

モーリシャス国

環境・持続開発・災害・海浜管理省(MOESDDBM)

モーリシャス国  
海岸保全・再生に関する能力向上  
プロジェクト

ファイナル・レポート

【技術ガイドライン】

Volume 3

平成27年6月

(2015年)

独立行政法人  
国際協力機構(JICA)

国際航業株式会社  
日本工営株式会社  
セントラルコンサルタント株式会社  
株式会社ふたば

環境

JR

15-108

モーリシャス国

環境・持続開発・災害・海浜管理省(MOESDDBM)

モーリシャス国  
海岸保全・再生に関する能力向上  
プロジェクト

ファイナル・レポート

【技術ガイドライン】

Volume 3

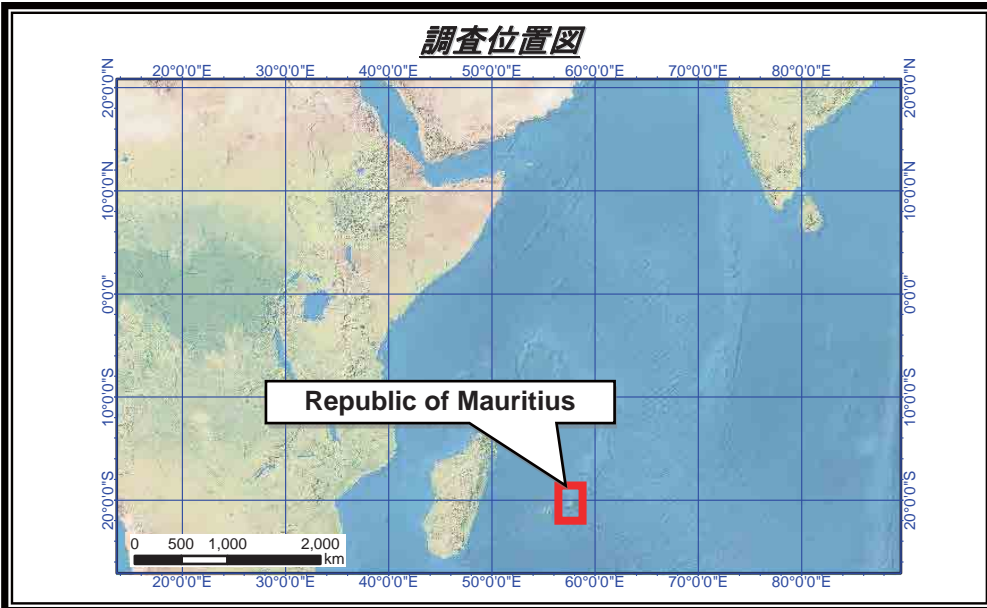
平成27年6月

(2015年)

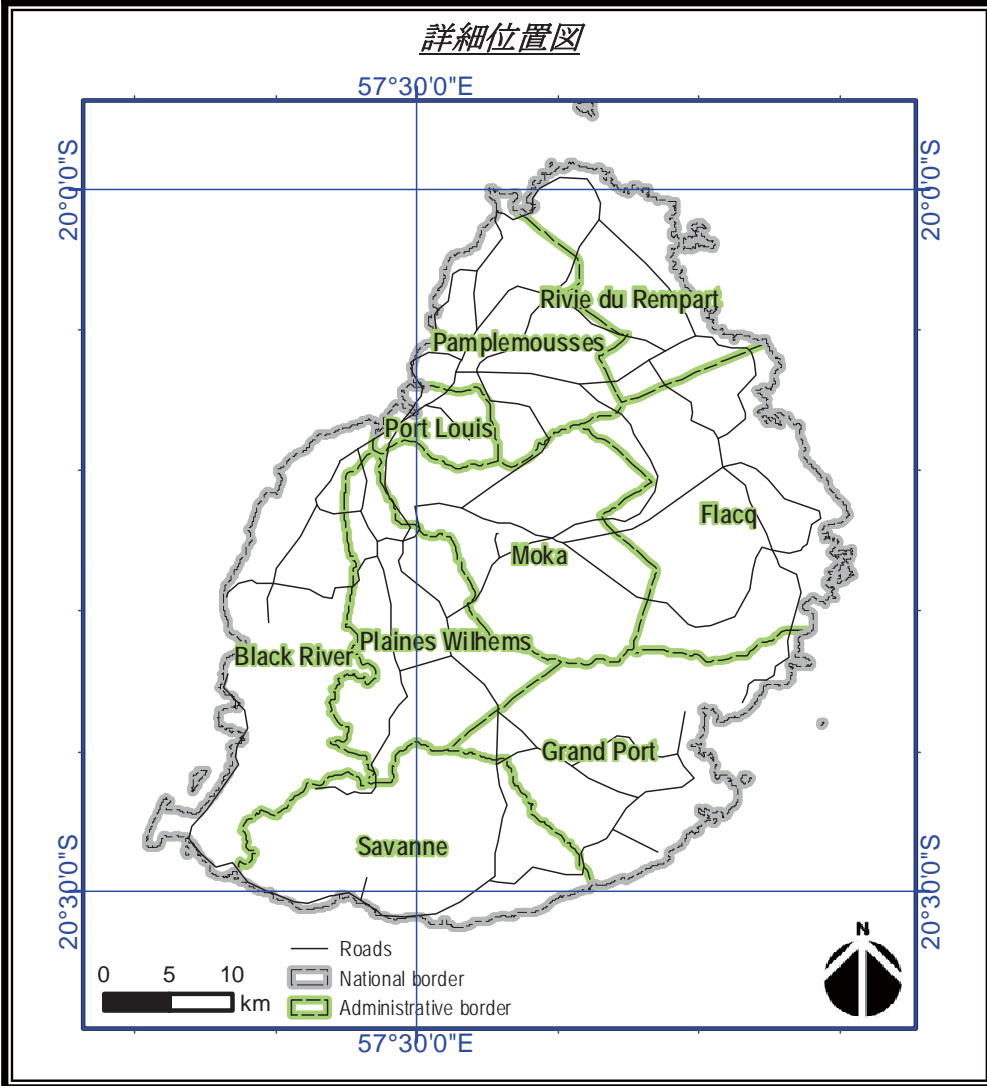
独立行政法人  
国際協力機構(JICA)

国際航業株式会社  
日本工営株式会社  
セントラルコンサルタント株式会社  
株式会社ふたば

調査位置図



詳細位置図



調査位置図

## 通貨換算率

1 USD = 35.230 Rs  
= 124.11 JPY

100 Rs = 2.760 USD  
= 342.56 JPY

Rs:モーリシャス・ルピー

2015年6月1日時点

# 目次

	Page
<b>I. 海岸保全技術ガイドライン</b>	
<b>1 目的および概要</b> .....	<b>I-1</b>
<b>2 自然・設計条件</b> .....	<b>I-2</b>
2.1 モーリシャス国の自然条件 .....	I-2
2.1.1 風況 .....	I-2
2.1.2 波浪 .....	I-7
2.1.3 水位 .....	I-17
2.1.4 沿岸域の地質・地形.....	I-20
2.2 設計条件.....	I-26
2.2.1 設計沖波 .....	I-26
2.2.2 リーフ内の設計波.....	I-28
2.2.3 リーフ内の設計水位.....	I-29
<b>3 海岸保全対策</b> .....	<b>I-31</b>
3.1 はじめに.....	I-31
3.2 養浜 .....	I-34
3.2.1 養浜適用海岸の分類分けと養浜方法の基本的考え .....	I-34
3.2.2 計画・設計 .....	I-36
3.2.3 養浜砂の調達場所の可能性.....	I-42
3.2.4 施工段階 .....	I-48
3.2.5 施工後 .....	I-50
3.3 フレキシブル護岸 .....	I-52
3.3.1 概要 .....	I-52
3.3.2 設計 .....	I-53
3.3.3 施工 .....	I-55
3.3.4 その他 .....	I-55
<b>4 海岸保全事業の事例紹介</b> .....	<b>I-57</b>
4.1 事例1 バリ島海岸保全事業（インドネシア） .....	I-57
4.2 事例2 セーシェルでの養浜 .....	I-84
4.2.1 概要 .....	I-84
4.2.2 養浜設計 .....	I-85
4.2.3 事業の評価 .....	I-87
4.2.4 まとめ .....	I-90
4.3 事例3 秋谷海岸 .....	I-91
4.3.1 礫養浜の経緯.....	I-91
4.3.2 調査 .....	I-91
4.3.3 計画 .....	I-92
4.3.4 設計 .....	I-93

4.3.5	施行 .....	I-95
4.3.6	管理 .....	I-95
4.3.7	課題と解決策.....	I-96

## II. 海浜モニタリングガイドライン

<b>1</b>	<b>現地調査 .....</b>	<b>II-1</b>
1.1	海浜の観察 .....	II-1
1.1.1	突堤の両側の海浜地形.....	II-1
1.1.2	砂浜勾配と粒径.....	II-2
1.1.3	浜崖の形成 .....	II-3
1.1.4	植生 .....	II-3
1.2	海浜変形モニタリング .....	II-4
1.2.1	断面測量 .....	II-5
1.2.2	データベースの作成.....	II-10
1.2.3	その他モニタリング項目.....	II-15
<b>2</b>	<b>波・流れの観測 .....</b>	<b>II-17</b>
2.1	波浪観測.....	II-17
2.1.1	概要 .....	II-17
2.1.2	Wave Hunterの使用方法 .....	II-18
2.2	流況観測.....	II-24
2.2.1	流速計の使用方法.....	II-24
2.3	設置および回収.....	II-27
2.4	取得データの解析事例 .....	II-28
2.4.1	リーフ内外での波高の比較.....	II-28
2.4.2	海浜地形変化とリーフ内波高の比較.....	II-29
2.4.3	リーフ外の波高とリーフ内の流れの関係.....	II-30
<b>3</b>	<b>空中写真判読による汀線変化解析.....</b>	<b>II-33</b>
3.1	概要 .....	II-33
3.1.1	目的 .....	II-33
3.1.2	作業フロー .....	II-33
3.2	空中写真の収集.....	II-34
3.2.1	空中写真の種類.....	II-34
3.2.2	航空機による写真撮影及び評定図.....	II-34
3.2.3	縮尺及び撮影日時の確認.....	II-35
3.2.4	スキヤニング .....	II-35
3.3	幾何補正.....	II-36
3.3.1	幾何補正の目的.....	II-36
3.3.2	参照データ .....	II-36
3.3.3	補正方法 .....	II-36
3.3.4	参照地点数 .....	II-36
3.3.5	参照位置 .....	II-37
3.3.6	検証 .....	II-37

3.4	汀線判読.....	II-38
3.4.1	ソフトウェア.....	II-38
3.4.2	汀線の読み取り.....	II-38
3.5	解析.....	II-39
3.5.1	解析条件の整理.....	II-39
3.5.2	海浜面積.....	II-40
3.5.3	平均的な汀線変化量.....	II-42
3.5.4	土量変化（土砂収支）.....	II-42
3.5.5	とりまとめ.....	II-42

### III. リーフ環境保全ガイドライン

<b>1</b>	<b>ガイドラインの目的および概要.....</b>	<b>III-1</b>
<b>2</b>	<b>スポットチェック法.....</b>	<b>III-1</b>
2.1	概要.....	III-1
2.2	目的および調査手法.....	III-2
2.3	調査範囲.....	III-2
2.4	調査頻度.....	III-2
2.5	調査.....	III-2
2.5.1	モニタリング位置.....	III-2
2.5.2	現場作業.....	III-3
<b>3</b>	<b>データ解析.....</b>	<b>III-4</b>
3.1	サンゴの被度.....	III-4
3.2	サンゴの白化、オニヒトデ、サンゴ食巻貝.....	III-4
3.3	サイクロン、人的影響.....	III-5
3.4	サンゴの病気.....	III-6
<b>4</b>	<b>水質モニタリング.....</b>	<b>III-6</b>
4.1	水質モニタリングの必要条件.....	III-6
4.2	モニタリング内容.....	III-6
4.3	分析方法.....	III-8
<b>5</b>	<b>サンゴ移植.....</b>	<b>III-10</b>
5.1	ドナーサンゴの採取.....	III-10
5.2	移植断片の大きさ.....	III-11
5.3	運搬.....	III-11
5.4	固定方法.....	III-11
5.5	移植の適地.....	III-13

5.6	移植に適した基盤 .....	III-13
5.7	移植時期 .....	III-13
5.8	引用文献 .....	III-14
<b>6</b>	<b>他のサンゴ移植法 .....</b>	<b>III-15</b>
<b>7</b>	<b>海草及びマングローブの移植 .....</b>	<b>III-15</b>
<b>IV. 海岸保全事業EIAガイドライン</b>		
<b>1</b>	<b>はじめに .....</b>	<b>IV-1</b>
<b>2</b>	<b>政策、法制度および行政的枠組み .....</b>	<b>IV-1</b>
<b>3</b>	<b>事業予定地（サイト）の記述及び周辺環境 .....</b>	<b>IV-2</b>
3.1	事業予定地（サイト）及び周辺環境 .....	IV-2
3.2	事業予定地（サイト）及び周辺の現在の社会経済的価値に関する記述 ..	IV-2
<b>4</b>	<b>既存のベースライン状況の記述 .....</b>	<b>IV-3</b>
<b>5</b>	<b>プロジェクトの記述 .....</b>	<b>IV-3</b>
5.1	一般的必要事項 .....	IV-3
5.2	海洋工事関連 .....	IV-3
5.3	陸上工事関連 .....	IV-3
5.4	気候変動問題 .....	IV-4
5.5	交通への影響 .....	IV-4
5.6	その他 .....	IV-4
<b>6</b>	<b>環境影響の分類および確認方法 .....</b>	<b>IV-5</b>
<b>7</b>	<b>環境影響および緩和策 .....</b>	<b>IV-5</b>
7.1	サイト準備期間中の影響 .....	IV-5
7.1.1	陸上 .....	IV-5
7.1.2	海洋 .....	IV-6
7.2	建設期間中の影響 .....	IV-6
7.2.1	陸上 .....	IV-6
7.2.2	海洋 .....	IV-7
7.3	運営期間中の影響 .....	IV-8
7.3.1	海洋・海浜 .....	IV-8
7.4	全般的な影響 .....	IV-8
7.4.1	雨水管理 .....	IV-8
7.4.2	視覚的な影響（視的環境と美観） .....	IV-8
7.4.3	文化財への影響 .....	IV-9



	7.4.4 海岸利用者及びボート操縦者への配慮.....	IV-9
<b>8</b>	<b>パブリック・コンサルテーション.....</b>	<b>IV-9</b>
<b>9</b>	<b>代替案.....</b>	<b>IV-9</b>
<b>10</b>	<b>環境モニタリング計画.....</b>	<b>IV-9</b>
10.1	環境モニタリング計画 (EMoP) .....	IV-9
10.2	廃止措置.....	IV-10
<b>11</b>	<b>コンサルタンツ/コンサルタンツチームの経験能力.....</b>	<b>IV-10</b>
<b>12</b>	<b>結論.....</b>	<b>IV-10</b>
<b>13</b>	<b>付属資料.....</b>	<b>IV-11</b>
13.1	スコーピングのための環境チェックリスト.....	IV-11
13.2	海岸構造物に対する環境配慮に関する参考事例.....	IV-13
13.3	海岸侵食対策に関するEIA調査の課題と対応.....	IV-18

## 図リスト

Page

図	2.1.1	「モ」国における風向・風速の頻度（風配図）（Plaisance,2013年）	I-3
図	2.1.2	ラグーンにおける水質調査地点の配置例	I-3
図	2.1.3	2002年任意期間における風速・風速ベクトルの分布	I-3
図	2.1.4	Roches Noires(MOI)およびBlue Bay観測地点における波高・波向の頻度分布	I-7
図	2.1.5	波浪推算による「モ」国東西南北沖合における波高の時間変化	I-8
図	2.1.6	波浪推算（NCEP/NCAR再解析値の風速分布による）有義波高の分布	I-9
図	2.1.7	サイクロンCarolにおける有義波高の推算結果	I-10
図	2.1.8	サイクロンCarolに襲撃による打ち上げ高(unit:feet)	I-11
図	2.1.9	波高計・流速計設置箇所	I-12
図	2.1.10	水深と波高の関係	I-12
図	2.1.11	Blue BayおよびPointe d'Esnyにおける波浪観測の比較	I-13
図	2.1.12	観測地点(Roiches NoiresおよびGrand Sable)	I-13
図	2.1.13	サイクロン襲撃時の波浪・水位・水温の変化	I-14
図	2.1.14	Pointe d'Esnyにおける流速・流向の時間変化（2014年2月）	I-15
図	2.1.15	サイクロンEdilson襲撃時における流速・流向の分布	I-16
図	2.1.16	年間の潮位変化(Port Louis)	I-17
図	2.1.17	Port Louisにおける潮位変動	I-18
図	2.1.18	Wave-setupおよび波高の計算結果	I-19
図	2.1.19	「モ」国における海岸地形および地質	I-20
図	2.1.20	モーリシャス島周辺のリーフ	I-21
図	2.1.21	Pte. d'Esnyにおける海浜断面測量位置	I-22
図	2.1.22	Pte. d'Esnyにおける海浜断面測量結果（17/10/2014）	I-22
図	2.1.23	前浜勾配と粒径の関係	I-23
図	2.1.24	リーフエッジからの距離と粒径の関係	I-24
図	2.1.25	卓越する沿岸漂砂のマクロな方向	I-25
図	2.2.1	2012年サイクロンGiovannaの検証結果	I-27
図	2.2.2	沖の入射波とリーフ内波高の関係	I-29
図	3.1.1	「モ」国の海岸保全対策における考慮すべき点	I-31
図	3.1.2	海岸問題の分類とその対象海岸エリア	I-32
図	3.1.3	高波・越波、高潮問題に対する海岸保全対策の基本的考え方	I-33
図	3.1.4	海岸侵食問題に対する海岸保全対策の基本的考え方	I-33
図	3.2.1	自然砂浜海岸（カテゴリーA）と構造物海岸（カテゴリーB）	I-34
図	3.2.2	土砂収支の観点からの場合分けと基本的な対策方針	I-35
図	3.2.3	養浜の計画・設計手順フロー図	I-36
図	3.2.4	静的安定化工法（例：インドネシアバリ海岸保全事業）	I-38
図	3.2.5	動的安定化工法（例：インドネシアバリ海岸保全事業）	I-38
図	3.2.6	環境・景観に調和した突堤の事例(インドネシアバリ島海岸保全事業)	I-40
図	3.2.7	Baie du Tombeauにおけるサンドリサイクルのイメージ	I-44
図	3.2.8	モ国における陸上部の砂の調達先	I-45
図	3.2.9	ラグーン外での砂調達に関する調査・検討フロー（案）	I-47
図	3.2.10	砂の堆積の可能性を有するエリア：Grand Sables & Pte. d'Esny	I-48
図	3.2.11	陸上部での養浜の施工フロー	I-49
図	3.2.12	外部調達による養浜の施工フロー	I-50
図	3.3.1	フレキシブル護岸の横断形状	I-53
図	4.2.1	ノース・イースト・ポイントにおいて推定される漂砂移動	I-85
図	4.2.2	ノース・イースト・ポイントでの養浜計画	I-87

