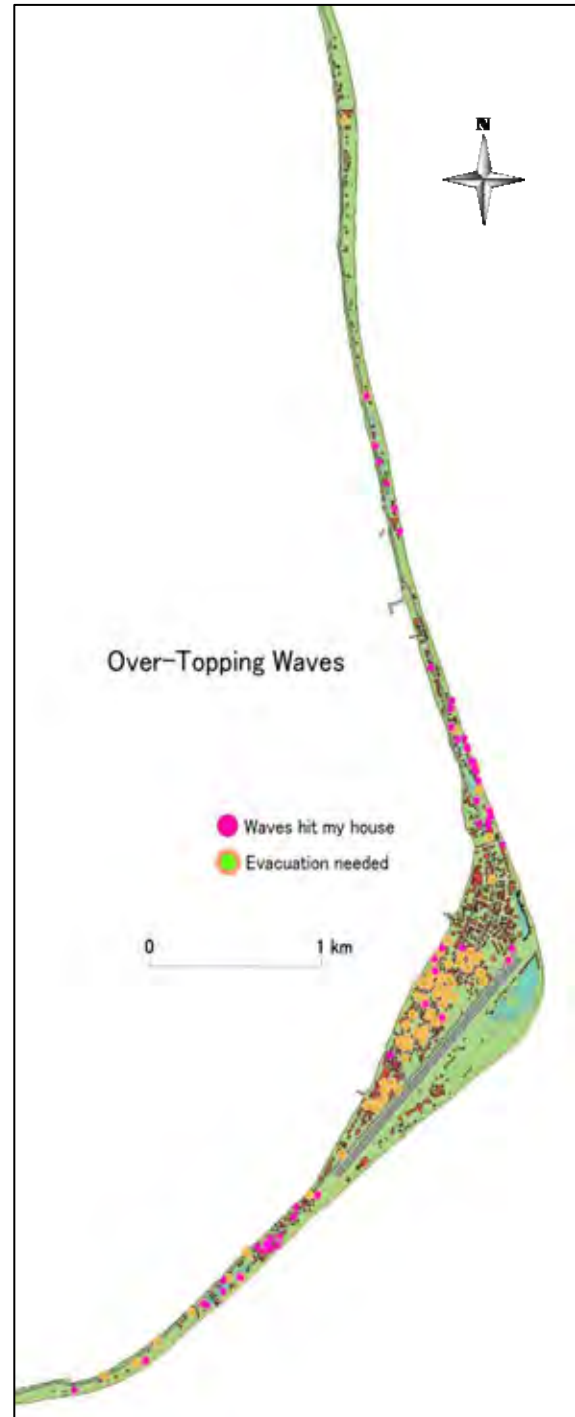


図 5.2 越波発生状況

5.2 越波状況実態調査

対策地域をより明確にするために、アンケート調査で抽出された越波による被害地域を中心に越波の実態を調査した。越波状況実態調査を実施した2010年1月30日17時26分の潮位は、3.24mの高潮位であり、風速10m前後の西風によりラグーン側の随所で越波が生じた(図5.3)。

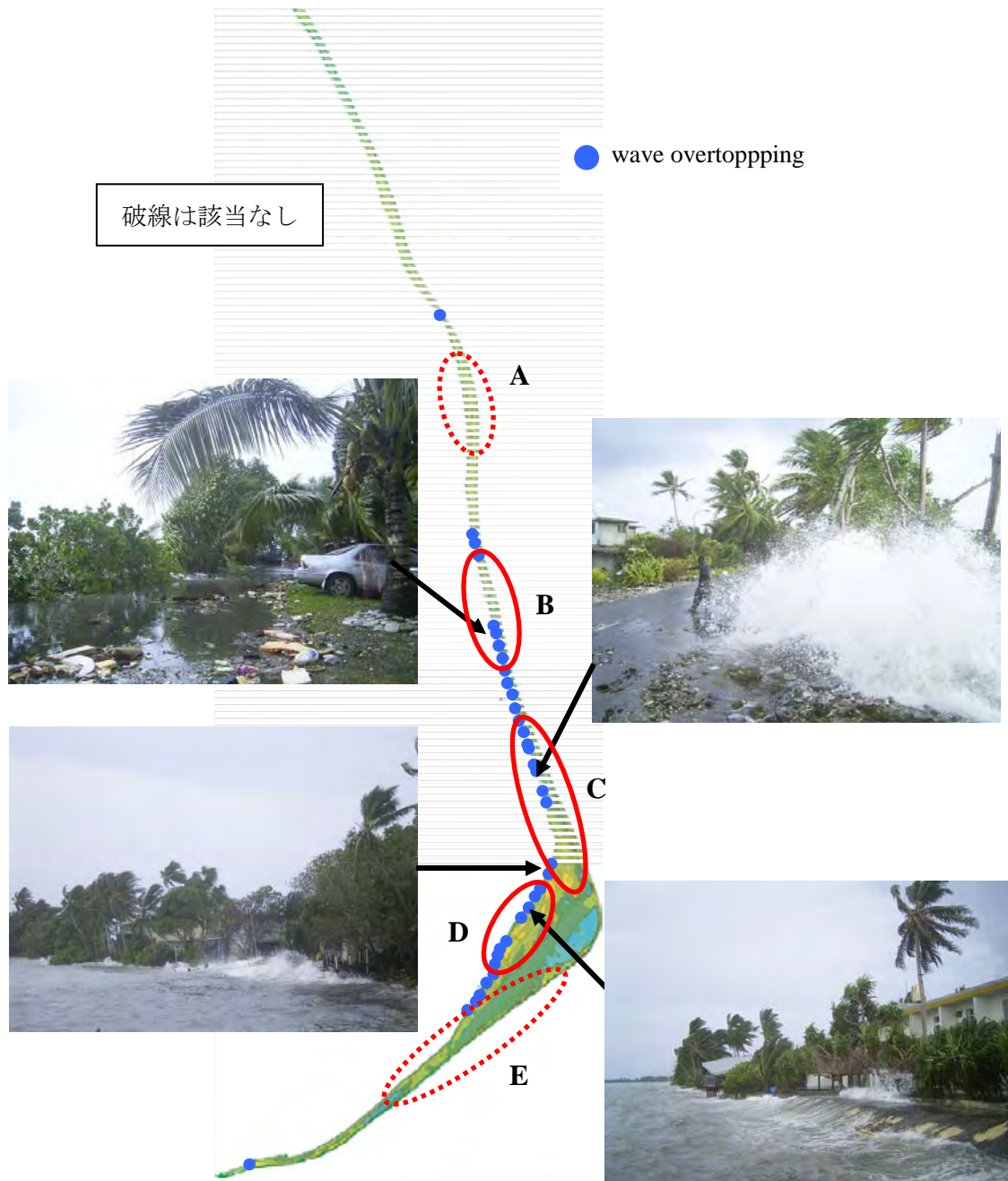


図 5.3 越波状況実態調査による被害状況分布

5.3 海岸の脆弱性に関するまとめ

5.3.1 ラグーン側

現在、ラグーン側で越波による被害が生じている箇所は、全体的にストームリッジの高さおよび背後地の地盤高が低くなっているところである。特に越波が多発する Fongafale 島の中央部の海岸は、第二次世界大戦時に護岸建設のための埋め立てや各種の基地建設のために、大規模に海岸の地形変形がなされたところであり、この大規模な地形変形が越波被害を起す大きな要因と言える。ラグーン側の海岸部の問題点を整理すると、以下のとおりである。

1. 第二次世界大戦時における大規模な海岸地形の改変に伴う越波被害の発生
2. 沿岸ボローピットによる波浪の増大と越波被害の助長
3. 個人による無計画な埋立や護岸工事による沿岸漂砂の阻止と海岸侵食の発生

5.3.2 外海側

現在、外海側で越波による被害が生じている箇所は、ストームリッジの高さが比較的低くなっているところである。この原因は、その背後の住民が、陸側の平坦面を広げるために、ストームリッジ近傍に生育している植生を伐採するとともに、ストームリッジを切り崩し、礫を建設資材として利用したことによるところが大きい。外洋側の海岸部の問題点を整理すると、以下のとおりである。