図 4.2.3	ノース・イースト・ポイントにおける海岸線の経年変化.....	I-88
図 4.2.4	養浜直後と7か月経過後の写真.....	I-89
図 4.2.5	ノース・イースト・ポイントにおける海浜断面積の変化.....	I-89
図 4.3.1	秋谷海岸位置図.....	I-91
図 4.3.2	秋谷海岸の侵食の状況.....	I-91
図 4.3.3	礫養浜の基本断面.....	I-93
図 4.3.4	バームと沿岸砂州の発生区分.....	I-94
図 4.3.5	前浜の堆積・侵食の区分( $0.06 \leq \tan\theta$ ).....	I-94
図 4.3.6	海浜の侵食・堆積の区分.....	I-94
図 4.3.7	粒径と前浜勾配の関係.....	I-94
図 4.3.8	礫養浜の施工手順.....	I-95
図 1.1.1	海浜の観察の際の重要な視点.....	II-1
図 1.1.2	突堤の両側の海浜地形の違い.....	II-2
図 1.1.3	突堤による海岸アクセスの遮断.....	II-2
図 1.1.4	海浜勾配の簡易測定方法.....	II-2
図 1.1.5	Mon Choisyの浜崖の状況.....	II-3
図 1.1.6	Pte. d'Esnyにおける植生の繁茂エリア.....	II-3
図 1.2.1	海浜変形モニタリングの実施体制.....	II-4
図 1.2.2	一般的な測量・写真撮影点.....	II-5
図 1.2.3	海浜地形測量の手順.....	II-7
図 1.2.4	海浜地形測量中の様子.....	II-8
図 1.2.5	スタッフの水平値を読みとる方法.....	II-8
図 1.2.6	測量の見通しの設定事例.....	II-8
図 1.2.7	定点で撮影された写真の比較(Grand Sable).....	II-9
図 1.2.8	Google Earthで作成した測量基準点の位置図.....	II-10
図 1.2.9	測量写真の整理例.....	II-11
図 1.2.10	海浜地形変化のグラフ整理例(上:Ile aux Cerfs、中:Pte. d'Esny、下:Grand Sable) .....	II-13
図 1.2.11	人為的なミスを含んだ可能性のある測量データのグラフ例.....	II-14
図 1.2.12	海水の透明度を確認する手法例.....	II-15
図 1.2.13	植生の繁茂状況のモニタリング例.....	II-16
図 1.2.14	Grand Sableにおける海岸利用状況.....	II-16
図 2.1.1	Wave Hunterの概要.....	II-17
図 2.1.2	Web Watch Serviceの概要.....	II-18
図 2.1.3	セットアップ手順.....	II-19
図 2.1.4	1 <sup>st</sup> Step: Open Body.....	II-20
図 2.1.5	2 <sup>nd</sup> Step: Set of Battery.....	II-20
図 2.1.7	4 <sup>th</sup> Step: Check for Running Equipment.....	II-21
図 2.1.8	Installation Procedure.....	II-22
図 2.1.9	Step2: Fixing of Flame.....	II-22
図 2.1.10	Removal Work Procedure.....	II-23
図 2.2.1	Current Meterの概要.....	II-24
図 2.2.2	Setup Procedure.....	II-25
図 2.2.3	Setup Procedure.....	II-26
図 2.3.1	Installation and Removal Procedure.....	II-27
図 2.4.1	Grand Sableにおけるサイクロン接近時のリーフ内外の波高変化.....	II-28
図 2.4.2	Cyclone Edilson接近時のリーフ内外の波高変化.....	II-29
図 2.4.3	リーフ内外の波高比とリーフ内の水深の関係.....	II-29
図 2.4.4	Grand Sableにおける有義波高の測定結果(1年間).....	II-30
図 2.4.5	Grand Sableにおける海浜地形の変化(1年間).....	II-30
図 2.4.6	Pte. d'Esnyでの流速・流向の観測結果(2014年2月).....	II-31

図 2.4.7	Pte. d'Esnyでの流速・流向のベクトル図(2014年2月).....	II-32
図 3.1.1	空中写真判読による汀線変化解析の作業フロー.....	II-33
図 3.2.1	航空機による写真撮影.....	II-34
図 3.2.2	標定図の例.....	II-34
図 3.2.3	空中写真.....	II-35
図 3.3.1	参照位置のイメージ.....	II-36
図 3.3.2	参照位置.....	II-37
図 3.3.3	ArcGISのリンクテーブルの例.....	II-37
図 3.4.1	汀線の読取例（赤線）.....	II-38
図 3.5.1	Pointe d'Esny (Baird, 2003)の断面地形.....	II-39
図 3.5.2	解析範囲の一例（Pointe aux Sables）.....	II-40
図 3.5.3	Albionにおける1967年の汀線（写真は2008年）.....	II-41
図 3.5.4	汀線変化の解析結果の一例（Pointe aux Sables周辺，図 3.5.2を参照）.....	II-42
図 3.5.5	Pointe aux Sables（図 3.5.2を参照）の土砂収支.....	II-43
図 4.2.1	ラグーンにおける水質調査地点の配置例.....	III-7
図 4.3.1	セッキ板によるラグーンにおける透視度の測定.....	III-8
図 4.3.2	アセトン抽出法によるクロロフィルaの分析手順.....	III-9
図 5.4.1	移植断片の固定方法（大久保・大森 2001a）.....	III-12
図 13.1.1	構造物の設定による侵食域の拡大.....	IV-15

## 表リスト

	Page
表 2.1.1	来襲した代表的なサイクロン（赤字は規模の大きいものを示す） ..... I-5
表 2.1.2	サイクロン最低気圧の極値統計..... I-6
表 2.1.3	各サイクロンにおける波浪推算結果（有義波の最大値） ..... I-10
表 2.1.4	主要分潮における調和定数..... I-17
表 2.1.5	波浪変形計算条件..... I-19
表 2.2.1	各サイクロンにおける代表地点の最大波高..... I-26
表 2.2.2	各地点における極値統計解析結果..... I-28
表 2.2.3	各波向における極値統計解析結果（Grand Sable近傍） ..... I-28
表 3.2.1	サンドバイパスおよびサンドリサイクルの適用可能な海岸 ..... I-42
表 3.2.2	陸上の砂採取場の概況..... I-45
表 3.2.3	MOIが実施するラグーンの外での砂の調査概況 ..... I-46
表 3.2.4	砂堆積の可能性にあるエリアの一覧(参考資料) ..... I-48
表 3.2.5	海底砂取得工法に関する工法比較..... I-49
表 4.2.1	ノース・イースト・ポイントにおける海岸保全計画..... I-84
表 4.3.1	対策工立案のための調査..... I-92
表 4.3.2	侵食対策工法の比較..... I-93
表 4.3.3	モニタリング調査..... I-95
表 1.2.1	測量基準点の位置情報の整理例..... II-10
表 1.2.2	測量データの整理例..... II-12
表 1.2.3	各ケースにおける人為的ミスの可能性..... II-14
表 2.5.1	選定海岸でのサンゴ・海草のモニタリング地点の緯度経度 ..... III-2
表 2.5.2	SC法の調査結果を記入するためのチェックシート ..... III-3
表 2.5.3	それぞれのカテゴリーの被度..... III-4
表 3.1.1	被度ランクによるサンゴ礁健康度の評価目安..... III-4
表 3.2.1	オニヒトデの発生状況の評価基準..... III-5
表 4.2.1	水質モニタリングの基本パラメータ ..... III-7
表 4.3.1	基本パラメータの分析方法と分析精度 ..... III-8
表 6.1.1	環境影響の分類および代表的な影響項目 ..... IV-5
表 13.1.1	海岸防護および海岸再生プロジェクトのための環境チェックリスト(1) ..... IV-11
表 13.1.2	海岸防護および海岸再生プロジェクトのための環境チェックリスト(2) ..... IV-12

## 写真リスト

	Page
写真 3.2.1 オニヒトデとその食痕.....	III-5
写真 3.2.2 シロレイシガイダマシとその食痕.....	III-5
写真 3.4.1 ホワイト・シンドローム.....	III-6
写真 3.4.2 サンゴの遺骸を覆う藍藻.....	III-6

## 略 語

略語	英語	日本語
AAP	Africa Adaptation Programme	アフリカ気候変動適応支援プログラム
AC	Advisory Committee	支援委員会
ACB	Acropora Branching	枝状ミドリイン
AF	Adaptation Fund	適応基金
AFD	Agence Française de Développement	フランス開発庁
AFP	Adaptation Fund Programme	適応基金プログラム
AFRC	Albion Fisheries Research Centre	アルビオン水産研究所
AP	Absorption Pit	吸収ピット
APHA	American Public Health Association	米国公衆衛生協会
BA	Building Act	建築法
BA	Beach Authority	海浜庁
BLUPG	The Building and Land Use Permit Guide	建築土地利用申請の手引き
BOD	Biochemical Oxygen Demand	生物化学的酸素要求量
C/P	Counterpart	カウンターパート
CA	Capacity Assessment	キャパシティ・アセスメント
CAB	Cabinet	閣議令
CACI	Compact Airborne Spectrographic Imager	航空機搭載用小型分光イメージャ
CADMAC	Climate Change Adaptation and Disaster Management Committee	気候変動適応策・防災対策調整委員会
CBR	Cost Benefit Ratio	費用便益比率
CC	Crisis Committee	危機委員会
CCD	Climate Change Division	気候変動室
CACI	Climate Change Information Centre	気候変動情報センター
CD	Capacity Development	キャパシティ・ディベロップメント
CD	Chart Datum	海図基準面
CEB	The Central Electricity Board	中央電力委員会
CDEMA	Caribbean Disaster Emergency Management Agency	カリブ災害緊急管理機関
CF	Coral Foliose	葉状サンゴ
CIRIA	Construction Industry Research and Information Association	建設産業情報協会
CM	Coral Massive	塊状サンゴ
COD	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
CONDC	The Cyclone and Other Natural Disasters Committee	サイクロン・自然災害対策委員会
CONDS	Cyclone and Other Natural Disasters Scheme	災害スキーム
CSO	Central Statistics Office	統計局
CVM	Contingent Valuation Method	仮想評価法
CWA	The Central Water Authority	中央水道局
DB	Data Base	データベース
DC	District Council	地方協議会
DC	Dead Coral	死滅サンゴ
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DFR	Draft Final Report	ドラフトファイナルレポート
DL	Datum Line	標高の基準
DO	Dissolved Oxygen	溶存酸素

略語	英語	日本語
DRR	Disaster Risk Reduction	災害リスク低減(プログラム)
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts	ヨーロッパ中期予報センター
E.Coli	Escherichia coli	大腸菌
EIA	Environment Impact Assessment	環境影響評価
EIRR	Economic Internal Rate of Return	経済的内部収益率
EMoP	Environment Monitoring Plan	環境モニタリング計画
EPA	Environment Protection Act	環境保護法
EPZ	Export Processing Zone	輸出加工区
ESA	Environmentally Sensitive Area	環境に影響されやすいエリア
EU	European Union	欧州連合
F/S	Feasibility Study	フィージビリティ調査
FAS	First Aid Service	救急サービス
FC	Feacal Coliform	糞便性大腸菌群
Fs	Safety Factor/Factor of Safety	安全率
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GIS	Government Information Service	政府情報サービス
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GL	Ground Level	地盤高
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
GR	Grand River	グランド川
HFA	Hyogo Framework for Action	兵庫行動枠組
HWL	High Water Level	高潮位
HWM	High Water Mark	高潮位線
IC/R	Inception Report	インセプションレポート
ICZM	Integrated Coastal Zone Management	統合的沿岸域管理
IEC	Information, Education, and Communication	情報・教育・コミュニケーション
IOC(COI)	Indian Ocean Commission (Commission de l'Océan Indien)	インド洋委員会
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	国際協力銀行
JCG	JICA Coordination Group	JICA コーディネーショングループ
JET	JICA Expert Team	JICA 専門家チーム/調査団
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人 国際協力機構
JICE	Japan International Corporation Center	財団法人 日本国際協力センター
JTWC	Joint Typhoon Warning Center	合同台風警報センター
K	Potassium	カリウム
K-N	Kjeldahl Nitrogen	ケルダール窒素
LEU	Living Environment Unit	生活環境ユニット
LIT	Line intercept transects	ライン・トランジェクト法
LGA	Local Government Act, 2003	地方自治法
LMHTF	Le Morne Heritage Trust Fund	ル・モーン遺産信託基金
LMU	Landslide Management Unit	地すべり対策ユニット
LWL	Low Water Level	大潮平均干潮位
M/M	Minutes of Meeting	協議議事録
Mauritius	The Republic of Mauritius	モーリシャス共和国
MBC	Mauritius Broadcasting Corporation	モーリシャス放送局



略語	英語	日本語
MEHR	Ministry of Education and Human Resources	教育省
Mg	Magnesium	マグネシウム
MGCW	Ministry of Gender Equality, Child Development and Family Welfare	男女平等・児童開発・福祉省
MHL	Ministry of Housing and Lands	住宅・土地省
MHQL	Ministry of Health and Quality of Life	厚生省
MID	Maurice Ile Durable	モーリシャス戦略
MLG	Ministry of Local Government & Outer Islands	自治省
MMS	Mauritius Meteorological Services	気象庁
MoAFS	Ministry of Agroindustry and Food Security	農産業食糧安全保障省
MoESD	Ministry of Environment and Sustainable Development	環境・持続開発省
MOESDDBM*	Ministry of Environment, Sustainable Development, Disaster and Beach Management (*Former MoESD)	環境・持続開発・災害・海浜管理省(*元環境・持続開発省)
MoF	Ministry of Fisheries (current MoOEMRFSO)	水産省
MoFED	Ministry of Finance and Economic Development	財務・経済開発省
MoFR	Ministry of Fishery and Rodrigues	水産省及びロドリゲス
MOI	Mauritius Oceanography Institute	モーリシャス海洋研究所
MoOEMRFSO	Ministry of Ocean Economy, Marine Resources, Fisheries, Shipping and Outer Island	海洋経済・海洋資源・水産・輸送・外島省
MPA	Marine Protected Area	海洋保護区
MPI	Ministry of Public Infrastructure, National Development Unit, Land Transport and Shipping	公共インフラ・国家開発・陸上交通・海運省
MPN	Most Probable Number	最確数
MSL	Mean Sea Level	平均海面
MSS	Ministry of Social Security, National Solidarity and Reform Institutions	社会保障省
MTEF	Medium-Term Expenditure Framework	中期支出枠組み
MTL	Ministry of Tourism and Leisure	観光省
MTSRT	Ministry of Tertiary Education, Science, Research and Technology	文部科学省
MUR	Mauritius Rupee	モーリシャスルピー
Na	Sodium	ナトリウム
NCAR	National Center for Atmospheric Research	アメリカ国立大気研究センター
NCCAPF	National Climate Change Adaptation Policy Framework	国家気候変動適応方針フレームワーク
NCEP	National Centers for Atmospheric Prediction	アメリカ国立環境予報センター
NCG	National Coastal Guard	国立沿岸警備隊
NDOCC	National Disaster and Operations Coordination Centre	国家災害対策運営調整本部
NDRRMC	National Disaster Risk Reduction and Management Committee	国家災害リスク削減及び管理委員会
NDS	National Development Strategy	国家開発戦略
NDU	National Development Unit	国家開発ユニット
NEL	National Environmental Laboratory	国立環境実験所
NGO	Non-Governmental Organization	非政府組織/民間公益団体
NH <sub>4</sub> -N	Ammonia Nitrogen	アンモニウム態窒素
NHDC	National Housing Development Corporation	住宅開発公社

略語	英語	日本語
NO <sub>2</sub> -N	Nitrite Nitrogen	亜硝酸態窒素
NO <sub>3</sub> -N	Nitrate Nitrogen	硝酸態窒素
NPV	Net Present Value	純現在価値
NTU	Nephelometric Turbidity Unit	ネフェロメ濁度単位
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
OJT	On the Job Training	職場内訓練
OPS	Outline Planning Schemes	地域計画
P.Fs	Planning/Designed Factor of Safety	計画安全率
P/R	Progress Report	プログレスレポート
PB	Public Beach	公共海浜公園
PBB	Programme-Based Budgeting	プログラムベースの予算編成
PDA	Planning and Development Act	開発計画法
PEFA	Public Expenditure and Financial Accountability	公共支出と財政アカウンタビリティ論
PER	Preliminary Environmental Report	初期環境報告書
PFM	Public Financial Management	公共財政管理
PIANC	World Association for Waterborne Transport Infrastructure (former Permanent International Association of Navigation Congresses)	国際航路協会
PIU	Planning and Implementation Units	計画・実施ユニット
PL	Pit Latrine	ピット式簡易トイレ
PM	Project Manager	プロジェクトマネジャー
PO <sub>4</sub> -P	Phosphate-Phosphorus	リン酸態リン
PMO	Prime Minister's Office	首相府
PMS	Performance Management System	パフォーマンスマネジメントシステム
PPG	Planning Policy Guidance	開発計画政策指針
PS	Permanent Secretary	事務次官
PVC	Polyvinyl Chloride	ポリ塩化ビニル
QGIS	Quantum GIS	クウォンタムGIS
R/D	Record of Discussion	討議議事録
RN-COI	Risques Naturels de la Commission de l'Océan Indien	インド洋委員会の自然災害
SA	Sand	砂
SAREC	Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries	スウェーデン研究協力機構
SC	Steering Committee	ステアリングコミッティ
SC	Spot Check	スポット・チェック
SC	Soft Coral	ソフト・コーラル
SCOR	Scientific Committee on Oceanic Research	海洋研究化学委員会
SIDS	Small Island Developing States	小島嶼国開発途上国
SO <sub>4</sub>	Sulphate	硫酸塩
SS	Sewerage System	下水道システム
SS	Suspended Solid	浮遊物質量
SSPA	Segridad Salud Proteccion Ambiental	セグリダッド サルド環境保護社
SST	Sea Surface Temperature	海面水温
ST	Septic Tank	浄化槽
SWAN	Simulating Waves Nearshore	沿岸波浪推算モデル