1. 無秩序な礫の採取
2. ストームリッジ周辺の無秩序な植生の伐採
3. ストームリッジの切り崩しによるリッジ高の低下
4. ストームリッジの背後の掘り崩しによるストームリッジの弱体化

6 海岸の現状

6.1 海岸線の変化状況

航空写真(1941年、1943年、1984年、2003年撮影)の比較によると、Fongafale 島中央部の海岸線は1941年から1943年の間に30m程度ラグーン側へ前進し、1943年以降には海岸線の変化は顕著でない。この変化は、太平洋戦争時に米軍が環礁側のリーフや島内の一部を大規模に掘削し、この珊瑚の破砕片を主とした盛土材により、海岸や低湿地等を埋立て、空軍飛行場及び付帯施設の地盤を整備したことによる。

6.2 海浜の変形機構

6.2.1 外海側

波浪エネルギーフラックスの方向別分布から、冬期(乾期; 3~10月)はFongafale 島中

央部の東へ突出した地点を境に、南側では南向き、北側では北向きに土砂移動を引き起こす外力下にあることが推測される。夏期（雨期；11～2月）は、冬期に比べて波浪エネルギーは小さく、Fongafale島の北側で南向きの土砂移動を引き起こす外力下にあるものと推測される。

6.2.2 ラグーン側

波浪エネルギーフラックスの方向別分布から、冬期（乾期；3～10月）は、夏期（雨期；11～2月）ともにフォンガファレ島中央部へ土砂移動を引き起こす外力下にあることが推測される。海岸は一部に砂浜が形成されているが、海岸構造物により漂砂が遮断されることによる著しい侵食や堆積の生じている海岸はなく、沿岸漂砂量は比較的少ないと考えられる。

7 海岸防護・再生計画の基本計画

7.1 海岸保全区域

7.1.1 海岸保全区域の設定

(1) 海岸保全区域設定の考え方

海岸保全区域の選定にあたっては、背後地に重要なインフラ（庁舎、病院、学校、主要道路等）があり、人口密集度が高い地域において選定の優先度を高くした。

(2) 対策を必要とする地域の選定方法

現地踏査、海岸災害に関するアンケート調査結果及び背後地の状況等から対策を必要とする地域を選定した。次に、アンケート調査で抽出された越波の被害地域を中心に、越波状況実態調査を行い、対策地域をさらに絞り込んだ。

7.1.2 緊急整備必要性の順位付け

海岸保全区域における緊急整備の必要性の優先度について、海岸災害の状況及び背後地の状況等から、表 7.1 のように整理した。政府機関や学校等の重要な公共施設のある Fonagafale 島中央部の L-D 地区が最優先となり、次に Funafuti 港と Fonagafale 島中央部を結ぶ道路のある L-C 地区が高い結果となった。

表 7.1 海岸保全区域における緊急整備必要性の順位付け

検討地域		災害の状況 上段: アンケート結果 下段: 越波実態調査結果	背後地の状況	重要度	緊急度
B地区	L-B地区 ラグーン側	浸水と越波災害	家屋はラグーンと道路を挟んで点在。	家屋は少ないが、学校やゴミ処分場へ通じる道路があるため、優先度はやや高い。	3
		越波被害 中			
	O-B地区 外海側	浸水と越波災害(アンケート調査による)。	ストームリッジの背後に家屋が点在。	家屋が少ないことから優先度は低い。	4
C地区	L-C地区 ラグーン側	浸水と越波災害	家屋はラグーンと道路を挟んで連続的に存在。Funafuti港とFongafale島中央部を結ぶ道路がある。	家屋が連続的に存在しFunafuti港とFongafale島中央部を結ぶ道路があることから優先度は高い。	2
		越波被害 大			
	O-C地区 外海側	浸水と越波災害(アンケート調査による)。	storm ridgeを切り崩して人家が建てられている。更に、人家の背後はborrow pit後の池となっている。	危険な箇所へ人が進出したり、ストームリッジを削って家屋の資材にして災害を招いていることは否めないが越波災害の危険度が高い。	3
D地区	L-D地区 ラグーン側	浸水と越波災害	政府機関や学校、病院等の公共施設が海岸に隣接。	基本方針に示されるように重要な公共施設があるため優先度は高い。	1
		越波被害 中			
E地区	L-E地区 ラグーン側	浸水と越波災害	道路を挟んで家屋が点在。	家屋が少ないことから優先度は低い。	4
		越波被害 小			
	O-E地区 外海側	浸水と越波災害(アンケート調査による)。	ストームリッジの背後に家屋が点在。	家屋が少ないことから優先度は低い。	4

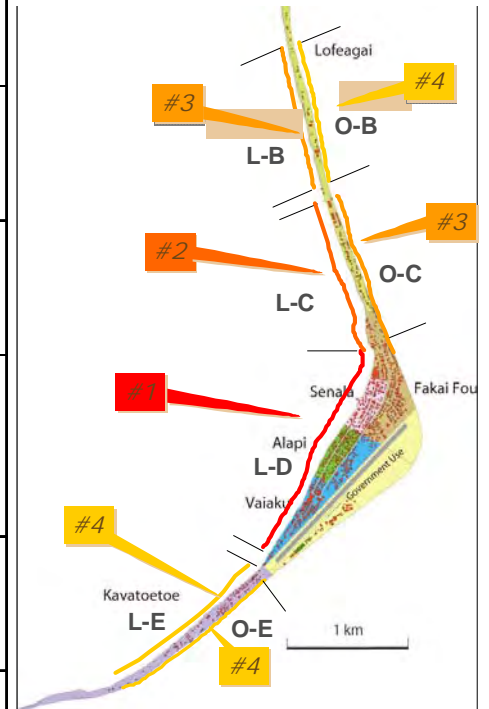


図 7.1 検討地域

7.2 対策工法の選定方針と比較検討

7.2.1 ツバルにおける対策工法の選定についての考え方

(1) 対策工法の選定についての基本的考え方

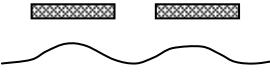

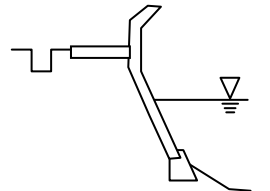

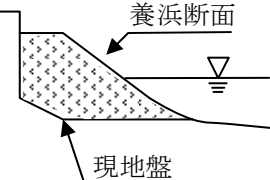

対象地域における対策工法の選定にあたっては、これまでの検討結果を踏まえ、以下のような方針とする。

- 島が本来持っていた伝統的な海岸風景に合った工法とする。
- 海浜の再生を目指すべく、人為的な漂砂移動の阻止を最小限にとどめ、砂の堆積を促進できる工法とする。
- 地域住民の海岸利用状況、船舶の運航状況、及び地域の自然環境を考慮した工法とする。
- 海岸災害の軽減が最大限に図られるよう、ハード対策とともに地域住民が主体となるソフト対策を導入する。

(2) 対策工法の比較検討

現在、対象地域において海岸災害を引き起こすものは、越波に起因するものである。この越波対策については、基本的にハード対策として①離岸堤工法、②護岸工法、③養浜工法の三つが挙げられる。表 7.2 には、ツバル国に適用が可能と考えられるこれらの工法の比較検討結果を示す。

表 7.2 海岸保全施設の比較結果

対策工法(模式図)	施工例(イメージ)	ツバル国における工法の適用		
		長 所	短 所	判 定
離岸堤(平面図) 		<ul style="list-style-type: none"> ・波浪低減による越波対策が期待 ・背後に静穏域がもたらされ、土砂が集積・維持可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺から土砂を集積するため、周辺海岸の侵食を引き起こしたり、ゴミの集積、水質悪化をもたらす場合がある ・海岸景観の阻害 	適用する場合、海岸全域を離岸堤で覆わなければならない非現実的 ×
護岸(断面図) 		<ul style="list-style-type: none"> ・越波に対し直接的な効果が期待 	<ul style="list-style-type: none"> ・反射波により底質の冲向き輸送が生じ、施設前面の洗掘、砂浜の消失の恐れ ・将来の土砂供給による砂浜の再生を阻害する恐れ ・陸から海への景観やアクセスを阻害 	Forum Sand Project による砂浜の再生を阻害 ×
養浜(断面図) 		<ul style="list-style-type: none"> ・周辺海岸への影響が少ない ・将来の土砂供給による砂浜の再生を阻害しない 	<ul style="list-style-type: none"> ・沿岸方向の土砂移動により計画断面を維持するため補助施設が必要 ・粒径が細かいと、沖へ流出しやすくなるため、維持養浜が必要 	粒径を粗くし、沖合への土砂損失を抑え Forum Sand Project による砂浜の再生を阻害しない最低限の補助施設とあわせて適用可能と判断 ○

ラグーン側海岸部については、緊急的・短期的な対策に対してその効果が期待でき、さらに JICA-JST 地球規模課題対応国際科学技術協力「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持」(以下、Foram Sand Project)が進める、長期的な対策(海浜の再生)にも繋がるものとして、粒径の粗い礫材料を用いる養浜工法を採用する。

一方、外海側の海岸は、ラグーン側に比べ海岸侵食防止用の構造物が非常に少なく、サンゴ礁起源の礫で構成されるストームリッジが外海からの波浪に対して極めて重要な役割を担っている。外海側の越波対策については、基本的にストームリッジが低くなっている箇所の修復、その周辺での礫の採取や植生の伐採の規制といったソフト対策が中心となる。

7.3 海岸防護・再生事業の基本方針

7.3.1 事業目標

本調査で立案した海岸防護・再生事業は、海岸侵食等の防止に関する緊急的・短期的な対策事業であり、10年確率波相当の波浪により生じる越波災害を防止することを目的とした海浜整備事業である。目標年次は2020年としている。

7.3.2 事業実施の基本方針

事業実施による効果把握、計画の見直しなど、長期的視点に立った持続的な海岸管理体制を構築するために、順応的管理(PDCAサイクル)の観点から本事業を進める。

7.3.3 地域別の対策方針

地域別の対策方針については、表 7.3 に示す。緊急度 1 から 3 のレベルにある地域については、越波対策としてハード対策とソフト対策の両方を実施し、緊急度 4 以下のレベルにある地域についてはソフト対策のみを実施する。また、緊急度 1 および 2 の地域における対策案として示されている沿岸ボロービット埋め戻しは、以下のような効果を高めるものとして検討する。なお、沿岸ボロービットは、太平洋戦争中に米軍の基地および飛行場などの建設のための土砂を得るために、沿岸のリーフフラットを沖合にわたり掘削した跡地である。

1. 波浪エネルギーの低減(消波効果を高める)
2. 沿岸方向の砂の移動・堆積の促進(沿岸ボロービットの存在により、離岸流の発生等により砂が沖合へ流出したり、砂の沿岸方向の移動の障害になっている。砂の通り道を確保し、沿岸への砂の堆積を促進させる。)

表 7.3 地域別の対策方針

検討地域		重要度	緊急度	考えられる対策案 上段:ハード対策 下段:ソフト対策
B地区	L-B地区 ラグーン側	家屋は少ないが、学校やゴミ処分場へ通じる道路があるため、優先度はやや高い。	3	ストームリッジ嵩上げ 礫材不法採取・掘削対策 植生不法伐採対策 海岸災害の発生原因と対策の啓発活
	O-B地区 外海側	家屋が少ないことから優先度は低い。	4	ハード対策なし 礫材不法採取・掘削対策 植生不法伐採対策 海岸災害の発生原因と対策の啓発活
C地区	L-C地区 ラグーン側	家屋が連続的に存在しFunafuti港とFongafale島中央部を結ぶ道路があることから優先度は高い。	2	ストームリッジ嵩上げや礫養浜 沿岸ポーロビッド埋め戻し 礫材不法採取・掘削対策 植生不法伐採対策 海岸災害の発生原因と対策の啓発活
	O-C地区 外海側	危険な箇所へ人が進出したり、ストームリッジを削って家屋の資材にして災害を招いていることは否めないが越波災害の危険度が高い。	3	ストームリッジ嵩上げ 礫材不法採取・掘削対策 植生不法伐採対策 海岸災害の発生原因と対策の啓発活
D地区	L-D地区 ラグーン側	基本方針に示されるように重要な公共施設があるため優先度は高い。	1	ストームリッジ嵩上げや礫養浜 沿岸ポーロビッド埋め戻し 植栽 礫材不法採取・掘削対策 植生不法伐採対策 海岸災害の発生原因と対策の啓発活
E地区	L-E地区 ラグーン側	家屋が少ないことから優先度は低い。	4	ハード対策なし 礫材不法採取・掘削対策 植生不法伐採対策 海岸災害の発生原因と対策の啓発活
	O-E地区 外海側	家屋が少ないことから優先度は低い。	4	ハード対策なし 礫材不法採取・掘削対策 植生不法伐採対策 海岸災害の発生原因と対策の啓発活

7.4 海岸保全施設の基本設計

7.4.1 対策施設の標準断面の検討

優先度が最も高いL-D地区および2番目に優先順位の高いL-C地区を計画エリアとし、礫養浜の標準断面について検討した。表 7.4 に計画エリアのリッジ高と参考のため現況断面における波のうちあげ高を示す。これらから、礫養浜による必要な後浜高および後浜幅は表 7.5 のとおりとなる。

表 7.4 後浜高および後浜幅の設定

Area	Line	リッジ高 (C.D.L.m)	後浜高 (C.D.L.m)	波のうちあげ高 10年確率波+H.H.W.L. (C.D.L.m)			波のうち あげ高 年数回波 +H.W.L (C.D.L.m)
				後浜幅(m)			後浜幅(m)
				現況	10	15	現況
L-C	Fun141	4.0	4.0	4.6	4.1	4.0	3.5
	Fun142	4.0		5.0	4.2	4.0	3.6
	Fun26	4.1		4.8	4.2	4.0	3.6
	Fun27	4.1		5.0	4.2	4.0	3.6
	Fun144	3.9		5.1	4.1	4.0	3.7
	Fun145	4.1		5.1	4.1	4.0	3.7
	Fun146	4.1		5.0	4.2	4.0	3.6
	Fun147	3.8		4.9	4.1	4.0	3.4
L-D	D-1	Tuv46	4.0	4.6	4.1	4.0	3.8
		Fun30		4.3	4.2	4.0	3.5
		Fun148		5.1	4.1	4.0	3.5
		Fun149		5.0	4.4	4.0	3.6
		Fun150		4.2	4.0	—	3.6
	D-3	Tuv69	4.0	4.5	4.1	—	3.4
		Fun155		4.8	4.1	—	3.6
		Fun156		5.1	4.2	4.0	3.9

注)赤字はうちあげ高を満足しない浜幅のうちあげ高、青字は満足する場合のうちあげ高

表 7.5 礫養浜の必要後浜高および後浜幅

地 区	後浜高(C.D.L.)	後浜幅	
L-C	+4.0m	15m	
L-D	D-1	+4.0m	
	D-2	現況でうちあげ高を満足するため、対策は行わない。	
	D-3	+4.0m	0m~15m