略語	英語	日本語
TA	Turf Algae	芝草状海草
TAS	Treasury Accounting System	財務会計システム
TC	Total Coliform	大腸菌群
TC	Technical Committee	テクニカルコミッティ
TCPA	Town and Country Planning Act	地域計画法
TDS	Total Dissolved Solid	総溶解不純物濃度
The Disasters Scheme	The Cyclone and Other Natural Disasters Scheme	サイクロンと自然災害スキーム/災害スキーム
The Project	The Project for Capacity Development on Coastal Protection and Rehabilitation in the Republic of Mauritius	本プロジェクト/モーリシャス国海岸保全・再生にかかる能力向上プロジェクト
TICAD IV	The Fourth Tokyo International Conference on African Development	第4回アフリカ開発会議
TICAD V	Fifth Tokyo International Conference on African Development	第5回 アフリカ開発会議
T-N	Total Nitrogen	全窒素
TOR	Terms of Reference	委託事項
T-P	Total Phosphorus	全リン
TSHD	Trailing Suction Hopper Dredger	トレーラーサクシオンホッパー浚渫船
TSS	Total Suspended Solid	総浮遊物質
UNDP	The United Nations Development Programme	国連開発計画
UNEP	United Nations Environment Programme	国連環境計画
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization -	国際連合教育科学文化機関
UoM	University of Mauritius	モーリシャス大学
USD	United States Dollar	アメリカドル
UTM	Universal Transverse Mercator	ユニバーサル横メルカトル
VAT	Value Added Tax	付加価値税
VCA	Village Council Area	村協議会エリア
VMCA	Voluntary Marine Conservation Area	自主規制保護水面
WCDR	World Conference on Disaster Reduction	国連世界防災会議
WGS	World Geodetic System	世界測地系
WMA	Wastewater Management Authority	排水管理庁
WMO	World Meteorological Organization	世界気象機関
WS	White Syndrome	ホワイト・シンドローム

# Chapter I

---

---

海岸保全技術ガイドライン  
*Technical Guideline for Coastal  
Conservation*

# I. 海岸保全技術ガイドライン

## 1 目的および概要

「モ」国において必要と考えられる、養浜及び海岸保全施設の計画、設計、施工、維持管理に関する留意事項を述べる。基本的なこれらに関するガイドラインは、すでに各国で策定されており、それらを参照することが出来る。

基本的なガイドラインやマニュアルとしては、米国陸軍工兵隊の海岸工学マニュアル (Coastal Engineering Manual, 2008) が代表的なものとしてある。その中では第V章のV-3節で海岸保全プロジェクト (Shore Protection Project)、また、V-7では環境保全 (Coastal Engineering for Environment Enhancement) に関連する項目が述べられている。

一方、英国では関連するものとして、CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) の発行した海浜管理マニュアル (Beach Management Manual, 2nd ed., 2010) と岩石マニュアル (Rock Manual 2007) があり、これらは「モ」国でも使用されている。

これら標準的なマニュアルを「モ」国において適用する際には、その適用性について考慮する必要がある。その第1は保全、利用、環境との調和である。「モ」国の海岸はほとんどサンゴ礁に囲まれており、波浪が大きく減衰することから、保全の観点から施設の規模は大きくならない。一方、海浜は重要な観光資源であり、海浜及びラグーンの利用や環境の保護も合わせて考慮する必要がある。しかし、一般的なマニュアルは災害防止に重点を置いており、環境に関しては悪い影響が出ないように配慮することにとどまっている。海浜の新たな利用や環境価値を高めるものとはなっていない。

第2は、標準的なマニュアルが、サンゴ礁の海岸の特性を考慮したものにはなっていないことである。海岸侵食に関しては、通常の海岸では河川または崖が漂砂の供給源であり、それが主に波によって移動し、失われることになる。一方、サンゴ礁の海岸では、サンゴや貝類が海浜砂の供給源である。サンゴ礁は波浪を減衰するとともに、流れを発生し、この流れと波の作用により砂が移動し、一部はサンゴ礁から失われる。また、ラグーン内のサンゴや海草が波や流れに影響を与え、海浜の安定に寄与している。したがって、侵食対策においてもこれらを考慮する必要がある。ただ、これらの現象に関しては十分な研究がなされていない。

第3は上記に関連するが、サンゴ礁の海岸に適した対策が十分確立していないことである。サンゴ礁は多様性に富んでおり、単なる物理特性のみを考慮したものでは不十分で、サンゴや海草の生物的特性を考慮した対策が求められている。しかし、この方面の研究が限定されており、実施と評価により、技術を確立する段階にある。したがって、対策に関してもこのような観点から実施する必要がある。

本ガイドラインもシステムとして、評価結果を基に定期的に改善することが必要である。

海岸保全事業に対するガイドラインは、「モ」国の計画・設計上必要なかつ有用な情報として、以下の項目を含むものである。

- 1) 自然条件および設計条件
- 2) 海岸保全対策の計画・設計、施工、管理
- 3) 事例紹介

## 1) 自然条件および設計条件

このパートでは「モ」国における海岸保全対策の計画・設計上、必要となる自然条件、設計条件について示すものである。

## 2) 海岸保全対策の計画・設計、施工、管理

このパートでは「モ」国で適用される具体的な海岸保全対策について、計画・設計、施工、海岸管理の手順、情報を示す。「モ」国における代表的な海岸保全対策として、ここでは「養浜」および「礫浜（フレキシブル護岸）」の2つの対策に焦点を当てて紹介する。

## 3) 事例紹介

このパートでは、「モ」国での海岸保全事業に参考となる、日本を含む他国で実施された類似の海岸保全事業を紹介するものである。

ここでは3つの事例を紹介するが、このうちの2つの事例は「モ」国と同様の、熱帯地方のサンゴ礁海岸での海岸保全事業として「インドネシアバリ島海岸保全事業」、「セーシェルでの養浜パイロット事業」を紹介する。またもう1事例は日本での礫浜事業として「秋谷海岸礫浜事業」を紹介する。

バリ島海岸保全事業は、観光開発により海岸侵食が深刻化した場合への対策の事例であり、このような状況になった場合に参考となる。また、対策の規模が大きくなることから、観光開発による侵食が生じないようにすることの重要性を示している。セーシェルでの養浜パイロット事業は、侵食原因が不明確で、対策として養浜が想定される場合の検討事例を示しており、このような場合に活用できる。秋谷海岸礫浜事業は、礫による養浜を計画している場合に参考となる。

## 2 自然・設計条件

### 2.1 モーリシャス国の自然条件

#### 2.1.1 風況

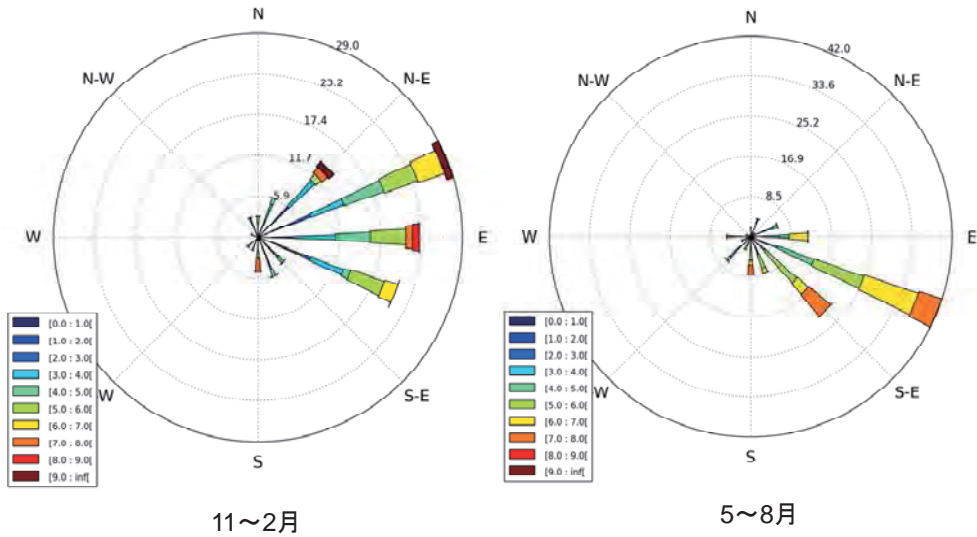
「モ」国は、夏季にサイクロンが頻繁に来襲する地域であり、冬季は南東貿易風が卓越する。「モ」国における風況の季節的な特性は概ね以下になる。

- ・5～8月を中心とした冬場は、南東貿易風が卓越する。特に、風向は東南東寄りが卓越するため、「モ」国南東部の風速が大きくなる。

- ・12～2月を中心とした夏季は、南東貿易風の影響が少なくなり、全体的に風速は小さくなる。

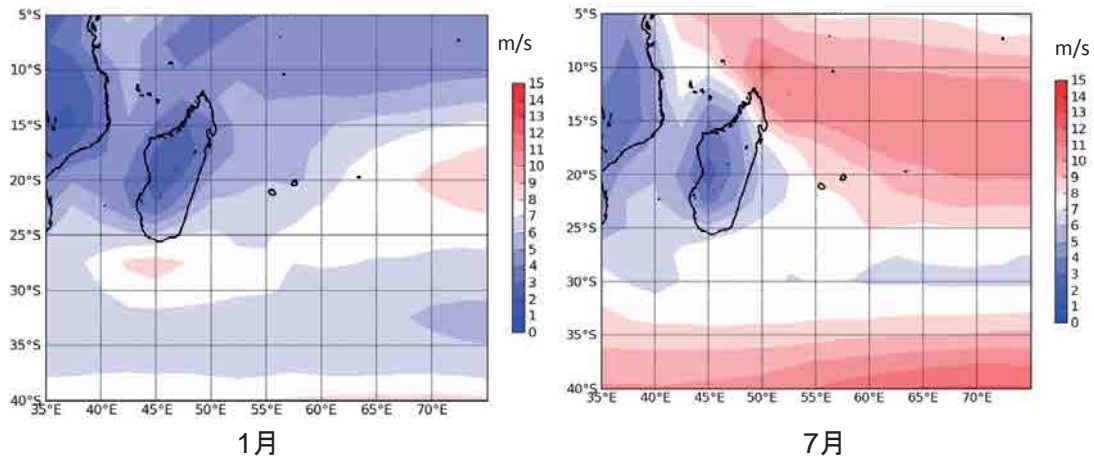
- ・但し、上記の時期はサイクロンが来襲する時期である。サイクロンの経路によるが、「モ」国に来襲した場合は大きな風速となることがある。

図 2.1.1にPlaisance観測所における2013年の風速風向の頻度分布図（Wind rose）を示す。この結果より冬場と夏場の風速・風向は異なっていることがわかる。図 2.1.2に1980～2000年における風速の月平均値の1月と7月および、図 2.1.3に2002年における同時期の風速分布の例を示す。この結果を見ると、冬季の風速は平均10m/s以上となり、夏季は5～6m/s程度となる。風向についても6月は南東貿易風の卓越が見られるが、12月はほとんど見られず風速も小さい。



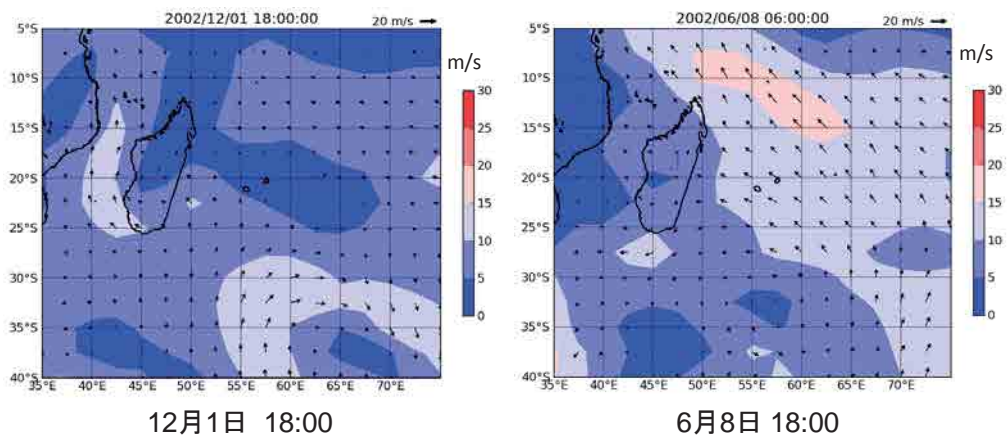
出典：Mauritius Meteorological Service のデータから JICA 調査団が作成

図 2.1.1 「モ」国における風向・風速の頻度(風配図)(Plaisance,2013年)



出典：NCEP/NCAR 再解析値から JICA 調査団が作成

図 2.1.2 ラグーンにおける水質調査地点の配置例



出典：NCEP/NCAR 再解析値から JICA 調査団が作成

図 2.1.3 2002年任意期間における風速・風速ベクトルの分布

「モ」国はサイクロンが頻繁に上陸する。サイクロンは、通常緯度 $30^{\circ}$  Sから $60^{\circ}$  Sの南インド洋の中緯度帯で発生する。「モ」国はサイクロンの通過する地域にあり、これまで多くのサイクロンが来襲して沿岸に被害を与えてきたと考えられる。特に年間を通して12～3月頃はサイクロンが多く来襲する。過去の代表的なサイクロンの来襲時期、最大風速および気圧は表 2.1.1に示すとおりである。これらのサイクロンのうち、1960年のAlix, Carol、1975年のGervaise、1994年のHollanda、2002年のDinaは規模が大きい。

このサイクロンの最低気圧を用いて、極値統計解析を行った。再現期間と統計量（気圧深度および最低気圧）を表 2.1.2に示す。この結果より、サイクロンCarolはほぼ100年確率の気圧であり、HollandaやDinaは5～10年程度であることがわかる。



表 2.1.1 来襲した代表的なサイクロン(赤字は規模の大きいものを示す)

Year	Date-Month	Name	Classification	Nearest Distance from Mauritius	Highest Gusts km/h	Lowest Pressure hPa
1892	29-Apr	-	-	-	216	947
1931	5-7 Mar	-	Intense Cyclone	-	180	969
1945	16-17 Jan	-	Intense Cyclone	Over Mauritius	156	953
1945	1-2 Feb	-	Intense Cyclone	South	150	969
1946	30 Jan-1 Feb	-	Intense Cyclone	Close West	129	984
1958	6-9 Apr	-	Intense Cyclone	80 km West Reunion	129	1004
1960	16-20 Jan	Alix	Intense Cyclone	30 km off Port Louis	200	970
1960	25-29 Feb	Carol	Intense Cyclone	Over Mauritius	256	943
1961	22-26 Dec	Beryl	Intense Cyclone	30 km West	171	992
1962	27-28 Feb	Jenny	Intense Cyclone	30 km North	235	995
1964	17-20 Jan	Danielle	Intense Cyclone	40 km South West	219	974
1966	5-7 Jan	Denise	Severe Depression	65 km North West	167	1003
1967	11-14 Jan	Gilberte	Severe Depression	Centre over Eastern	142	978
1970	23-25 Jan	Hermine	Severe Depression	240 km West South	125	999
1970	27-30 Mar	Louise	Intense Cyclone	140 km East	140	988
1972	11-13 Feb	Eugenie	Severe Depression	240 km North North	132	1002
1975	5-7 Feb	Gervaise	Intense Cyclone	Over Mauritius	280	951
1978	18-21 Jan	Fleur	Intense Cyclone	80 km South East	145	986
1979	21-23 Dec	Claudette	Intense Cyclone	Over Mauritius	221	965
1980	24-28 Jan	Hyacinthe	Intense Cyclone	80 km North West	129	993
1980	3-4 Feb	Jacinthe	Intense Cyclone	150 km South East	129	992
1980	12-13 Mar	Laure	Intense Cyclone	30 km North East	201	989
1981	5-7 Jan	Florine	Intense Cyclone	80 km West	135	1003
1982	5-6 Feb	Gabrielle	Mod. Depression	100 km North West	145	1001
1983	23-26 Dec	Bakoly	Intense Cyclone	55 km South West	198	992
1989	27-29 Jan	Firinga	Cyclone	80 km North West	190	994
1989	4-6 Apr	Krissy	Severe Depression	30 km South	150	976
1994	9-11 Feb	Hollanda	Intense Cyclone	20 km North West	216	984
1995	7-8 Jan	Christelle	Mod. Depression	Over Mauritius	109	994
1995	24-27 Feb	Ingrid	Cyclone	100 km North East	153	989
1995	8-13 Mar	Kylie	Severe Depression	135 km West North	114	1005
1996	24-25 Feb	Edwige	Mod. Depression	100 km North	162	1009
1996	14-16 Apr	Itelle	Intense Cyclone	275 km North	109	1011
1996	6-8 Dec	Daniella	Intense Cyclone	40 km South West	170	998
1998	10-11 Feb	Anacelle	Cyclone	50 km East	121	985
1999	8-10 Mar	Davina	Intense Cyclone	25 km South East	173	974
2000	27-29 Jan	Connie	Intense Cyclone	200 km North West	122	1003
2000	13-15 Feb	Eline	Severe Depression	130 km North	129	1006
2002	20-22 Jan	Dina	Very Intense T.C	50 km North	228	988
2003	12-13 Feb	Gerry	Tropical Cyclone	100 km North North	143	990
2003	31 Dec 03-03 Jan 04	Darius	Severe Tropical	40 km South East	113	994
2005	22-24 Mar	Hennie	Severe Tropical	60 km South East	112	990
2006	03-04 Mar	Diwa	Severe Tropical	220 km North North	126	1005.7
2007	22-25 Feb	Gamede	Tropical Cyclone	230 km North West	158	995.5

出典 : <http://mauritiusattractions.com/cyclones-in-mauritius-i-109.html> に記載された情報を JICA 調査団により加工

表 2.1.2 サイクロン最低気圧の極値統計

再現期間	基準化変量	再現確率統計量 (気圧深度 hPa)	標準偏差	最低気圧 hPa
5 年	0.7	21.1	2.8	991.9
10 年	1.2	34.1	4.0	978.9
20 年	1.7	45.2	5.4	967.8
30 年	1.9	51.2	6.2	961.8
50 年	2.2	58.4	7.2	954.6
100 年	2.5	67.5	8.4	945.5