8 海岸防護・再生計画に係る地域住民との合意形成

8.1 地域住民への公聴会

(1) 公聴会の位置づけ

海岸防護・再生計画の策定プロセスを住民参画の観点から整理したものが図 8.1 である。

公聴会は2010年6月と2010年9月の2回計画された。公聴会を通じて住民より得られた意見は、さらなる情報・データ分析結果とともに計画案に反映させることとした。

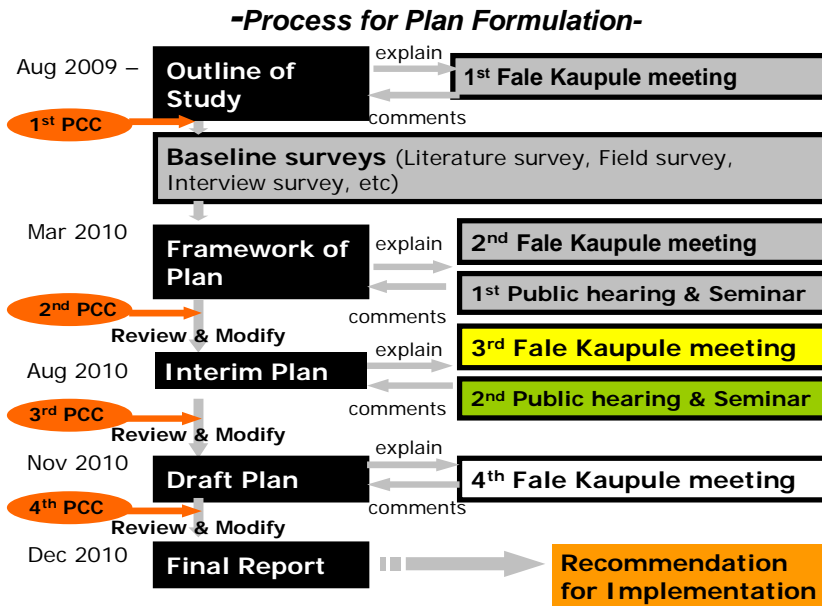


図 8.1 住民参画の観点から整理した海岸防護・再生計画の策定プロセス

(2) 対象

最優先地域である Fongafale 島中央部のラグーン側 3 地区 (Senala、Alapi、Vaiaku) の沿岸部に居住する住民を対象とし、公聴会は①Fale Kaupule (フナフチ出身長老)、②女性グループ、③全住民、④青年グループ、⑤漁民グループの 5 グループを対象に個別に実施することとした。

(3) 発表内容

① 第 1 回公聴会

プレゼンテーションでは、まず調査の概要を述べた後、ベースライン調査の結果に基づきツバルにおける海岸災害の実態について説明を行った。続く海岸防護・再生計画の基本方針及び対策事業 (案) の説明では、護岸、離岸堤、養浜といった代表的な海岸防護対策の利点及び欠点について述べ、どの対策が最適か参加者自身に検討させるように工夫した。最後に、質疑の時間を設け、対象エリアにおける利用実態、また、対策事業実施による生じ得る懸念や弊害についての把握を図った。

② 第 2 回公聴会

第 2 回公聴会は、前半をツバルにおける海岸防護と題してセミナーとし、上記の第 1 回目の公聴会のプレゼンテーション内容のうち「1」～「3」について発表した。後半は、対策事業に特化した内容とし、第 1 回目の公聴会や PCC など特に議論になった項目について議論を行い、意見の集約を図った。

8.2 公聴会から得られた結論

公聴会を通じて得られた主な結論は、以下のとおりである。

- 公聴会を通じて、住民は各対策案の利点と欠点を理解し、最終的には調査団が提案する礫養浜に対する合意形成が図られた。
- コミュニティにおける最高意思決定機関である Fale Kaupuleにとどまらず、男性グループ、女性グループ、青年、漁民など多様な主体を対象に公聴会を実施したことで多様な意見を集約し、計画への反映を試みることができた。
- 公聴会の準備・実施を通じ、Funafuti Kaupule 職員自身の海岸防護及び事業に対する理解及び住民説明に係るキャパシティの向上につながった。本調査後も住民との合意形成に向けた彼らの役割が期待される。

9 フィージビリティスタディ

9.1 優先プロジェクト対象地区の選定

海岸保全区域における緊急整備の必要性について、優先度が最も高い Fongafale 島中央部の L-D 地区と二番目に優先度が高い Funafuti 港と Fongafale 島中央部を結ぶ道路のある L-C 地区においてフィージビリティ調査を実施した。

9.2 海岸保全施設的设计

9.2.1 養浜の平面形の検討

うちあげ高を満足する断面形で養浜を実施しても沿岸方向へ礫が移動し断面積が小さくなると防護効果を損なうことになる。したがって、汀線変化予測モデルを構築し、養浜を実施した後の汀線変化を予測し、防護効果を発揮する適切な平面形を検討した。平面形の検討においては、うちあげ高が現況のリッジ高または礫養浜の後浜高 C.D.L.+4.0m 以下となる浜幅を確保することを目標とするが、礫材の入手、端部処理の導入等の経済性および海岸の利用を考慮して、後述のパラペットと合わせてうちあげ高が C.D.L.+4.5m 以下となるように計画した。L-C、L-D 地区における海岸保全施設の概要は、表 9.1 に示す。

表 9.1 海岸保全施設の概要

	地区	後浜高さ (C. D. L.)	後浜幅	パラペットの 天端高 (C. D. L.)	端部処理堤
L-C		+4. 0m	15m	+4. 5m	6 基
L-D	D-1	+4. 0m	15m	+4. 5m	2 基
	D-2	現況でうちあげ高を満足するため、対策は行わない。			
	D-3	+4. 0m	10m	+4. 5m	1 基

(1) パラペット

パラペットは、以下の理由から養浜区域の岸側に低天端のパラペットを設置する。

- ・今後 50 年間に予想される海面上昇量 11.5cm（フナフチ港の実績）から 19.0cm（IPCC 第 4 次評価報告書の最大値）に伴い増大する越波量へ対応するため。
- ・うちあげ高を満足させるためにさらに多くの礫材を投入することを避けるため。
- ・10 年確率波浪を越える波が作用した場合、礫は陸域へ打ちあがり、この礫を除去するメンテナンスが必要となるため。
- ・養浜による土地と従来土地の境界を明確にするため。

(2) 端部処理堤

汀線変化予測モデルによる計算結果によると、養浜した礫の一部が沿岸方向に移動し、後浜幅が後退し、うちあげ高を満足しないところが発生することが予測された。そのため、礫の沿岸方向への移動防止対策として、端部処理堤が必要である。なお、今後、礫養浜として投入する礫について、パイロット工事により現地の波浪に対する移動特性を確認し、端部処理施設の詳細検討を行うことが最適である。

(3) ボローピットの埋め戻し

ボローピットは、水深が深いので波浪が減衰せず直接海岸へ打ち寄せるため、越波の要因の一つになっている。また、将来、砂の供給が回復した際に、砂の移動を阻害するため、埋め戻しておく必要がある。埋め戻しの対象となるボローピットは、北側から砂の供給が期待されるため、L-C 地区の 2 箇所（BP-1、BP-2）および L-D 地区の 1 箇所（BP-3-N）である。

9.2.2 礫養浜地区の植栽

植栽工は養浜工の一部として位置付け、養浜した礫の閉め固め及び高波浪時における陸への礫の打ち込みや波の飛沫の飛散を防止するために設ける。植栽の維持管理は長期間に亘る持続的な活動であるため、地域住民が主体となり維持管理を実施していく。20 m²の方形区を 5 箇所（内 1 箇所はナーセリーとして予備活用）設定する。試験区は、主林木としてココヤシを中央に 2m 間隔に植付け、その前後を列状に交互にパンダナス、クサトベラを植栽する。

9.3 養浜材の検討

9.3.1 養浜材の国内調達

養浜材料は可能な限りツバル国内で現地調達することが望まれる。これまでの現地調査により、養浜礫の国内調達先として以下の場所が選定された。

- a) 環礁南東部にある州島の両端部（フナマヌ島、ファレファトゥ島、マテイカ島）
- b) 滑走路周辺の礫材

9.3.2 礫材の推定賦存両と計画採掘量

礫材の推定賦存両及び本計画の採掘可能量は、表 9.2 のとおりになる。

表 9.2 礫材の計画採取量

項目	工区名称	礫材の推定賦存量 (m3)	礫材の計画採掘量 (m3)
B. 礫材の賦存量			
B-1 州島			
フナマヌ島	北端	11,110	11,110
	南端	11,946	11,946
ファレファトゥ島	北端	5,089	5,089
	南端	1,461	0
マテイカ島	北端	4,915	0
小計		34,521	28,145
B-2 滑走路			
(A) 北端	(A) 北端	5,355	5,355
	(B)	6,919	6,919
	(C)	1,680	1,680
	(D)	1,680	1,680
	(E)	9,138	9,138
	(F) 南端	5,950	5,950
小計		30,722	30,722
合計		65,243	58,867