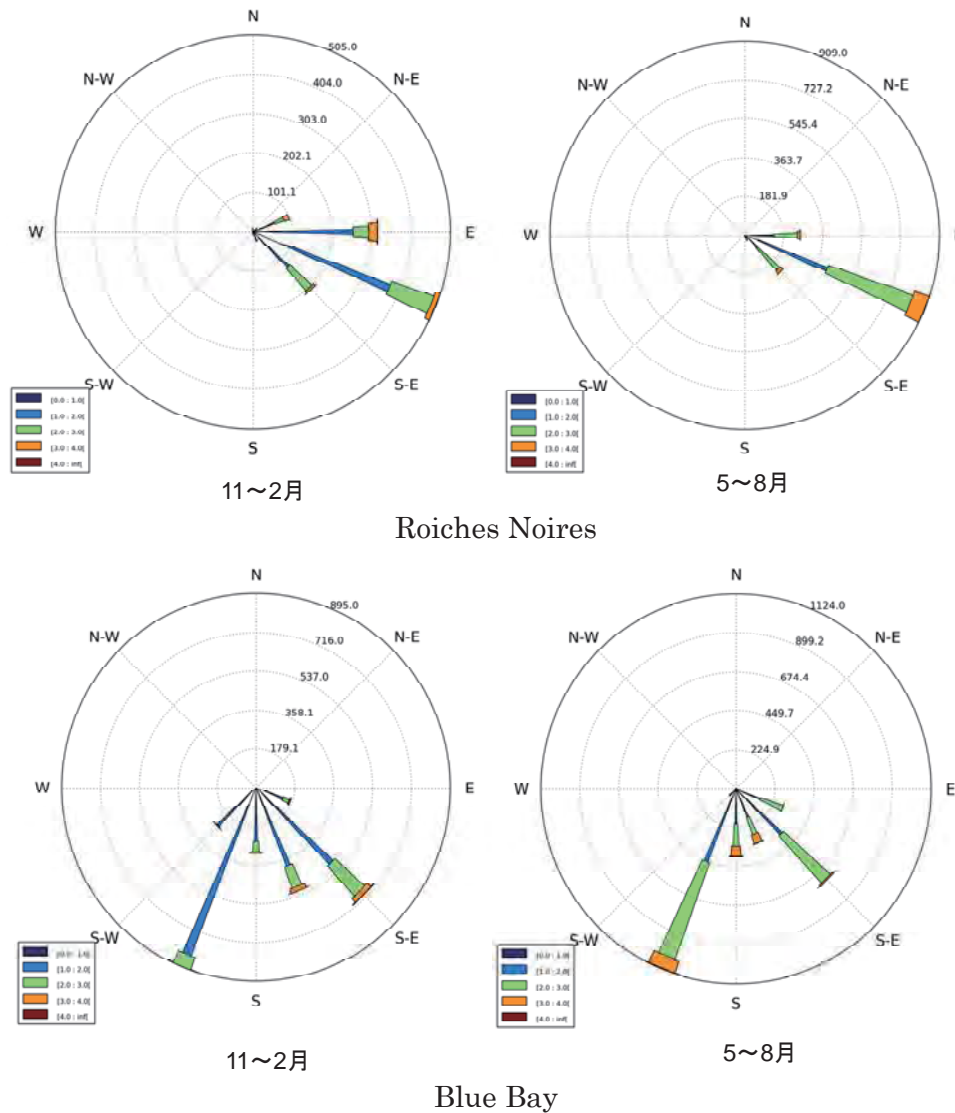
※気圧深度=1013-最低気圧として求めている

出典：JICA 調査団

## 2.1.2 波浪

### a. 沖波

「モ」国の沖波は、風況と同様に冬季と夏季でその特性が異なる。冬季は南東貿易風による波浪、夏季は南東貿易風の影響が弱くなり、サイクロン来襲による波高が卓越する。図 2.1.4にBlue BayおよびRoches Noiresの波高・波向の頻度 (Wave roses) を示す。Roches Noiresにおける波向は夏季および冬季ともESEが卓越する。冬季は2~3mの波高の頻度が高いのに対して、夏季は1~2mの頻度が高いこともわかる。Blue Bayは、SSWが卓越しており、冬季に有義波高が2mを越えることが多い。



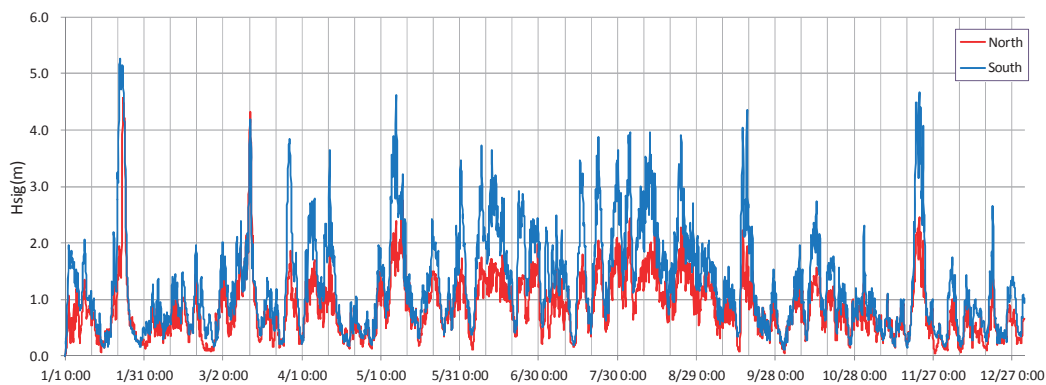
出典：JICA 調査団

図 2.1.4 Roches Noires(MOI)および Blue Bay 観測地点における波高・波向の頻度分布

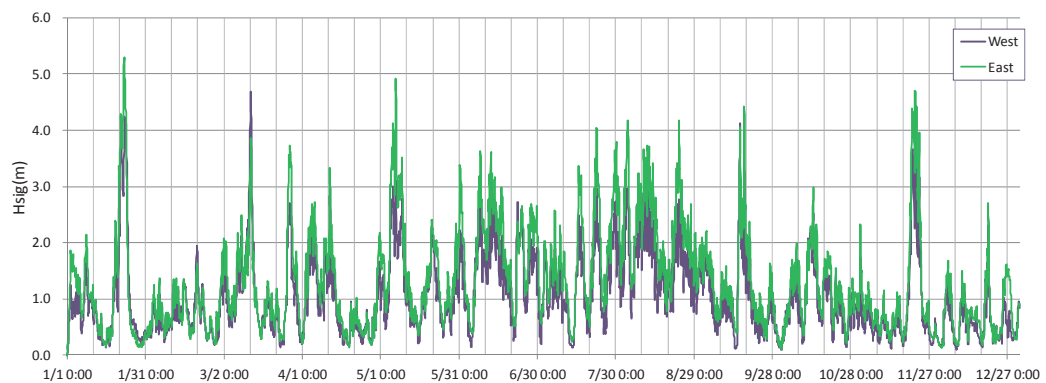
なお、「モ」国では波浪観測されているのは上記の2箇所のみであり、「モ」国全域の沿岸部における波浪の関係は観測では把握することができない。各地での波浪の状況を把握するために、NCEP/NCARによる風速分布より1年間の波浪推算した結果より、東西南北沿岸の年間の波浪特性を考察した。例として、2002年の1年間における波浪推算を行

った結果のうち、東西南北沖合の有義波高の年間変化を図 2.1.5に示す。また、サイクロンや冬季低気圧が来襲した時期における有義波高の分布を図 2.1.6に示す。波浪推算による時刻歴および波高分布より、「モ」国における年間の波浪の特性は以下となる。

- ・東西南北地点とも、5～9月における有義波高は2mを頻繁にこえる。特に南・東はその頻度は高く、南東貿易風の影響による波浪が卓越する地点となる。
- ・10～4月は比較的静穏な時期であり、有義波高は1～1.5m程度となる。特に北部の波高が他に比べて小さい。
- ・サイクロンや低気圧は11～3月頃に多く来襲する。なお、対象とした2002年はサイクロンDinaが来襲している。この影響により大きな波が「モ」国全体に來襲する。サイクロンの経路によりその大きさは異なるが有義波高5m以上になる。



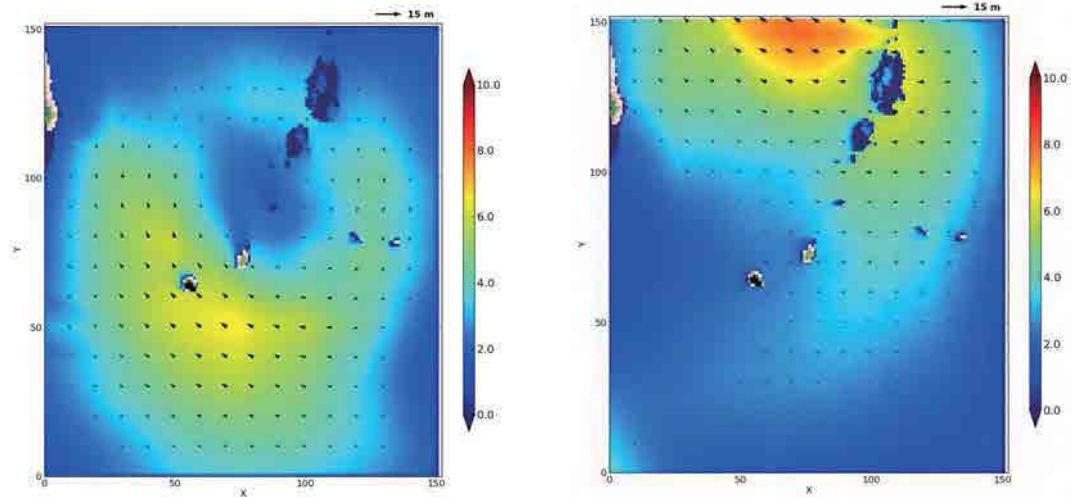
南北地点



東西地点

出典：JICA 調査団

図 2.1.5 波浪推算による「モ」国東西南北沖合における波高の時間変化



サイクロン Dina 来襲時(2002/1/21)

冬季低気圧来襲時(2002/5/7)

出典：JICA調査団

図 2.1.6 波浪推算(NCEP/NCAR 再解析値の風速分布による)有義波高の分布

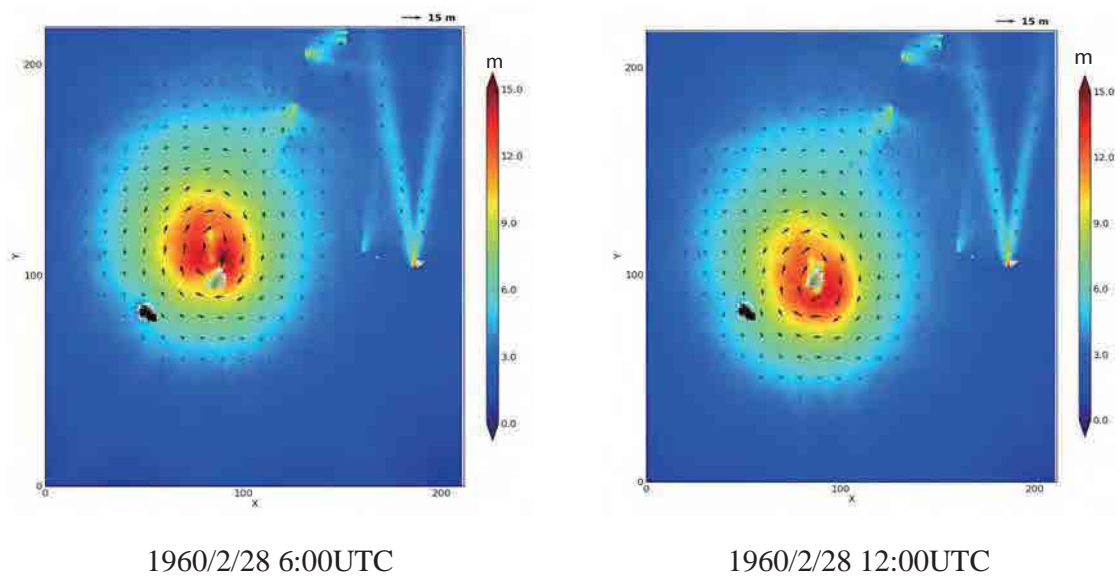
また「モ」国では、サイクロンが頻繁に来襲する。サイクロンの影響により、高波浪が来襲する。サイクロンによる波浪特性を把握するために波浪推算から代表的なサイクロン来襲時における波浪特性を把握した。サイクロンの経路から、気圧経度風および気圧分布を計算して、代表地点における波高の時間変化を算定した。時間変化の結果の最大値を表 2.1.3に示す。1960年Carol、1994年Hollanda、2002年Dinaにおいて、全方位で10mを越える有義波が推算された。常時の波浪は季節によりその違いが見られるが、サイクロンが来襲するような場合はその経路と規模に依存するものと考えられる。

また、「モ」国に最も大きな被害を与えたサイクロンCarol（1960年）は、” Tropical Cyclones and Coastal Morphology in Mauritius”に当時の打ち上げ高（漂流物による痕跡）、侵食状況および観測記録が残されている。この結果およびサイクロンJTWCによるサイクロンの経路情報を利用してCarol来襲時の波浪推算を行った。図 2.1.7が任意時刻の計算結果（有義波高の分布）である。この結果からも把握できるように、サイクロンは「モ」国に上陸したときも勢力が衰えないため、北部だけでなく南部も波が高い結果であることがわかる。また、図 2.1.8には当時の打ち上げ高を示す。沿岸の地形やリーフ幅などによりその影響は様々にはなるが、南部で12feetの打ち上げ高が記録されている。

表 2.1.3 各サイクロンにおける波浪推算結果(有義波の最大値)

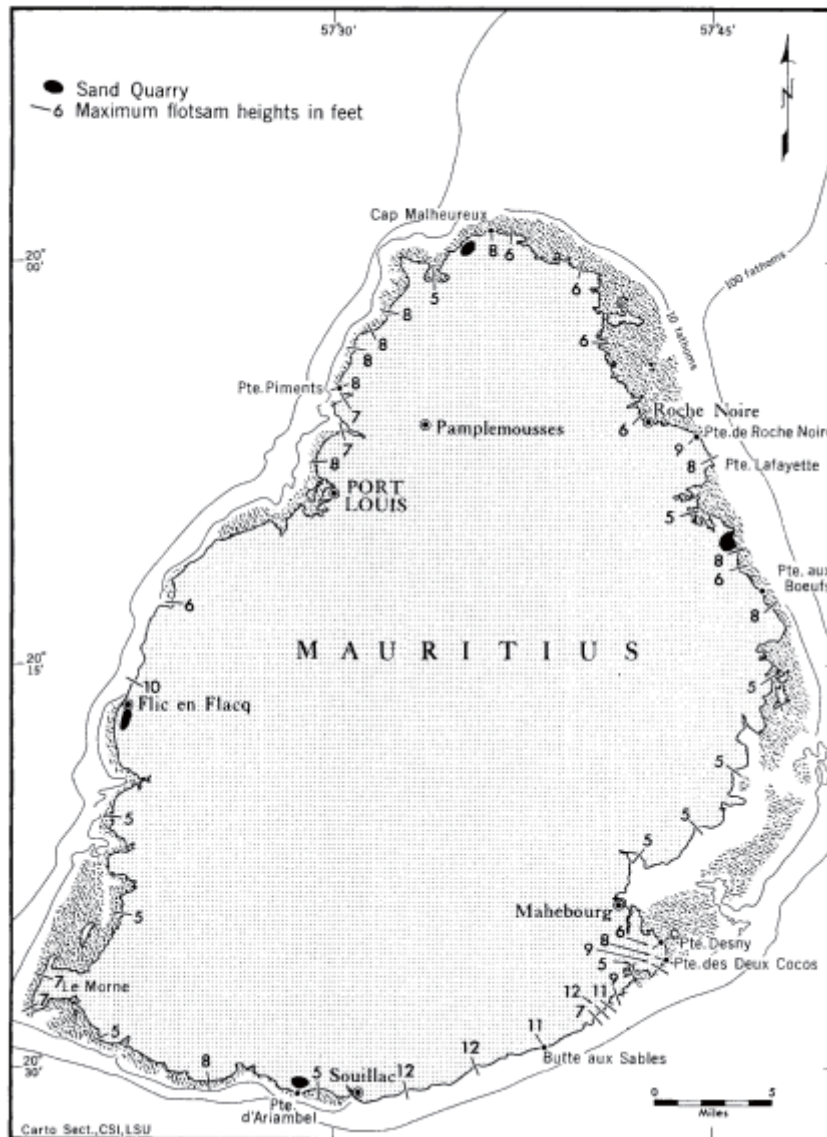
Cyclone	Maximum significant wave height(m)			
	N	S	E	W
1960-Carol	12.51	10.94	14.00	12.61
1989-Krisy	5.07	5.76	6.26	5.44
1994-Hollanda	10.66	12.94	13.51	10.49
1995-Ingrid	6.13	8.68	8.37	6.94
1996-Bonita	5.91	4.08	5.25	4.28
1996-Daniella	7.38	6.02	7.69	10.28
1996-Flossy	3.66	5.42	5.19	4.25
1998-Anacelle	7.45	9.63	9.90	8.11
1999-Davina	7.79	9.49	10.59	11.37
2000-Connie	8.67	12.29	12.94	8.72
2002-Dina	11.78	10.12	11.49	7.41
2002-Guillaume	8.67	12.29	12.94	8.72
2003-Gerry	8.92	8.60	10.44	6.71
2005-Hennie	5.40	5.67	6.17	4.78
2007-Gamede	5.22	3.53	4.53	4.37
2008-Hondo	2.90	2.17	2.86	2.40
2009-Gael	3.12	2.21	2.86	2.95
2010-Gelane	3.32	3.17	3.65	2.15
2012-Giovanna	5.13	3.69	4.84	3.81
2013-Dumile	2.52	2.06	2.37	2.98
2013-Imelda	3.19	2.83	3.31	2.20

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 2.1.7 サイクロン Carol における有義波高の推算結果



出典：Tropical Cyclones and Coastal Morphology in Mauritius

図 2.1.8 サイクロン Carol に来襲による打ち上げ高(unit:feet)

## b. 沖波とリーフ内波浪との関係

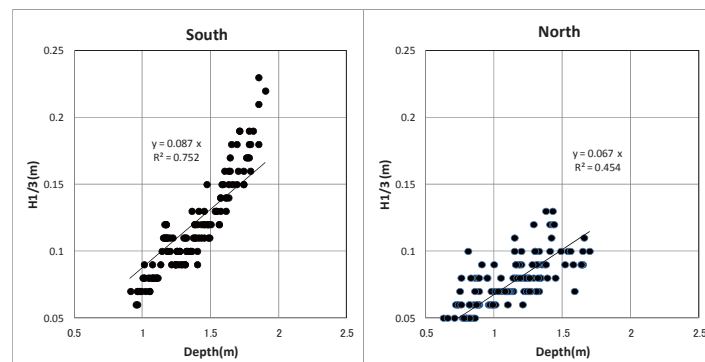
「モ」国では現在、リーフ内に波高計が設置されており、Blue Bayの沖合の波浪観測との比較ができる状態である。波浪観測（2013年2～5月）で得られた水深と有義波高の関係を図 2.1.9（観測地点）～図 2.1.10（観測結果）に示す。これより、水深変化と波高変化には相関が見られている。また、南の観測地点では水深と波高の関係は概ね、 $H = 0.09d$  ( $H$ : wave height,  $d$ : depth)および北側の地点で $H = 0.07d$ となった。また、Blue Bayと観測結果との比較を図 2.1.11に示す。サイクロンImeldaが4月中旬に付近を通過しているが、このときの関係が両者に見られている。