9.4 対策工の提案

対策を必要とする優先度、礫材の現状の調達状況および越波対策の効果を検討して、優先プロジェクトとして実施する対策工は表 9.3 に示す第 1 案とする。ただし、礫材の調達量の増大が見込まれる場合は、その量に応じて第 2 案以降を採用するものとする。第 3 案の L-C 地区のパラベットは第 4 案の礫養浜と合わせて効果を発現するもので、第 4 案の暫定工となり、第 3 案だけでは L-C 地区のうちあげ高は満足できないことに注意が必要である。対策工の平面図を図 9.1 に示す。

表 9.3 対策工の提案

対策工	必要土量 (m3)	概算事業費 (百万円)	第1案	第2案	第3案	第4案
直接工事費						
L-C 工区						
礫養浜	36,090	325.8				○
パラベット	1,077	36.3			○	○
ポローピット BP-1	15,505	136.8		○	○	○
BP-2	7,119	62.8		○	○	○
L-D 工区 (D-1, D-3)						
礫養浜	52,191	134.8	○	○	○	○
パラベット	533	18.0	○	○	○	○
ポローピット BP-3N	1,140	10.1		○	○	○
直接工事費(礫・海砂採取)			248.6	308.2	324.5	324.5
仮設・諸経費・設計監理費等			153.9	252.4	271.0	375.3
必要土量(m3)			52,724	76,488	77,565	113,655
概算事業費(百万円)			555.3	923.1	994.3	1,424.4

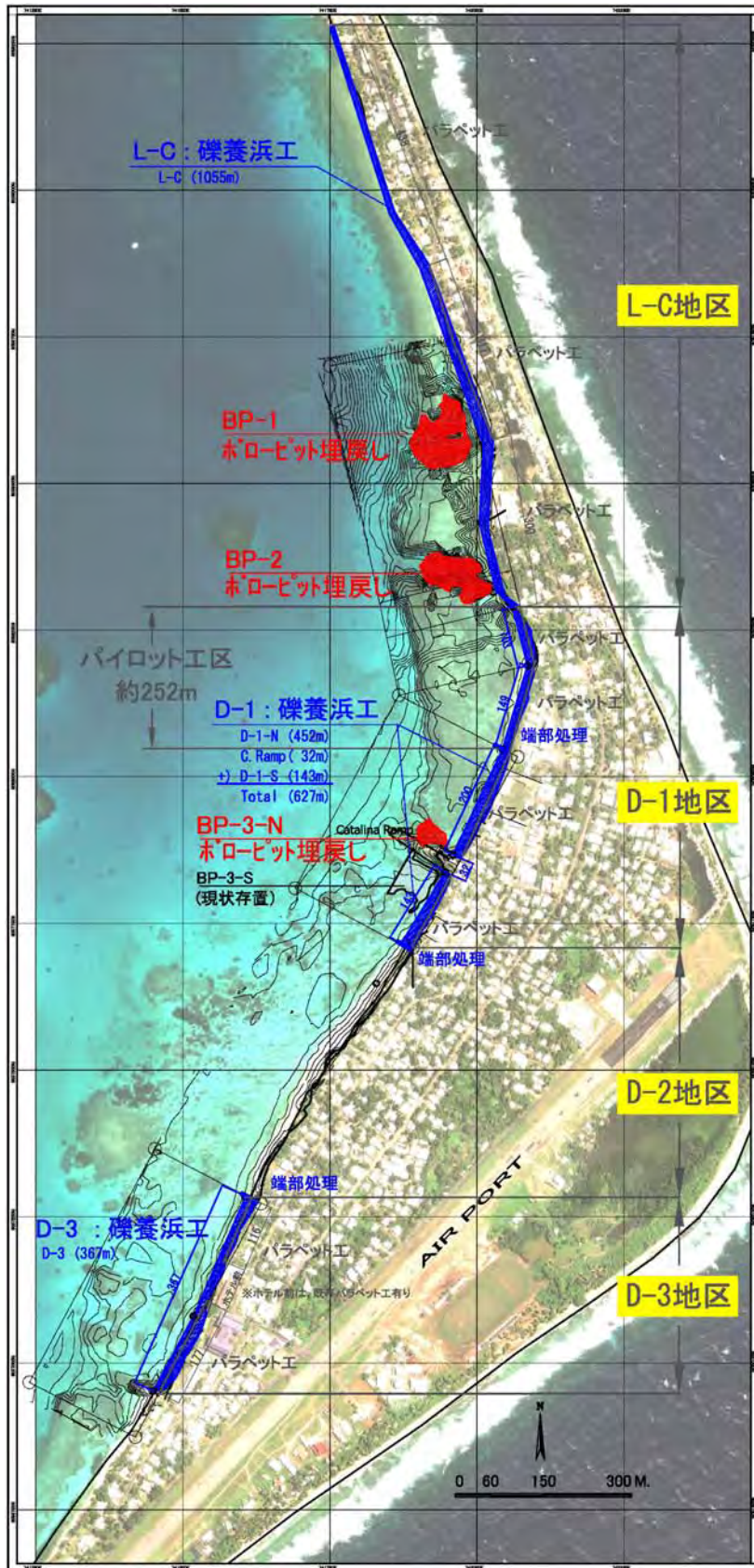


図 9.1 対策工平面図

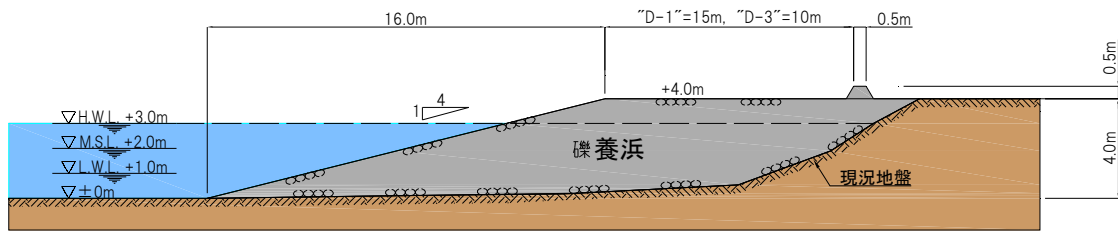
9.5 施工計画

9.5.1 礫養浜工の検討

(1) 礫養浜の断面

礫による養浜工断面は、以下のとおりとする。

- －後浜幅： D-1 地区=15m、D-3 地区=10m
- －後浜の天端高： C. D. L. +4.0m
- －斜面勾配： 1 : 4



例：法尻水深±0.0m、現地盤頂部+4.0mの場合)

図 9.2 礫養浜工の標準断面

(2) 端部処理堤（兼固定式船揚場）

端部処理堤は、固定式の船揚げ場を兼用するものとする。現地では船体重量が重い木造船を人力で押し上げる必要があることから斜路勾配は1 : 6より急勾配にすることは、現状と比較しても利用上、人力での船揚げ作業に困難と考えられることから、船揚げ場の斜路勾配は1 : 6とする。

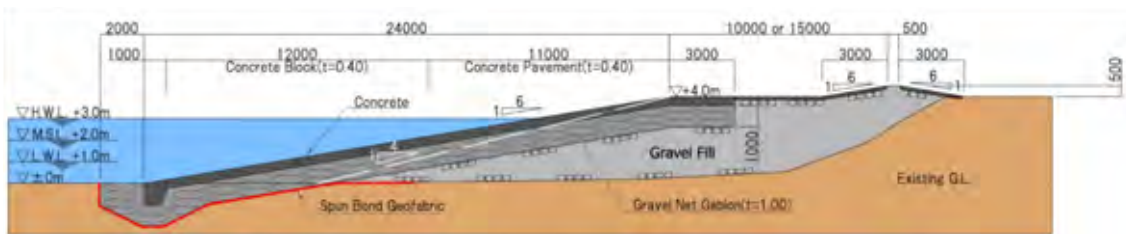


図 9.3 端部処理堤（兼船揚場）の標準図

9.5.2 ボローピット埋め戻し工の検討

ボローピット内に中詰めして埋め戻す場合、通常ならば、全て礫材を投入して埋め戻すことがもっとも安全かつ経済的だが、対策工に必要なとされる礫材に対して、現地で採取できる礫材の量の収支が▲54,788m³と不足することから、ボローピットの埋戻しには、可能な限りラグーン側海底の浚渫土を中詰め材として使用する。