2013年10月よりPointe d'Esnyの波高計を1箇所にして、Grand Sableで1箇所設置した（図 2.1.12を参照）。この後に2014年1～2月にかけて、2つのサイクロンBejisaおよびEdilsonが来襲した。このときのGrand SableおよびRoiches Noiresの波高変化を図 2.1.13に示す。サイクロンBejisa来襲時は、沖合での有義波高が3m程度であるのに対してリーフ内有義波は0.3m程度である。また、サイクロンEdilsonの場合は沖合で波高が4m以上となるが同様にリーフ内では0.3m程度なる。Grand Sableは岸からリーフエッジまでが4km程度と長く沖の波浪が減衰する。これより、沖波の大きさにあまり関係がないことがわかる。また、サイクロンBejisaは「モ」国の西側を通過し、サイクロンEdilsonは東側を通過している。この経路の違いにより、観測地点（Roiches Noires）の波浪の発達状況が違ったと考えられる。



出典： JICA 調査団

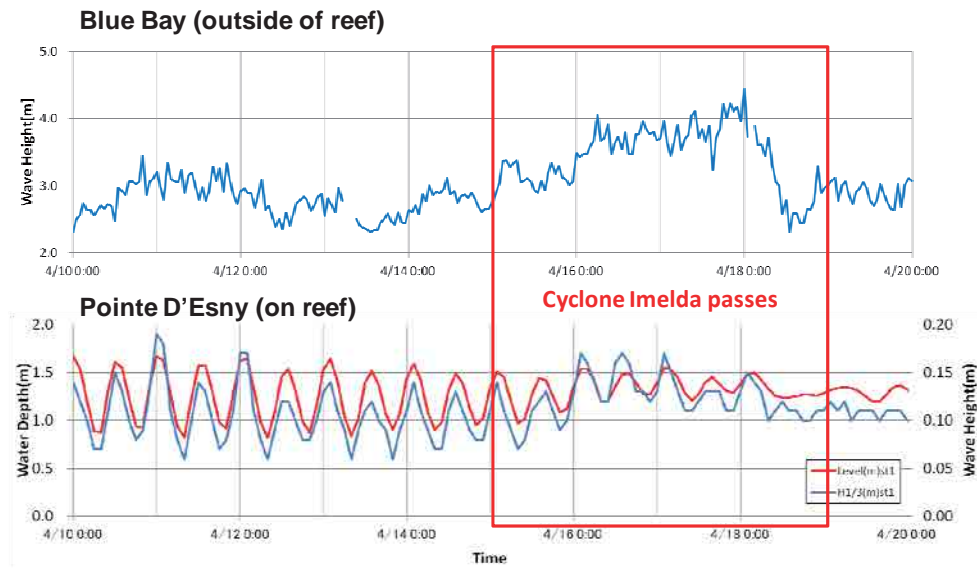
図 2.1.9 波高計・流速計設置箇所



出典： JICA 調査団

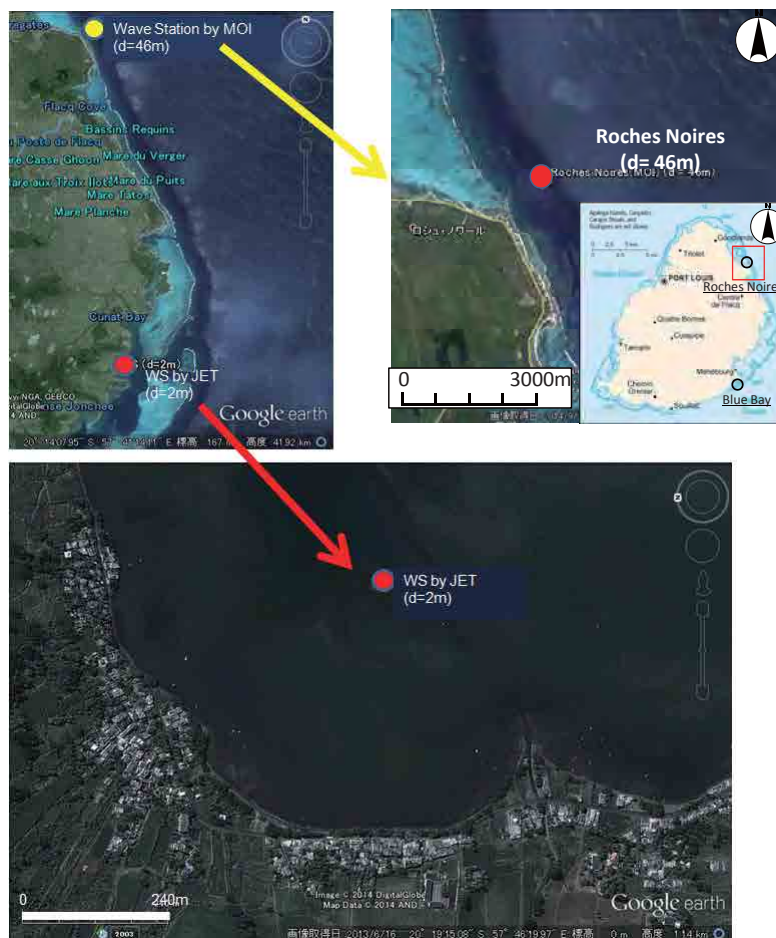
図 2.1.10 水深と波高の関係





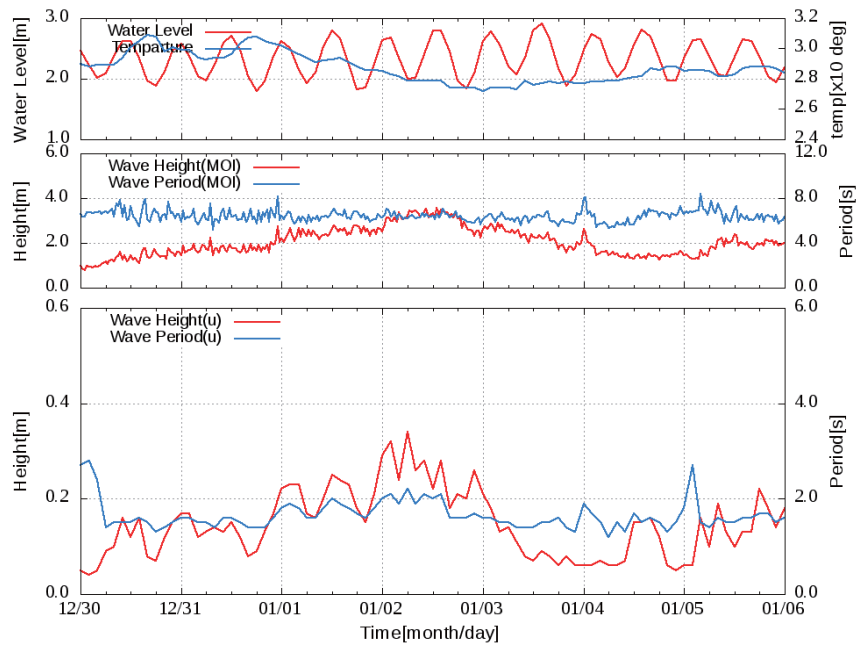
出典：JICA 調査団

図 2.1.11 Blue Bay および Pointe d'Esny における波浪観測の比較

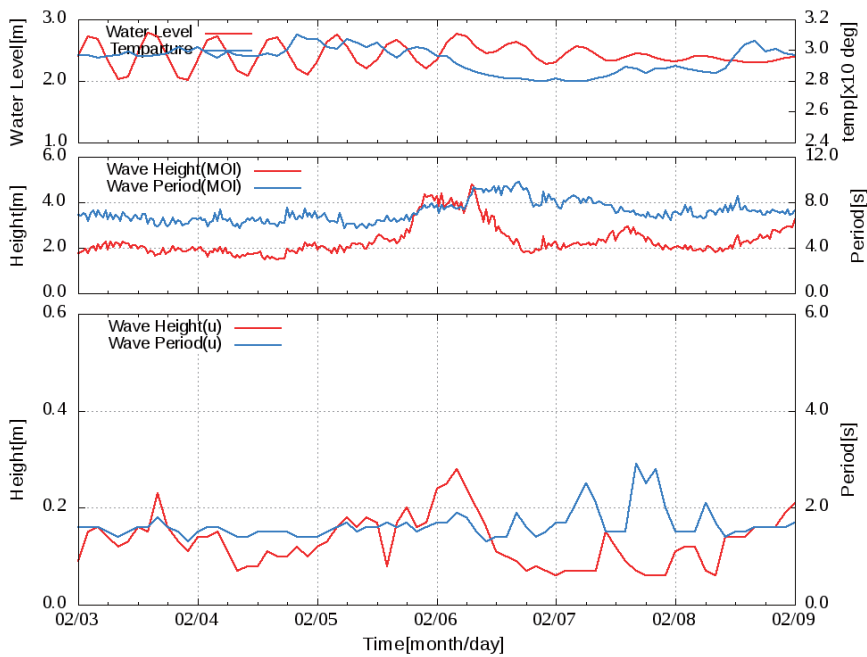


出典：Google マップを JICA 調査団で加工

図 2.1.12 観測地点(Roches Noires および Grand Sable)



サイクロン Bejisa 来襲時



サイクロン Edilson 来襲時

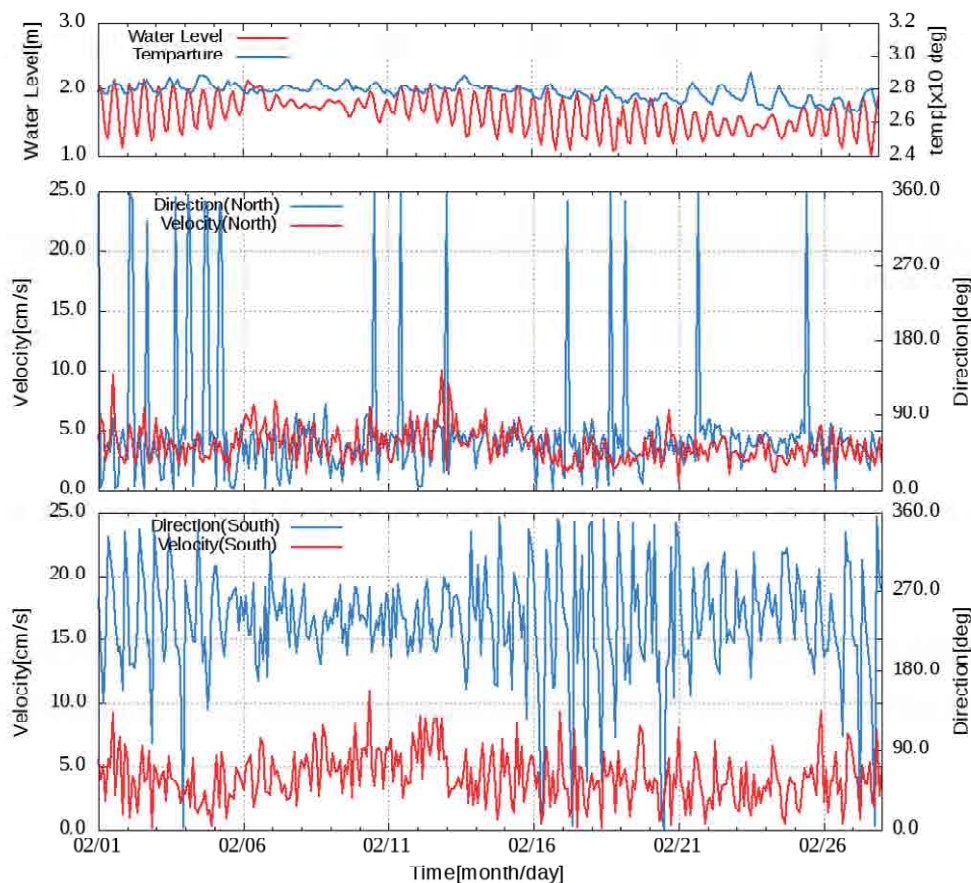
出典：JICA 調査団

図 2.1.13 サイクロン来襲時の波浪・水位・水温の変化

リーフ内の流れは、Pointe d'Esnyの波高計2カ所及び流速計2箇所により2013年2月から観測を行っている。このうち、2014年2月のサイクロンが来襲した時の流速、流向の変化（流速計設置箇所の2地点）を図 2.1.14に示す。この結果から、サイクロン来襲した場合および来襲前後もほとんど流速に大きな変化はない。流速の変化はサイクロンの来襲によるものでなく、潮汐に連動していることがわかる。

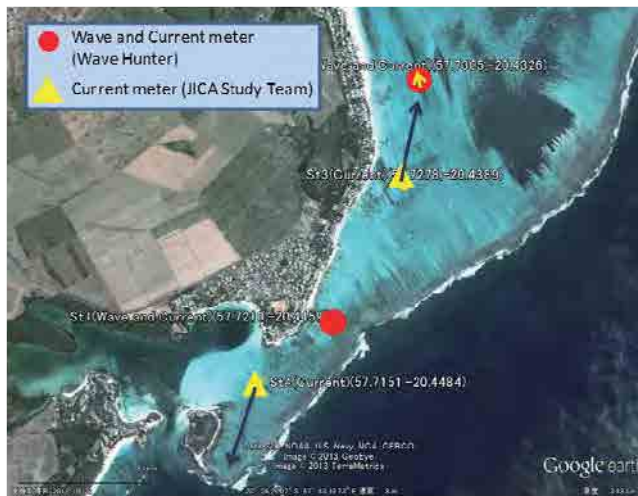
サイクロンEdilsonが来襲した時の流速観測地点4箇所の流速ベクトルを図 2.1.15に示す。この結果より、流速のオーダーは10cm/s以下であるのがほとんどであるが、北側に設置した流速計は北向きの流向となっており、沿岸流速が発達していると考えられる。なお、南部に設置した流速計は、南向き～西向きが卓越する。これは沿岸に沿う流れでなく、潮汐による影響であると考えられる。

リーフ内の流速は全体的に小さく、沖の波浪に伴う海浜流はほとんど発生しない。潮汐による影響若しくは風による擾乱から発生する流れが支配的であると考えられる。

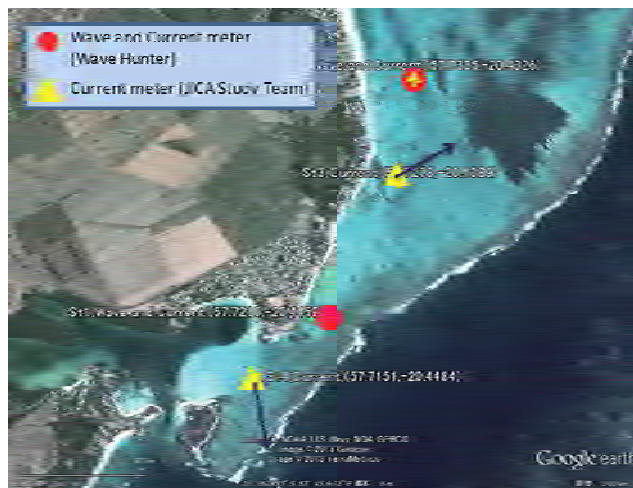


出典：JICA 調査団

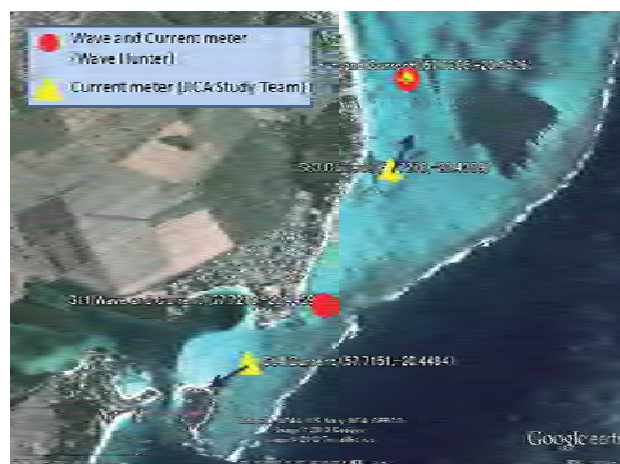
図 2.1.14 Pointe d'Esny における流速・流向の時間変化(2014年2月)



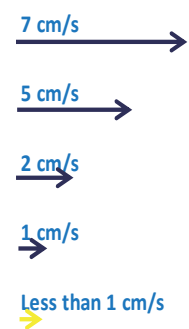
2014 2/5 8:00



2014 2/6 12:00



2014 2/7 12:00



出典：JICA 調査団

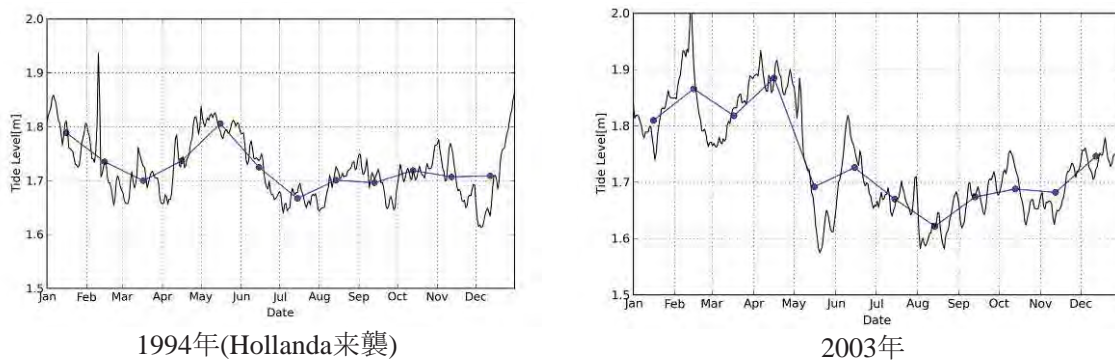
図 2.1.15 サイクロン Edilson 来襲時における流速・流向の分布

### 2.1.3 水位

#### a. 潮位

「モ」国はPort Louisで約25年間連続的に潮位が観測されており、時間、日および月平均の潮位が整理されている。月平均および日平均をプロットしたものの代表的なものを図 2.1.16に示す。年によって変動は見られるものの、1～3月は平均的な潮位は高く、5～10月頃は低い。これは、サイクロンが来襲する時期とほぼ同じである。