また、浚渫土を中詰めにする場合の工法としては、1. 土砂直接工法、2. 大型土嚢工法、3. セメント固化処理工法がある。なお、中詰め工法が上記のいずれの場合でも、ボローピットの海側の出入口の法面と平坦部の表層については、侵食と完成後の海底の生態系に配慮し

て厚さ 50cm 程度の自然石を敷き均し侵食から防護するものとする。

9.5.3 材料採取工の検討

(1) 滑走路の礫材の採取

滑走路からの礫材の採取工事は、下記の工種からなる。

1. 礫の掘削と搬出,
2. 浚渫土を用いた置換埋め戻し,
3. 均し、締固め
4. 清掃、資機材撤収

(2) 州島の礫材の採取

州島からの礫材の採取工事は、環礁南東部にある州島（フナマヌ島の北端と南端、およびファレファトゥ島の北端）に満潮時に静穏なラグーン側からアクセスし、台船からバックホウを降ろし上陸させ、礫をバックホウにより採取してダンプトラックで台船に積み込み、タグボートと台船によりフォンガファレ島に海上輸送する。

(3) 海砂の採取（浚渫）

フォンガファレ島沖では、1990年代に SOPAC によりラグーン海域の海底砂を浚渫してローピットを埋める為の調査研究の一環として底質調査と小型浚渫機材を用いたパイロット浚渫プロジェクトが実施されている。そこで、海砂の採取（浚渫）は、SOPAC によるパイロット浚渫地区と同じ地区において実施する予定である。浚渫工法としては、グラブ式、サンドポンプ式、エアリフト式が考えられるが、本計画では、浚渫規模、経済性と機材の維持管理を考慮してエアリフト式として計画する。

海砂を採取する海域の底質は、礫を含んでいるが、砂とシルトの境界線上にある細粒分質砂（FS）である。そのため、通常の砂に比べ、沈降作用が小さいことから、浚渫に伴う濁りがより広域に拡散することが懸念される。周辺海域にはサンゴ類はじめ多様な生物種が生息していることから、浚渫区域や浚渫砂による埋め戻し区域周辺については生態系への悪影響が生じないように汚濁防止膜を展張するなどの濁り防止対策を講じる計画である。

9.5.4 工程計画

図 9.4 に全体の工程計画案を示す。

◆第1案 (延べ工期：11.5ヶ月、現地実質工期：9.0ヶ月)

工種	工事数量 (m ³)	作業量 (m ³ /d)	日数	月数	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
現地工期				9.0																						
調達・準備・輸送				4.0																						
州島礫採取	28,145	250	113	4.5																						
滑走路礫採取	18,923	250	76	3.0																						
浚渫	24,579	250	98	3.9																						
礫養浜 (礫)	46,535	500	93	3.7																						
(砂)	5,656	160	35	1.4																						
バラベット工	533	10	53	2.1																						
ボロービット埋戻し (礫)	0	250	0	0.0																						
(砂)	0	250	0	0.0																						

◆第2案 (延べ工期：19.0ヶ月、現地実質工期：12.0ヶ月)

工種	工事数量 (m ³)	作業量 (m ³ /d)	日数	月数	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
現地工期				12.0																						
調達・準備・輸送				4.0																						
州島礫採取	28,145	250	113	4.5																						
滑走路礫採取	26,550	250	106	4.2																						
浚渫	48,343	250	193	7.7																						
礫養浜 (礫)	46,535	500	93	3.7																						
(砂)	5,656	160	35	1.4																						
バラベット工	533	10	53	2.1																						
ボロービット埋戻し (礫)	7,627	250	31	1.2																						
(砂)	16,137	250	65	2.6																						

◆第3案 (延べ工期：21.5ヶ月、現地実質工期：15.0ヶ月)

工種	工事数量 (m ³)	作業量 (m ³ /d)	日数	月数	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
現地工期				15.0																						
調達・準備・輸送				4.0																						
州島礫採取	28,145	250	113	4.5																						
滑走路礫採取	30,722	250	123	4.9																						
浚渫	52,515	250	210	8.4																						
礫養浜 (礫)	46,535	500	93	3.7																						
(砂)	5,656	160	35	1.4																						
バラベット工	1,610	10	161	6.4																						
ボロービット埋戻し (礫)	7,627	250	31	1.2																						
(砂)	16,137	250	65	2.6																						

◆第4案 (延べ工期：21.5ヶ月、現地実質工期：15.0ヶ月)

工種	工事数量 (m ³)	作業量 (m ³ /d)	日数	月数	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
現地工期				15.0																						
調達・準備・輸送				4.0																						
州島礫採取	28,145	250	113	4.5																						
滑走路礫採取	30,722	250	123	4.9																						
浚渫	52,515	250	210	8.4																						
礫養浜 (礫)	82,625	500	165	6.6																						
(砂)	5,656	160	35	1.4																						
バラベット工	1,610	10	161	6.4																						
ボロービット埋戻し (礫)	7,627	250	31	1.2																						
(砂)	16,137	250	65	2.6																						

図 9.4 全体工程表 (案)

9.6 維持管理・運営計画

9.6.1 維持管理計画

(1) 維持管理に必要な項目

施工した海岸保全施設の維持管理として必要な項目は、次のようなものが考えられる。

- ① 陸域に礫が打ち上がった場合の礫の回収と礫浜への再投入
- ② 海岸での礫、砂の採取の禁止と取り締まりの実施
- ③ パラペットや端部処理等の付帯施設の補修
- ④ パラペットや端部処理等の付帯施設の破壊行為の禁止と取り締まり
- ⑤ 許可なき護岸、栈橋、防波堤の建設及び浚渫、海岸掘削等、ストーム・リッジを含む海岸形状を変更する行為の禁止と取り締まりの実施
- ⑥ 海岸植栽の実施と更新
- ⑦ 海岸植栽の不法伐採禁止と取り締まりの実施
- ⑧ 対策工の効果や環境への影響を把握するためのモニタリング調査

9.6.2 モニタリング計画

(1) モニタリング項目

各対策工による効果や影響を把握するために、以下のようなモニタリング調査を計画する必要がある。

表 9.4 モニタリング項目と調査概要

調査項目	調査目的	調査概要
水質	・ 工事中の礫投入による濁りの拡散状況の把握	代表地点において、濁度調査を実施
地形測量	・ 礫養浜実施前後の地形変化状況の把握 ・ 礫採取後の周辺地形への影響把握	礫養浜後の代表側線において、汀線の内陸側約30m地点から沖合100m程度の範囲における地形測量および定点写真撮影 礫採取地域における代表測線の深浅測量
底質調査	・ 礫養浜実施前後の礫の拡散状況等の底質状況の把握	養浜礫の沖側境界における写真撮影および位置の測定（基点からの距離）
海洋生物調査	・ 礫養浜実施前後の海洋生物（サンゴ、藻類、底生動物等）や海底状況の把握	潜水目視観察による生物・底質状況の観察を行い、生物や底質の変化状況等を考慮して写真撮影による記録を整理
植生・景観調査	・ 礫養浜実施前後の植生および景観の変化状況の把握	代表地点において、植栽したパンダナス等の植生状況および景観について写真撮影による記録を整理
海岸利用者ヒアリング調査	・ 本事業による海岸利用への影響や効果その他問題点の把握	本事業による影響等について、漁業者はじめ地域住民へヒアリングを実施（モニター制度の導入；予めモニターを決めて情報を提供してもらうようにする）
礫養浜の効果・影響評価	・ 礫養浜が計画通りの変形に収まり、防災上の効果を発揮しているか評価 ・ 周辺海岸への影響評価	計画時の予測と調査結果を比較検討し礫養浜の効果・影響を評価し、必要に応じて修正計画を立てる。
公聴会	礫養浜実施後の住民の意見を聞き、必要に応じて修正計画を立てる。	調査時に実施した各グループ別に住民ヒアリングを実施し、礫養浜実施後の問題点・課題を整理する。

(2) モニタリング実施体制と調査工程

施工後のモニタリングについては、以下のような組織で実施することが望ましい。しかしながら、ツバルの公共機関（政府機関、カオプレ (Kaupule)）は、これら項目に関するモニタリング調査経験がほとんど無い。さらに、地域住民においても、住民参加型のプロジェクトや環境モニタリングの経験が乏しい。今後、このような官民協働によるモニタリング体制を構築するうえで、これらのモニタリング技術に関する能力強化（キャパシティ・ディベロップメント）が必要である。

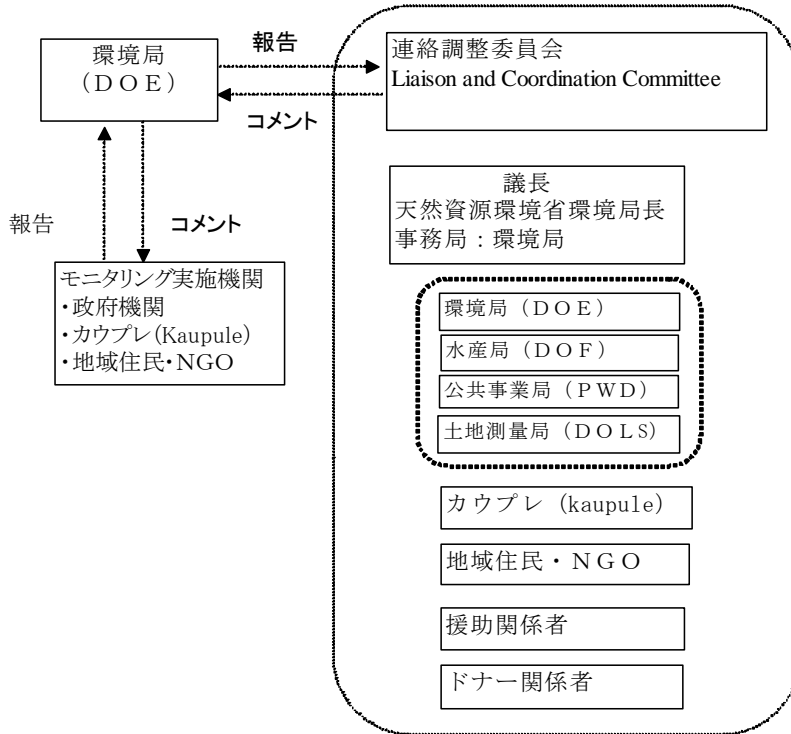


図 9.5 モニタリングに関する連絡協議会の体制

調査工程は、第一年次にパイロット工事を実施し、ラグーン側で高波浪となる雨季を経てモニタリングを実施し、礫養浜の効果・影響の評価、住民に対する公聴会を行い必要に応じて計画に反映させるものとする。

表 9.5 調査工程

内容	1年次	2年次	3年次	4年次	5年次	6年次 以降
工事	(4-12月) パイロット		(4-12月) 本工事	(4-8月) 本工事		
モニタリング調査 (第1段階)		(4-7月)	(4-7月)	(4-7月)	(4-7月)	
モニタリング調査 (第2段階)						(4-7月)

9.6.3 運営計画

カウプレが骨材不法採取対策や不法伐採対策を実施しているとはいえ、それらは効果的に機能していない。その原因はカウプレの監視体制の不備もあるが、住民自身の海岸保全に対する骨材不法採取や不法伐採の悪影響への認識が低いこと、海岸保全の意識が低いことによっている部分が多い。アウェアネスの一環として、海岸防災対策（越波対策）のソフトコンポーネントの実施が必要である。また、ツバル国政府に求められていることは、政府でできる範囲の維持管理計画に対する財政支援の他に、本計画実施の前提として整備すべき法令の立法化と施工後のモニタリングにおいて主導的な役割を果たすことである。

9.7 概算事業費

本計画を実施した場合の概算事業費は、表 9.6 のとおりとなる。

表 9.6 対策工（4案）のコンポーネント構成と概算事業費

対策工	第1案	第2案	第3案	第4案
直接工事費				
L-C 工区				
礫養浜				○
パラペット			○	○
ボローピット BP-1		○	○	○
BP-2		○	○	○
L-D 工区 (D-1, D-3)				
礫養浜	○	○	○	○
パラペット	○	○	○	○
ボローピット BP-3N		○	○	○
概算事業費(百万円)	555.3	923.1	994.3	1,424.4

また、養浜礫材の砂の挙動の検証、対策工に対する住民意見の確認、ボローピットの埋戻しに当たって流況、材料、工法の実証実験を目的にパイロット工事として、D-1地区の北側（延長約 252m 分）の礫養浜とパラペット工を実施した場合の事業費は、礫材の調達方法によって下記のとおりとなる。

パイロット第1案（滑走路の礫材）：	約 1 5 3 . 4 百万円
パイロット第2案（州島の礫材）：	約 8 4 . 6 百万円
パイロット第3案（輸入の礫材）：	約 1 1 7 . 0 百万円

10 財務経済分析

10.1 費用対効果分析の方針

10.1.1 評価対象期間

本事業の評価目標年は 2020 年であるが、構築された海岸は残存するため、本計画の評価対象期間は 50 年とする。

10.1.2 便益の算定方法

海岸防護策の便益は原則的に次の等式に基づいて算定される。

$\begin{aligned} \text{海岸防護策便益} &= \text{浸水防護便益} + \text{侵食防止便益} + \text{飛砂・飛沫防止便益} + \text{海岸環境保全便益} \\ &\quad + \text{海岸利用便益} + \text{土地増加便益} \\ &= \text{避けられる災害被害} + \text{対策により新たに増加する便益} \\ &= (\text{計画実施しない場合の被害額} - \text{計画実施した場合の被害額}) + \text{増加便益} \end{aligned}$
--

生活実態アンケート調査で得られたデータを基に、我が国の「治水経済調査マニュアル」を参考にし、被害額を推定する。また、けがや洪水後の病疾患等の人的損失については、英国環境食料地方局のガイドラインを参考にして被害額を推定する。

10.2 財務分析

太平洋島嶼国の危機対策事業については過去の経済分析で使用された割引率か、該当国で実際に使われている利率にすることが推奨されている。SOPAC が実施したフナフチのラグーン内礫採取の経済分析では 10%、7%、3%を適用している。2010 年 9 月現在のツバル国立銀行貯蓄口座利率は 1.5%/年である。本分析では 1.5%を適用する。

10.2.1 財務的内部収益率

各案の財務的内部収益率(Financial Internal Rate of Return : FIRR) を次表に示す。第 1 案の FIRR が最大であり、最小は第 4 案である。

表 10.1 財務的内部収益率(FIRR)

	FIRR
第 1 案	9.60 %
第 2 案	5.93 %
第 3 案	5.42 %
第 4 案	3.25 %

10.3 経済分析

10.3.1 経済評価結果

各案の経済分析を行った結果を次表に示す。

表 10.2 経済分析（礫材を国内調達）

評価指標	第1案	第2案	第3案	第4案
NPV	AU\$ 19,034,353	Au\$ 16,896,621	Au\$ 16,245,361	Au\$ 11,390,156
CBR	419 %	267 %	251 %	173 %
EIRR	11.60 %	7.25 %	6.77 %	4.28 %

第1案の経済性がEIRR 11.6%ともっとも良好である。第2案及び第3案のEIRRは6%を超えており事業実施に経済性があるが、第4案のEIRRは5%を下回っており、公共事業としての経済性は低い。

次表に礫材を輸入した場合の各案の経済分析結果を示す。

表 10.3 経済分析（礫材を輸入した場合）

評価指標	第1案(輸入)	第2案(輸入)	第3案(輸入)	第4案(輸入)
NPV	AU\$ 18,009,359	Au\$ 17,089,842	Au\$ 26,928,918	Au\$ 26,928,918
CBR	357 %	273 %	259 %	163 %
EIRR	9.86 %	7.41 %	6.99 %	3.95 %