また、文献 (Tidal Analysis and Prediction in the Western Indian Ocean) では「モ」国 (Port LouisおよびRodrigues) における調和分解が行われており、調和定数が提示されている。主要分潮における調和定数を表 2.1.4に示す。この結果より半日周期の潮汐が卓越していることがわかる。



出典：The Global Sea Level Observing System のデータを JICA 調査団が加工

図 2.1.16 年間の潮位変化(Port Louis)

表 2.1.4 主要分潮における調和定数

Symbol	Constituent name	Port Louis		Rodrigues	
		Amplitude (cm)	Phase (deg)	Amplitude (cm)	Phase (deg)
M <sub>2</sub>	Principal lunar semidiurnal	15.16	350.49	41.34	335.53
S <sub>2</sub>	Principal solar semidiurnal	10.17	38.13	25.19	43.78
N <sub>2</sub>	Larger lunar elliptic semidiurnal	4.29	86.51	7.59	59.48
K <sub>1</sub>	Luni-solar declinational diurnal	6.35	286.94	5.54	315.04
K <sub>2</sub>	Luni-solar declinational semi diurnal	2.23	184.67	6.12	181.61
O <sub>1</sub>	Lunar declinational diurnal	4.18	263.33	3.44	296.72
SA		12.14	228.34	13.43	252.07

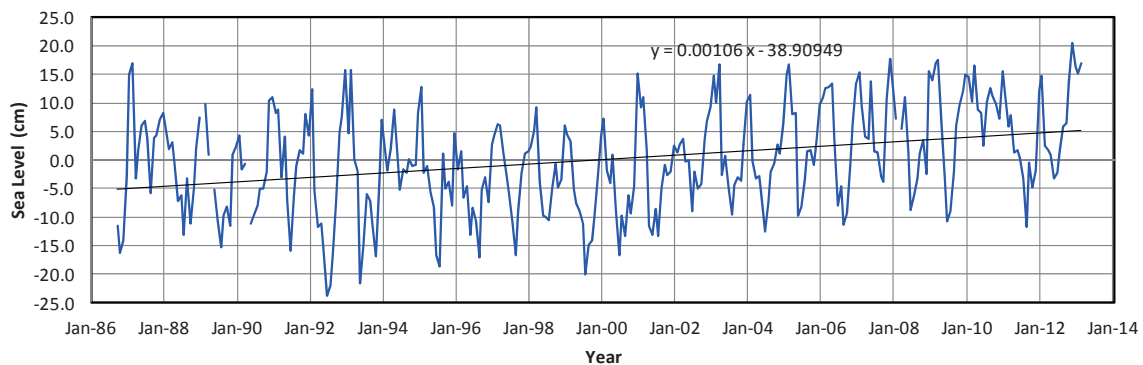
出典：Tidal Analysis and Prediction in the Western Indian Ocean Regional Report

## b. 高潮

「モ」国はサイクロンが頻繁に上陸するため、高潮による潮位の上昇が考えられる。高潮による潮位上昇は、①気圧降下による水の吸い上げ、②風の吹き寄せによる水位の上昇の2種類が考えられるが、②による効果が大き。風の吹き寄せによる水位上昇は、閉鎖性のある湾で特にその影響が見られるが、「モ」国では特に大きな湾がない。このため、高潮による潮位偏差は図 2.1.16のように平均値と瞬間値の差に見られるが、その規模は30cm程度である。従って前述の波浪に比べてその影響は小さい。

## c. 海面上昇

潮位観測の過去30年分の日潮位の平均値をプロットすると図 2.1.17のようになる。過去約30年のPort Louisにおける潮位観測より3.9mm/年の潮位上昇傾向となる。



出典：The Global Sea Level Observing System のデータを JICA 調査団が加工

図 2.1.17 Port Louis における潮位変動

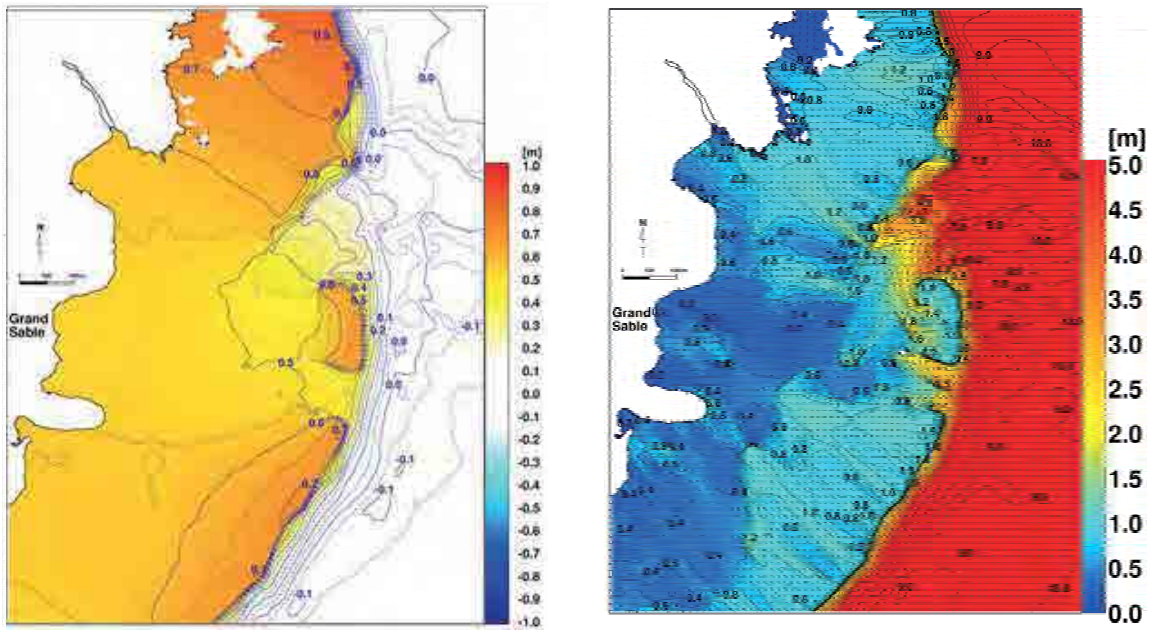
## d. リーフ内における砕波による水位上昇

リーフ幅のある海岸では、砕波による水位上昇が生じる。リーフ幅が大きいGrand Sable における波高分布を波浪変形計算より算定した。その結果ESE方向の波高がリーフ内で大きくなる。波向ESEの場合のwave-setup量の平面分布を図 2.1.18に示す。wave-setup量は約0.55m、波高は南端で最も大きく約0.4mである。リーフ内における水位上昇は、砕波後のリーフ幅によりその大きさは異なるが、Grand Sableのようにリーフ幅が広い場合は上記の値であり、他の海岸はその同程度以下と考えられる。

表 2.1.5 波浪変形計算条件

計算条件	設定値または考慮の有無	摘要
沖波波高、周期、波向	に示す16方位別30年確率波諸元	NE～SSEまでの計6方向を検討
潮位条件	CD+1.04m	30年確率潮位
海底摩擦による波高減衰	考慮しない	設計に対して安全側の設定
wave-setup	考慮する	
リーフ内での風波の発達	考慮しない	

出典：JICA 調査団



wave-setup 量の平面分布 (波向 ESE : 30 年確率波, Grand Sable 前面リーフ全体範囲)

波高と波向の平面分布 (波向 ESE : 30 年確率波, Grand Sable 前面リーフ全体範囲)

出典：JICA 調査団

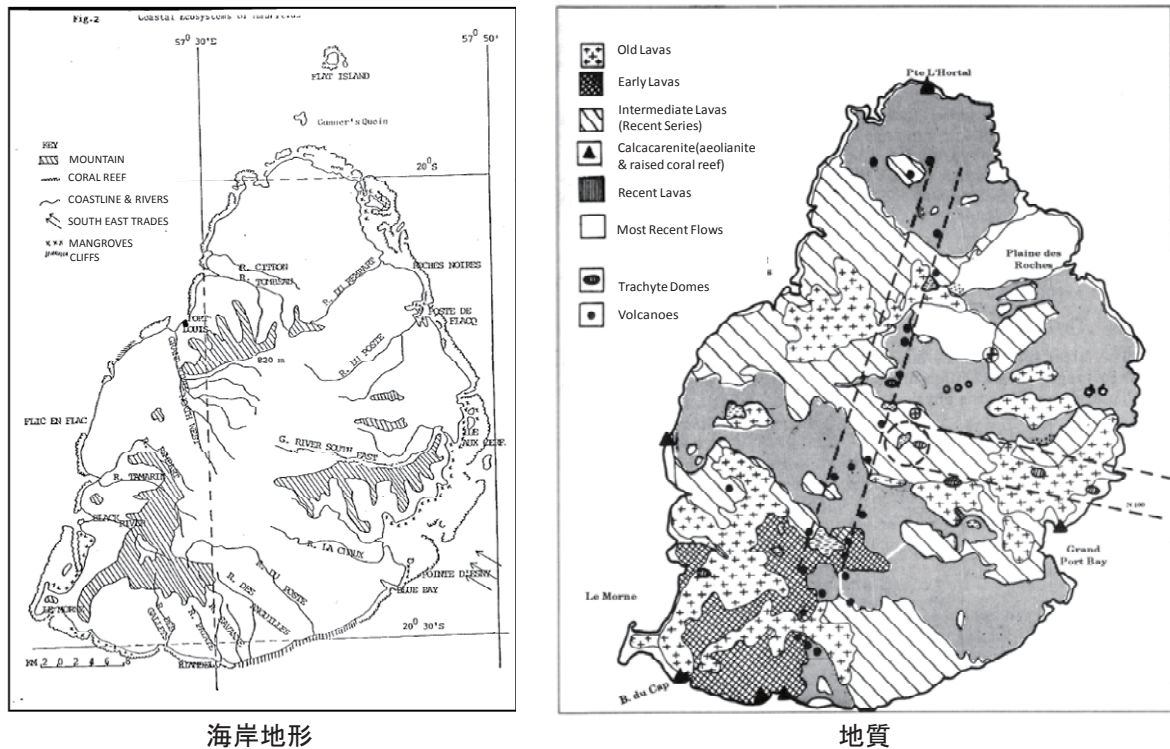
図 2.1.18 Wave-setup および波高の計算結果

## 2.1.4 沿岸域の地質・地形

### a. 地質

「モ」国は、南緯20°、東経57°に位置する、マダガスカルから800km南東にあるインド洋に面した火山島である。海岸形態は、砂浜、礫浜、泥浜、湿地、崖、石灰質海岸およびそれらの混合海岸から成っており、非常に多様性に富んだ海岸形態を示している。

「モ」国の地質図を図 2.1.19に示す。1000万～600万年前が火山の活動期であり、その後静穏と活動を繰り返した地形である。南西部の沿岸は、700万年以上前の溶岩質であり、北東部の一部は、2万年以上前の溶岩質、そのほかは10万年以上前の溶岩によるものが占める。



出典：IOC-UNEP-WMO-SAREC, Planning Workshop on An Integrated Approach to Coastal Erosion, Sea Level Changes and Their Impacts

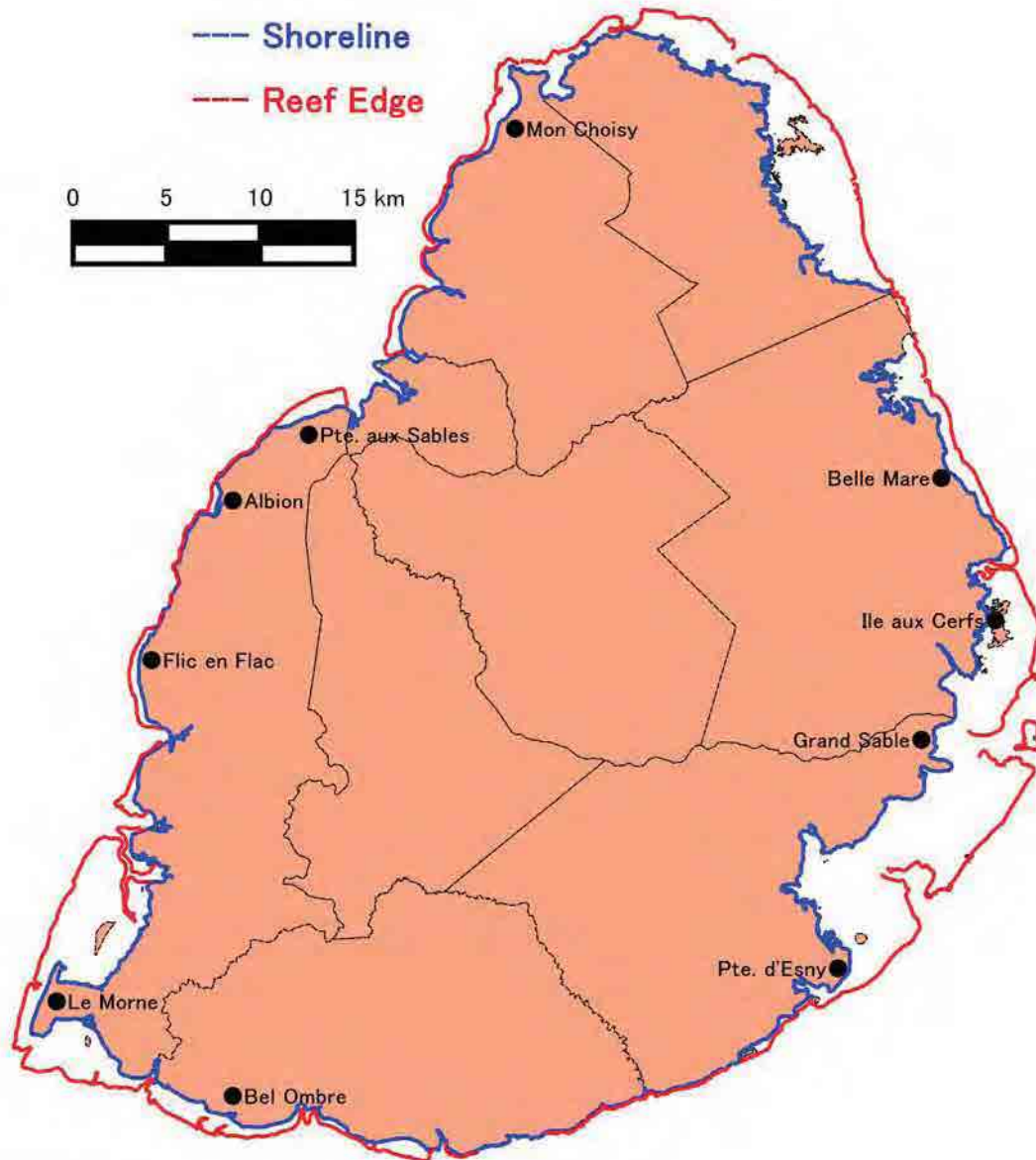
出典：Mauritius A Geomorphological Analysis

図 2.1.19 「モ」国における海岸地形および地質



## b. サンゴ礁帯

モーリシャス島におけるラグーン（リーフで囲まれた沿岸海域）の面積は243km<sup>2</sup>、リーフの延長は150kmである。リーフの幅は、東部や北東部では3km以上に及ぶ場所があり、その他では南東端周辺でも比較的広い。代表的な砂浜海岸があるFlic en FlacやBell Mareの前面では、数百mのリーフ幅である。一方、南部や西部の一部では、リーフがほとんど発達していない地域もある。



出典：JICA調査団

図 2.1.20 モーリシャス島周辺のリーフ

### c. 海岸地形

代表的な海岸として、Pte. d'Esnyの図 2.1.21に示す位置における海浜断面測量結果を図 2.1.22に示す。この地域は、北向きの漂砂が卓越しているために、突堤の南側に砂が堆積しやすく、その北側は侵食傾向で浜幅が狭い。

LINE-1は、堆積域で浜幅が広い。一方、LINE-3は侵食域で浜幅が狭く、背後に砂袋を置いて簡易な対策が施されている。LINE-2は、両者の中間的な場所である。

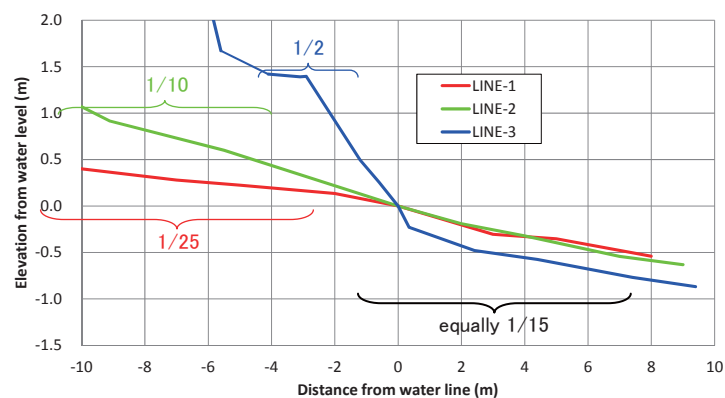
水際線よりも海側の海浜勾配は、どのラインも同等の1/15程度である。一方、その岸側(前浜)は、浜幅の広いLINE-1では1/25程度の緩勾配、中間的なLINE-2は1/10程度、侵食域のLINE-3では1/2程度の急勾配である。

このように、前浜の勾配は、同じ海岸でも堆積域では緩やかで、侵食域では急である。



出典：Ministry of Housing and Lands in Mauritius からの資料（2008）をベースに JICA 調査団で加工

図 2.1.21 Pte. d'Esny における海浜断面測量位置



出典：JICA調査団

図 2.1.22 Pte. d'Esny における海浜断面測量結果(17/10/2014)

#### d. 海岸底質

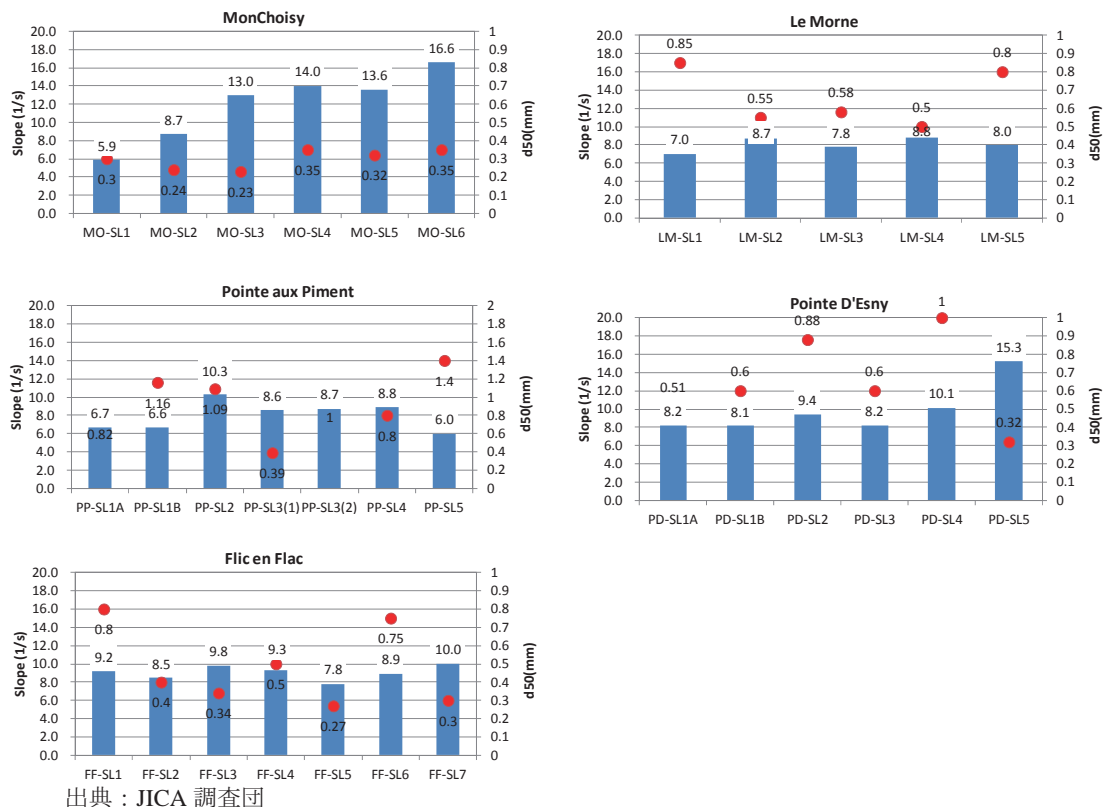
「モ」国の代表的な海岸での底質調査結果を図 2.1.23および図 2.1.24に示す。

前浜における粒径分布の特徴 (図 2.1.23を参照) :

- ① Mon Choisy、Flic en Flac 及び Point d’Esny については中央粒径が 0.2~0.34mm 程度であり、モ国の中では細かい砂が分布する海岸である。
- ② Le Morne は 0.5~0.8mm 程度である。沿岸方向に特に大きな変化は見られていないが、北側が若干粗い成分になる。
- ③ Pointe aux Piment は粒径にばらつきが見られるが、中央粒径で 0.4~1.4mm 程度である。沿岸漂砂の移動により粒径が変化する傾向は見られない。

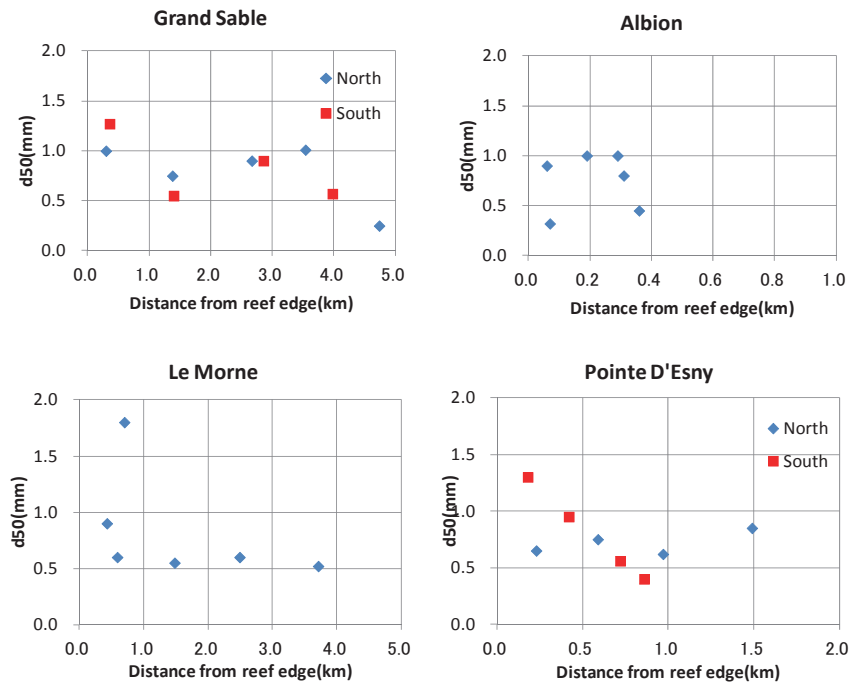
● リーフ幅、距離と粒径の関係 (図 2.1.24を参照) :

- ① Grand Sable は、リーフ幅が約 5km であり、ほぼ一様幅である。南北地点ともリーフエッジからの距離が大きくなるに従って、粒径が小さくなる傾向である。リーフエッジから 4km 程度離れた地点で若干粒径が大きくなるが、ここは南北方向に水路があり、その移動の影響により、一部粒径に変化が生じていると考えられる。
- ② Pointe d’Esny は、北側でリーフ幅が 2km 程度、南側で 0.5km 程度と変化している。南側はリーフエッジから遠くなると粒径が半分以下になるが、北側ではこの傾向は見られない。これは、沖側の波が砕波して伝播する距離が違うため、粒径の変化に違いが見られたものと考えられる。
- ③ Le Morne および Albion は距離による大きな違いはあまり見られない。Le Morne ではわずかに距離により粒径が小さくなる傾向がある。



出典：JICA 調査団

図 2.1.23 前浜勾配と粒径の関係

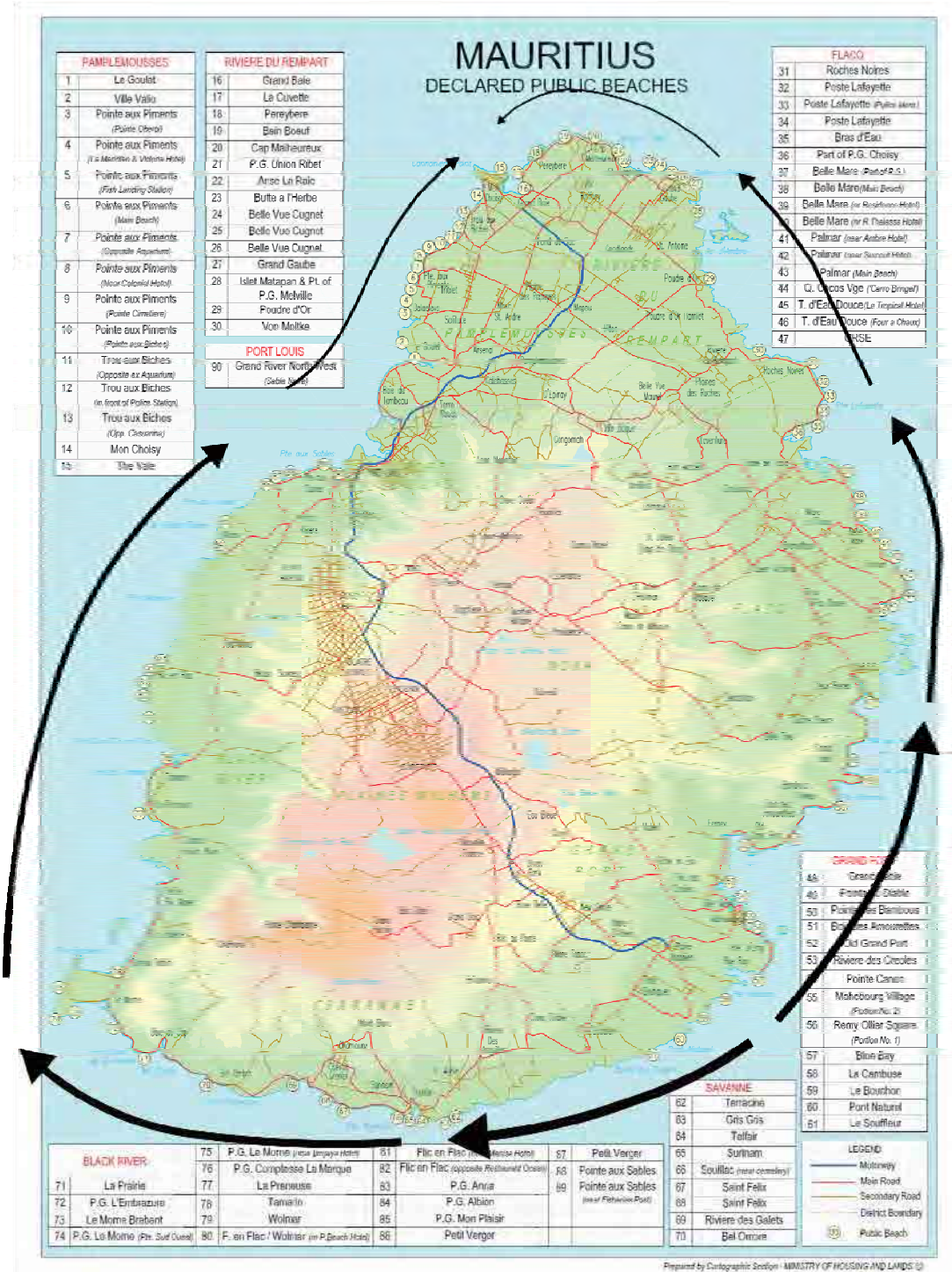


出典：JICA 調査団

図 2.1.24 リーフエッジからの距離と粒径の関係

e. 漂砂特性

風や波の特性、岬や突堤周辺の浜幅の違いなどから、モーリシャス島周辺をマクロ的にみると、図 2.1.25に矢印(→)で示すような沿岸漂砂が卓越している。南東部のBlue Bayより北側は反時計回り、西側は時計回りの方向である。



出典：JICA調査団

図 2.1.25 卓越する沿岸漂砂のマクロな方向

## 2.2 設計条件

### 2.2.1 設計沖波

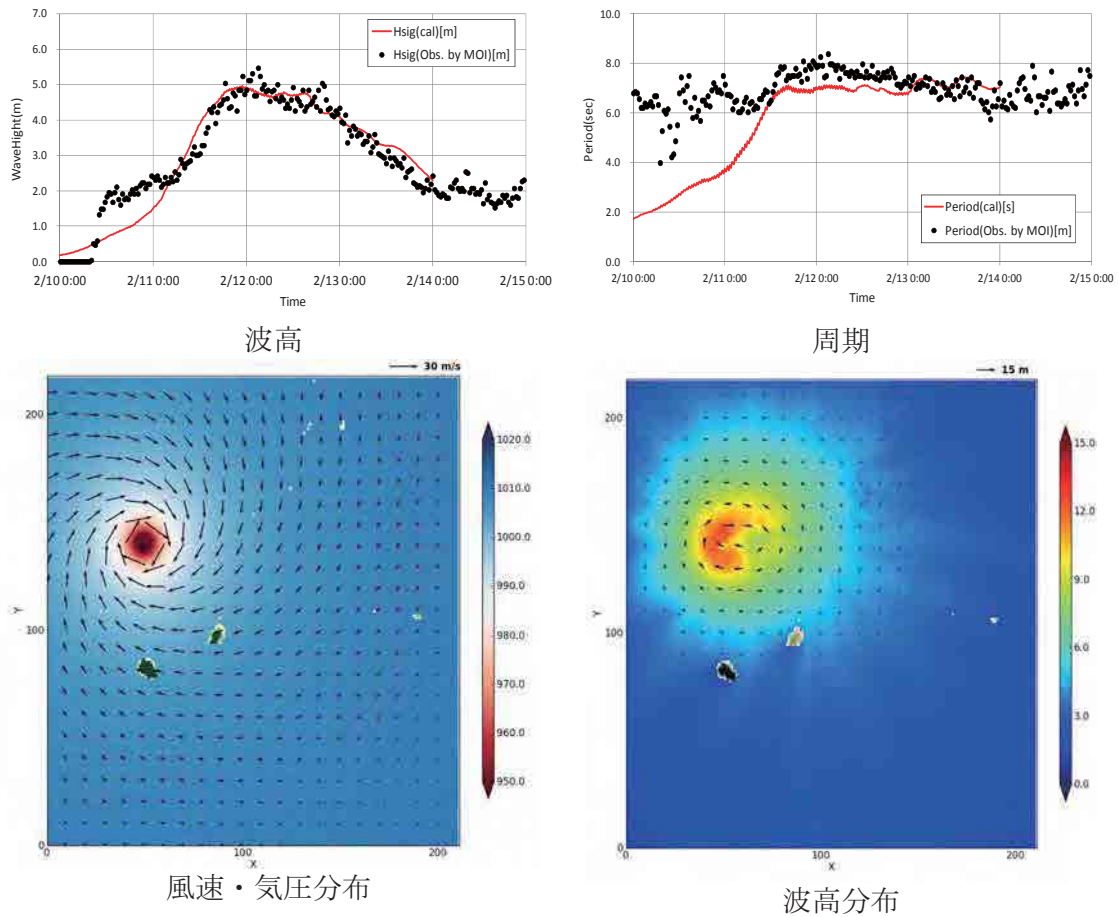
過去のサイクロンの経路および気圧から風速分布を算定して波浪推算および極値統計解析を行った。波浪推算にあたっては、波浪推算モデル(SWAN)より各方位の最大となる有義波高を推算した。波浪推算のモデル検証および台風場のチューニングのため、実測データのある2012年サイクロンGiovannaで実測と検証した。図 2.2.2に波高の検証結果を示す。周期については、サイクロンが来襲する前まで過小評価であるが、ピーク時(サイクロン来襲時)には波高・周期とも再現性は確保できている。

このモデルを用いて、代表的なサイクロンの経路から、気圧経度風および気圧分布を計算して、代表地点における波高の時間変化を算定した。時間変化の結果の最大値をサイクロン毎に表 2.2.1に示す。1960年Carol、1994年Hollanda、2002年Dinaでは全方位で10mを超える有義波と推算された。なお、最近10年間は以前に比べてサイクロンおよび来襲波の規模が小さくなっている。

表 2.2.1 各サイクロンにおける代表地点の最大波高

Cyclone	Maximum significant wave height (m)			
	N	S	E	W
1960-Carol	12.51	10.94	14.00	12.61
1989-Krisy	5.07	5.76	6.26	5.44
1994-Hollanda	10.66	12.94	13.51	10.49
1995-Ingrid	6.13	8.68	8.37	6.94
1996-Bonita	5.91	4.08	5.25	4.28
1996-Daniella	7.38	6.02	7.69	10.28
1996-Flossy	3.66	5.42	5.19	4.25
1998-Anacelle	7.45	9.63	9.90	8.11
1999-Davina	7.79	9.49	10.59	11.37
2000-Connie	8.67	12.29	12.94	8.72
2002-Dina	11.78	10.12	11.49	7.41
2002-Guillaume	8.67	12.29	12.94	8.72
2003-Gerry	8.92	8.60	10.44	6.71
2005-Hennie	5.40	5.67	6.17	4.78
2007-Gamede	5.22	3.53	4.53	4.37
2008-Hondo	2.90	2.17	2.86	2.40
2009-Gael	3.12	2.21	2.86	2.95
2010-Gelane	3.32	3.17	3.65	2.15
2012-Giovanna	5.13	3.69	4.84	3.81
2013-Dumile	2.52	2.06	2.37	2.98
2013-Imelda	3.19	2.83	3.31	2.20

出典：JICA調査団



出典：JICA調査団

図 2.2.1 2012 年サイクロン Giovanna の検証結果

表に示す波浪推算結果より、東西南北沖合における極値統計解析結果を表 2.2.2に示す。この極値統計解析結果は、サイクロン来襲時の局所的な波浪の最大値からの極値統計であるために、全体的に大きな値となっている。

なお、物理対策を行ったGrand Sable付近設計波を算出するにあたっては、波浪推算で求められる波浪を方向スペクトル成分に分割した波高として算出して各波向における確率波を算出した。表 2.2.3に各波向成分における波高の極値統計解析結果を示す。また、周期は、MOIが観測する波高と周期から関係を求めて近似的に表現した。

表 2.2.2 各地点における極値統計解析結果

Return Period	N		S		E		W	
	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)	H(m)	T(s)
5 years	6.0	9.6	6.2	9.7	7.0	10.2	5.7	9.5
10 years	8.3	11.0	9.0	11.4	10.0	12.0	8.2	11.0
20 years	10.0	12.0	11.1	12.7	12.3	13.4	10.1	12.1
30 years	10.9	12.6	12.2	13.4	13.4	14.1	11.1	12.7
50 years	11.9	13.2	13.5	14.1	14.7	14.8	12.2	13.3
100 years	13.2	13.9	15.0	15.0	16.4	15.8	13.6	14.1

出典：JICA調査団

表 2.2.3 各波向における極値統計解析結果(Grand Sable近傍)

再現期間	S		SSE		SE		ESE		E	
	波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)
5年	4.34	8.63	4.80	8.91	4.93	8.98	4.82	8.91	4.21	8.55
10年	7.24	10.36	7.43	10.47	7.39	10.45	7.34	10.42	6.86	10.13
20年	9.28	11.58	9.35	11.62	9.22	11.55	9.19	11.53	9.08	11.46
30年	10.28	12.18	10.31	12.20	10.14	12.09	10.11	12.08	10.27	12.17
50年	11.43	12.86	11.41	12.85	11.19	12.72	11.17	12.71	11.68	13.02
100年	12.81	13.70	12.75	13.66	12.48	13.49	12.46	13.48	13.49	14.10

再現期間	ENE		NE		NNE		N	
	波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)	波高(m)	周期(s)
5年	3.25	7.98	2.76	7.68	2.88	7.75	2.29	7.40
10年	5.90	9.56	5.37	9.25	4.76	8.88	4.75	8.87
20年	8.54	11.14	7.99	10.81	7.11	10.28	7.21	10.34
30年	10.09	12.07	9.52	11.73	8.64	11.20	8.65	11.21
50年	12.04	13.23	11.45	12.88	10.72	12.44	10.47	12.29
100年	14.68	14.81	14.07	14.44	13.75	14.25	12.93	13.76