礫材を輸入した場合では、第1案の経済性がEIRR 9.86%ともっとも良好であるが、礫材を国内調達した場合と比較すると低くなっている。

第2案及び第3案のEIRRは礫材を輸入した場合の方が良好である。ただし、燻蒸処理された輸入礫材を大量に海中に投じた場合の環境影響評価と国内で調達可能な資材の輸入の是非の検討が必要である。

第4案は礫材を輸入した場合の方が礫材を国内調達した場合よりもEIRRが一層低くなっており、経済性は低い。

11 環境社会配慮

11.1 初期環境影響評価（PEA）

本調査において検討された施設形状を基に初期環境影響書（PEA）を事業実施者である環境局とともに作成した。この段階で評価者としての環境局がPEAを審査、担当大臣が、「計画している事業が環境に大きな影響を及ぼす」と判断した場合は、より詳細な環境影響評価（EIA）を実施する必要がある。

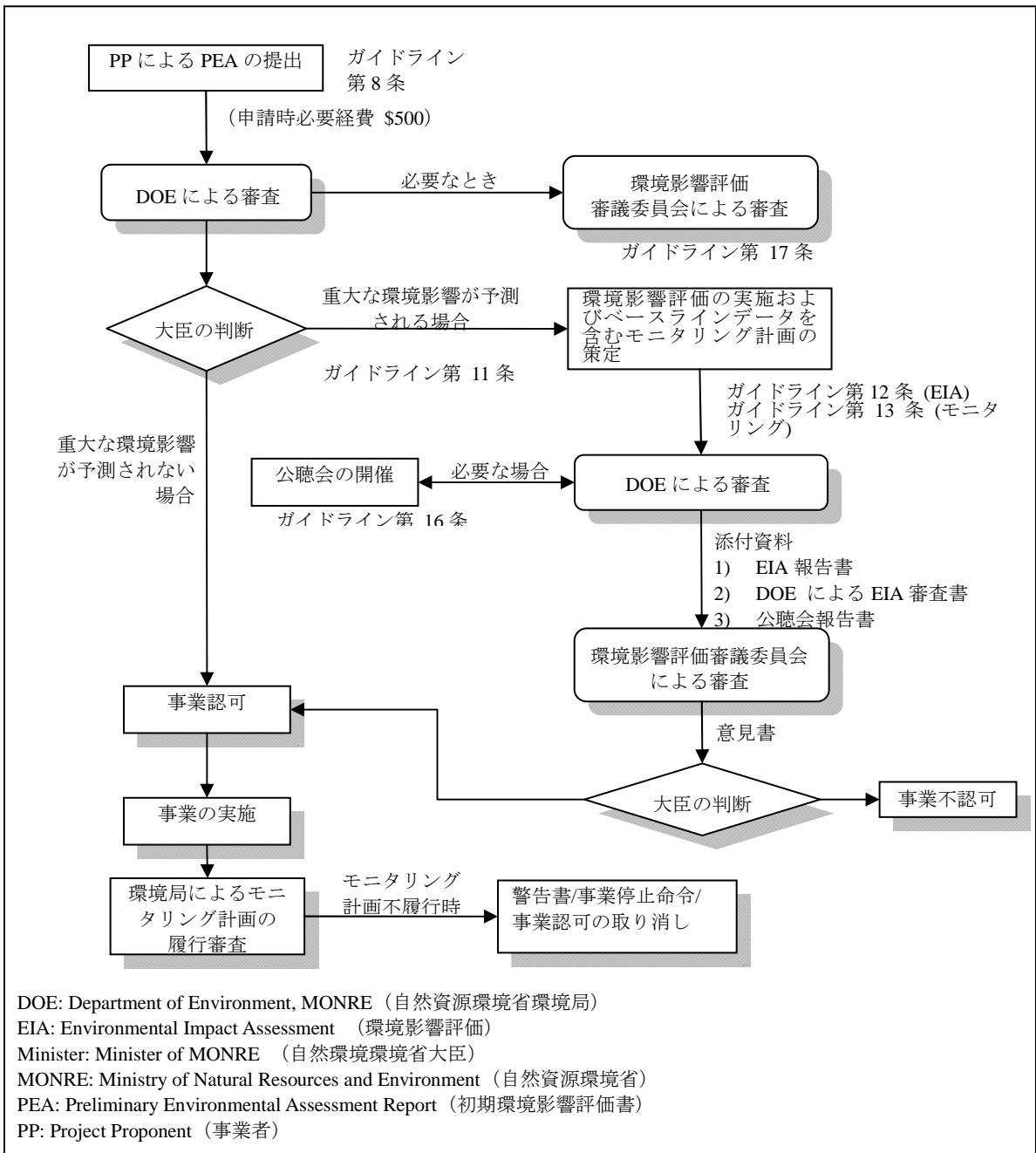


図 11.1 環境影響評価（案）実施の流れ

11.2 影響の予測と緩和策

下表は PEA によって得られた結果であり、事業によりマイナスの環境社会影響が発生すると考えられる事項の一覧である。それぞれの緩和対策は以下の通り考えられる。

表 11.1 緩和策が必要な事業の影響一覧

項目	期間		マイナスの影響と緩和策
	建設中	供用中	
既存のインフラ及びサービス	-d	-b	1) 沖側に延伸された礫浜と陸上に建設予定のパラペットは漁船の揚げ降ろしの障害になる可能性があるため、船の揚下ろしを容易にする形状を付加する等、細部設計を見直す必要がある。
			2) 米軍の掘削した深い航路部分は航路と漁船の係留に使用されているが、礫による埋め戻しは既存の利用を阻害する可能性がある。埋め戻し計画とその影響について住民が理解し、納得する必要がある。
			3) 礫は Amatuku 連絡線用の Luapou 栈橋を埋没させることから、この栈橋の機能を保全する必要がある。
便益に係る地域の関係者間の係争	-d	-a	4) 礫養浜を実施した区域の土地所有権は問題となる可能性が高い。土地所有権については建設前に帰属を明確にしておく必要がある。
水の利用、水利権、その他地域住民の有する公的権利等	-d	-b	5) 現状における通勤・通学用船舶の発着機能（栈橋）、漁船の移動・係留環境（航路の深み）、海岸への自由なアクセスは、礫養浜後にも確保される必要がある。
植物、動物、生態系	-b	-d	6) 礫採取予定地として Funamanu 島、Falefatu 島、および Mateika 島の砂嘴が検討されている。これらの島に舳を接岸するとき、もしくは搬出用仮栈橋を造成するときにサンゴの生息地と交錯する可能性があるが、その場合サンゴの移植を確実にを行うことが求められる。

-a: 重大な影響が予想される項目

-b: “-a”より軽微な影響が予想される項目

-c: 現段階では影響の発生が不明だが調査段階で明らかになると考えられる項目
(プロジェクトの進捗に伴って影響が自ら明らかとなる場合、詳細調査は不要)

-d: 影響がない場合、もしくはマイナス影響は軽微で無視できる程度の項目

11.3 今後の予定

JICA の環境社会配慮ガイドラインにおいて珊瑚礁の改変は詳細な環境影響評価が必要となり得る対象地域のひとつである。今後施設形状の細部を最終決定する段階で、環境社会影響が少ない礫養浜の形状および礫の端部処理の方法、背後の部分的なパラペット形状変更、礫の埋め戻し範囲や離島の礫掘削量・掘削工法、サンゴの移設方法、維持管理手法の検討等を行うことは、より環境影響の少ない施設計画策定に重要な作業であると考えられる。

12 提言及び今後の課題

本プロジェクトの実施に向けての提言及び今後の課題は、次のとおりである。

- (1) 本プロジェクトにより埋め立てられる海浜の土地所有権の明確化
- (2) 滑走路安全地帯における礫の採取工事と海砂による置換え工事について
- (3) 海岸災害に関するソフト・コンポーネント対策の実施
- (4) パイロット工事の実施
- (5) 維持管理組織の設置
- (6) モニタリング技術の能力強化
 - ツバル政府および Kauple 職員に対するモニタリング技術の指導
 - 住民参加型のモニタリングの指導
 - 住民参加型の植栽活動の技術移転
- (7) ツバルにおける環境影響評価制度の確立
- (8) 船揚場の設置