出典：JICA調査団

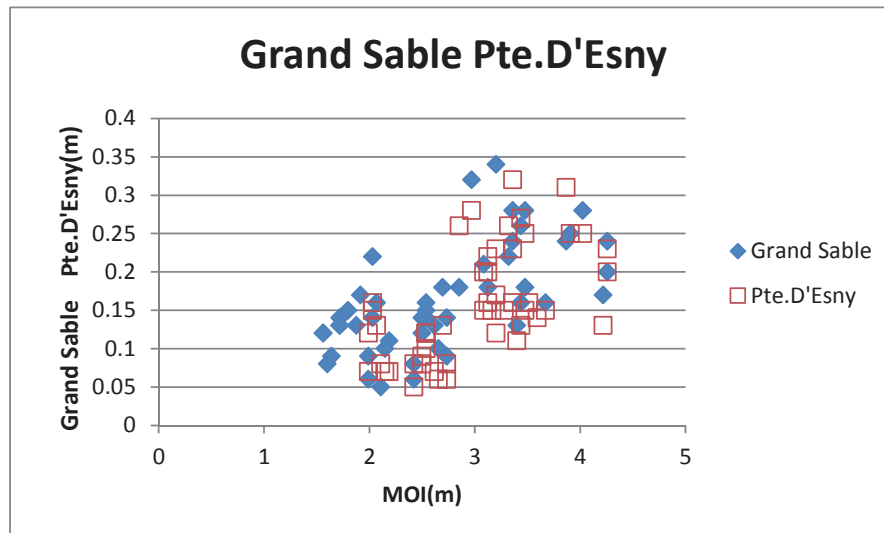
## 2.2.2 リーフ内の設計波

「モ」国においては、海岸に作用する設計波は、海岸の前面に存在するサンゴ礁での波浪の変形を考慮する必要がある。入射波はサンゴ礁上で砕け、摩擦により減衰し海岸に到達する。もし、入射波の減衰が大きい場合には、ラグーン内で発生する風波を考慮する必要がある。一般には、入射波の確率が高い場合には、入射波の影響が卓越する。

サンゴ礁での砕波後の波は、サンゴ礁縁端での潮位により、波高及び周期が減衰する。海底摩擦による減衰は、ラグーンでの水深と縁端から海岸までの距離により変化する。これらの状況を予測することは、観測と現象の解明が現時点では不足していることより困難である。

Pte d'Esny とGrand Sableにおける調査団の観測結果およびBlue BayにおけるMOIの観測結果を図 2.2.2に示すが、沖の入射波が最大波高4mの場合で、ラグーン内の波高は沖の波高の6%であった。この結果は、入射波が高くなった場合には高くなる可能性があるが、リーフ内の設計波の概略の推定に用いることができる。今後、観測値を集積することにより、精度を高めることが求められる。





出典：JICA 調査団

図 2.2.2 沖の入射波とリーフ内波高の関係

設計波の周期に関しては、入射波より減衰すると考えられるが、その程度が明確でない。案として、入射波の周期とリーフ内で発生または存在する波の周期の平均をとる案が考えられる。これに関しては将来、検討が必要である。

### 2.2.3 リーフ内の設計水位

リーフ内の設計水位はいくつかの項目を考慮する必要がある。それらは、天体潮位、高潮、波によるセットアップ、将来の海面上昇である。天体高潮位としては朔望平均満潮位 (MHWS) を採用する。この結果は次のようになる。

- Port Louis で+0.25m (MSL 上)
- 南東海岸で +0.43m (MSL 上)

高潮はサイクロンによる気圧の低下と風により発生する。気圧の低下1hpaが1cmの水海面上昇をもたらす。サイクロンCarol(1960)の際のPort Louisで観測された異常潮位は2ft(60cm)であった。潮位上昇は気圧の低下とほぼ対応している。この気圧低下は「モ」国では観測された50年以上にわたる最低値である。

波によるセットアップは、サンゴ礁縁端での砕波により発生し、地形に影響されるリーフ流れにより低下する。セットアップは波高が高く、外への水路が狭いほど高くなる。Pte d'Esnyでの観測は、入射波高の3%のセットアップとなっている。この結果は、概略のサンゴ礁内のセットアップの推定に活用できる。

将来の海面上昇も考慮する必要がある。現在は3.9mm/yearの上昇速度である。しかし、この値は増加しつつある。現在の傾向が続くとすると、50年間で予想される上昇量は0.2m、100年間では0.4mとなる。

リーフ内の設計水位はこれらの値の和となる。事例として、もし波高10m、確率50年とすると、次のような設計水位となる。

- 設計水位 = 天体潮 + 高潮 + 波によるセットアップ + 海面上昇 = 0.25 + 0.6 + 0.03 \* 10 + 0.2 m = +1.35m (MSL 上) 西海岸

- 設計水位 = 天体潮 + 高潮 + 波によるセットアップ + 海面上昇 =  $0.43 + 0.6 + 0.03 * 10 + 0.2 \text{ m} = +1.53 \text{ m}$  (above MS 上) 南東海岸

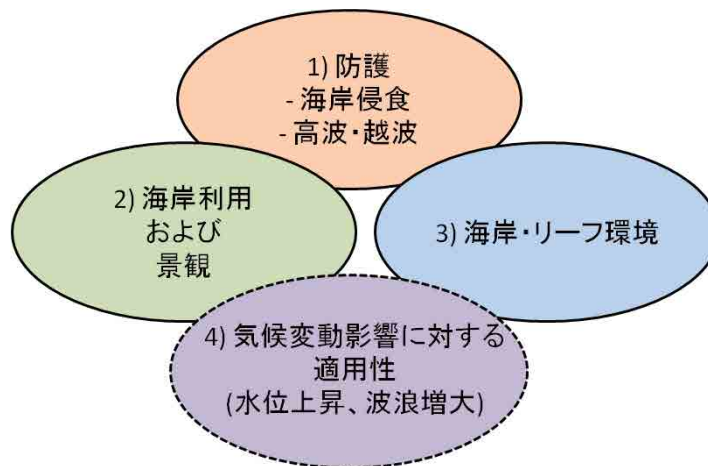
設計条件の決定には多くの不確定性がある。観測と資料の集積が必要である。このため、波浪と潮汐の観測を継続し、その結果に基づいて修正する必要がある。

### 3 海岸保全対策

#### 3.1 はじめに

##### a. 海岸保全対策の方針

- 1) 提案する海岸保全対策は、1)防護機能、2)海岸利用と景観、3)海岸およびリーフ環境、の3つの要素を考慮する必要がある。「モ」国の海岸エリアの大部分はサンゴ礁海岸に囲まれ、その多くは海岸リゾートエリアとして利用されているため、特にこの3つのいずれの要素を考慮することが重要である。
- 2) 更に、今後の気候変動に伴う海岸災害のリスク増大が懸念されていることより、上記の3つの要素に加えて4)今後の気候変動影響に対する適用性、を加えるものとする。
- 3) 「モ」国の海岸保全対策は、「モ」国における規模（他国のような大きな面積や規模を持つ国ではないこと）や材料調達の優位性を活かすとともに、「事業」の実施以上に「持続的な海岸およびサンゴ礁管理」を実施することにより、その適切な保全が図られる。
- 4) 今後、包括的な土砂管理の考えを基本とした有効的な砂利用を図っていくことが、「モ」国での持続的な海岸維持には求められる。



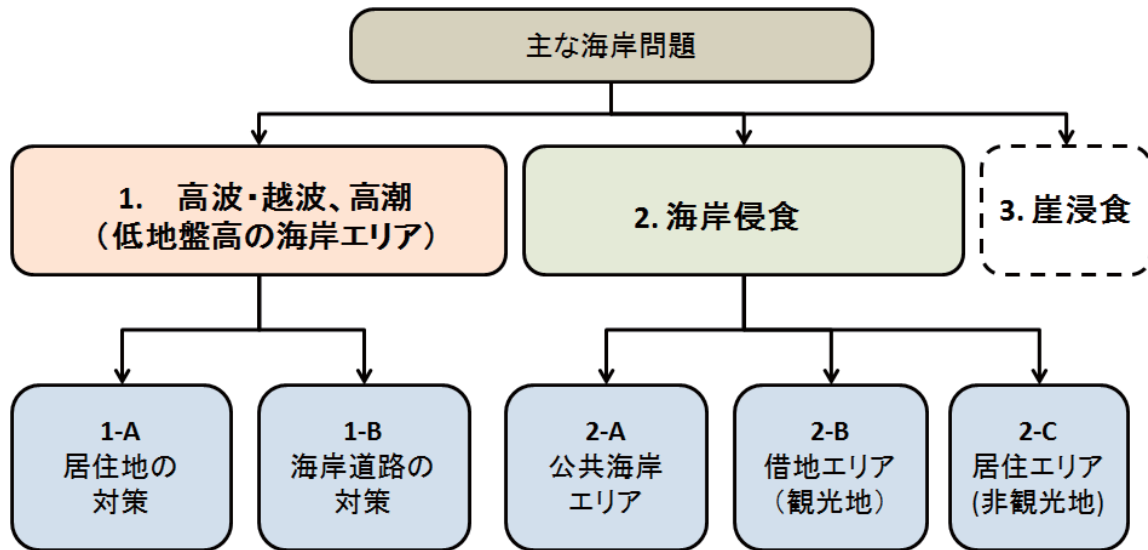
出典：JICA 調査団

図 3.1.1 「モ」国の海岸保全対策における考慮すべき点

## b. 海岸問題の分類分けと提案する海岸保全対策

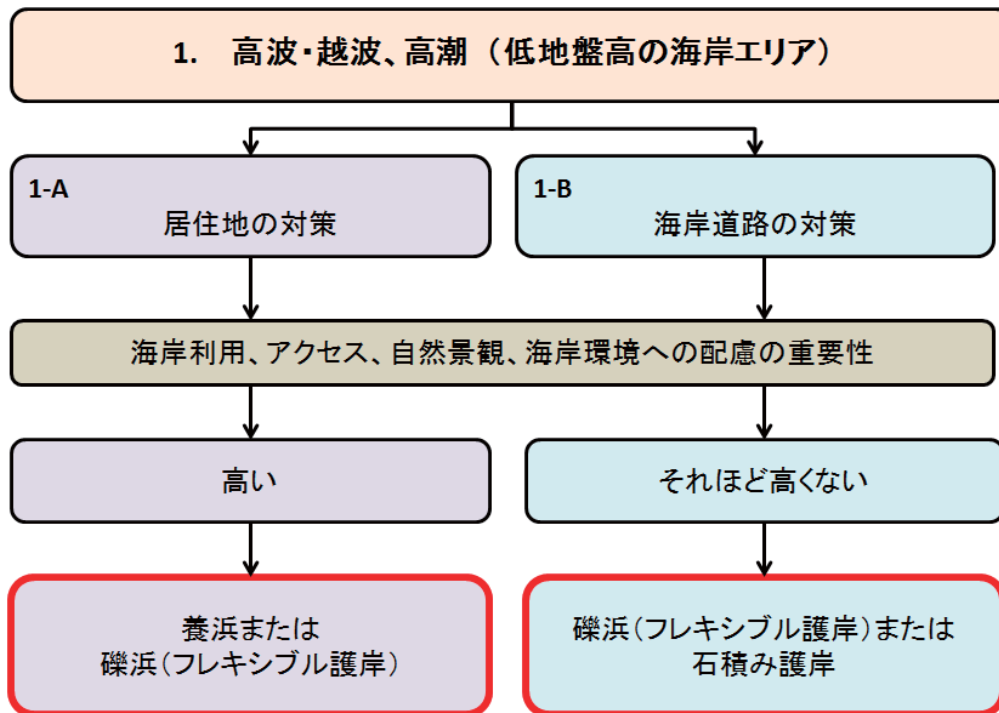
図 3.1.2 は「モ」国における主要な海岸問題とその対象海岸エリアの場合分けを示すものである。海岸問題としては大きく、1)高波・越波、高潮問題、2)海岸侵食問題の2つが挙げられる。よってこの2つの海岸問題に対する対策を考えていく必要がある。

提案する海岸保全対策は、背後地の利用状況を考慮する必要がある。各対象海岸エリアにおける基本的海岸保全対策の考えを図 3.1.3および図 3.1.4に示す。



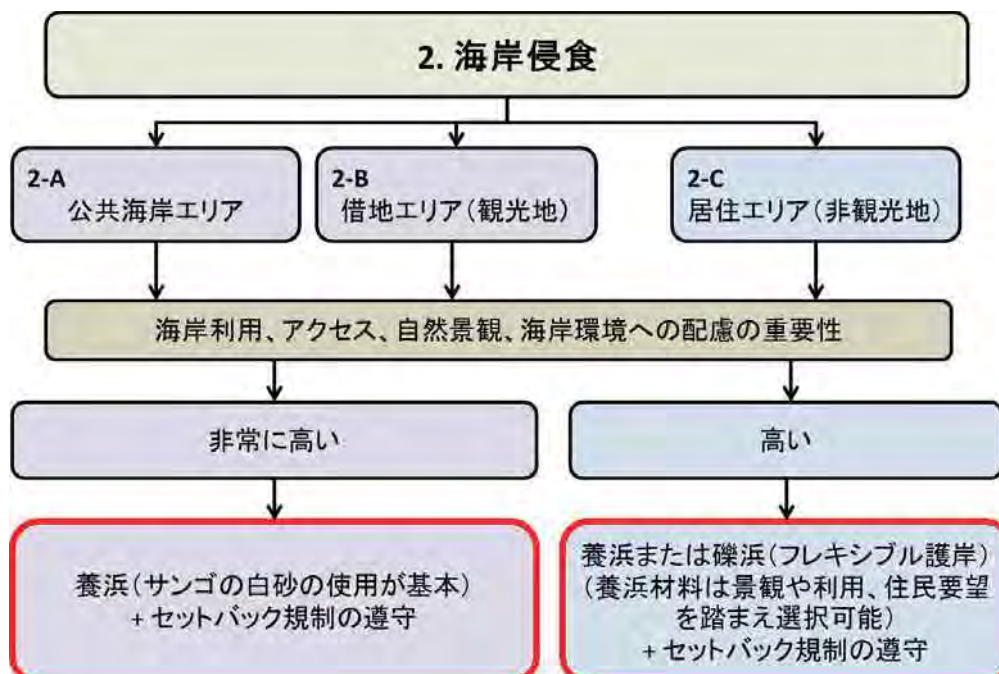
出典：JICA 調査団

図 3.1.2 海岸問題の分類とその対象海岸エリア



出典：JICA 調査団

図 3.1.3 高波・越波、高潮問題に対する海岸保全対策の基本的考え方



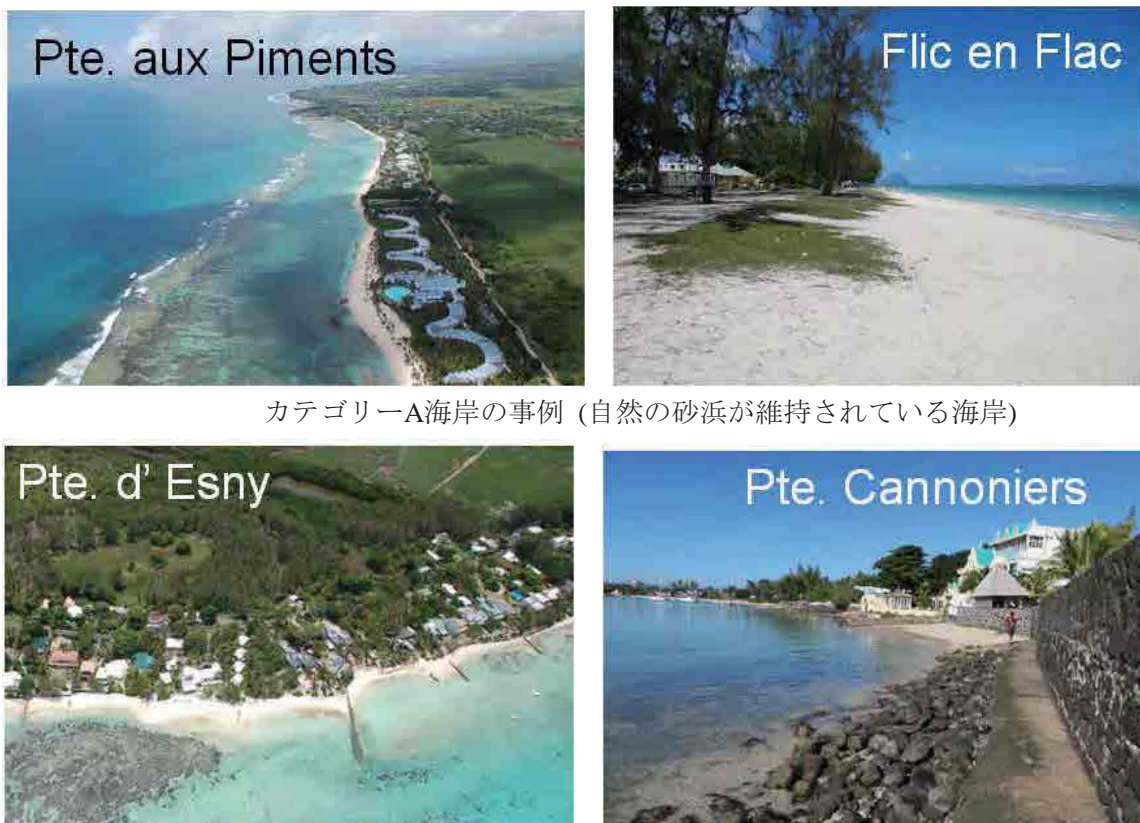
出典：JICA 調査団

図 3.1.4 海岸侵食問題に対する海岸保全対策の基本的考え方

## 3.2 養浜

### 3.2.1 養浜適用海岸の分類分けと養浜方法の基本的考え

- 1) 図 3.2.1に示すように、海岸構造物がなく、自然の砂浜が維持されている海岸（カテゴリーAとする）についての基本対策方針としては、“適切な海岸管理（海岸整形含む）の元での養浜（礫浜含む）”が、環境に優しい工法として適用するものとする。このような自然の砂浜が維持されている海岸において、構造物対策は可能な限り適用しないものとする。
- 2) たとえ、海岸に既に突堤や護岸等の海岸構造物が存在する海岸（カテゴリーBとする）においても、基本的には同様の“適切な海岸管理（海岸整形含む）の元での養浜（礫浜含む）”を適用するものとする。しかしながら、連続する漂砂セル内での漂砂移動を考慮し、既存構造物の再評価を行い、必要に応じて既存構造物の再検討（部分的な構造物の改良や撤去含む）を検討する。
- 3) “構造物のみの対策”は、「モ」国の海岸利用と砂浜を保持しているという利点、また構造物対策の多くの問題例、等を考慮すると、砂浜海岸での海岸保全対策として推奨できない。ただし海岸対策の目的が、防護のみに限られ、利用や環境配慮への必要性が低い場合は除く。



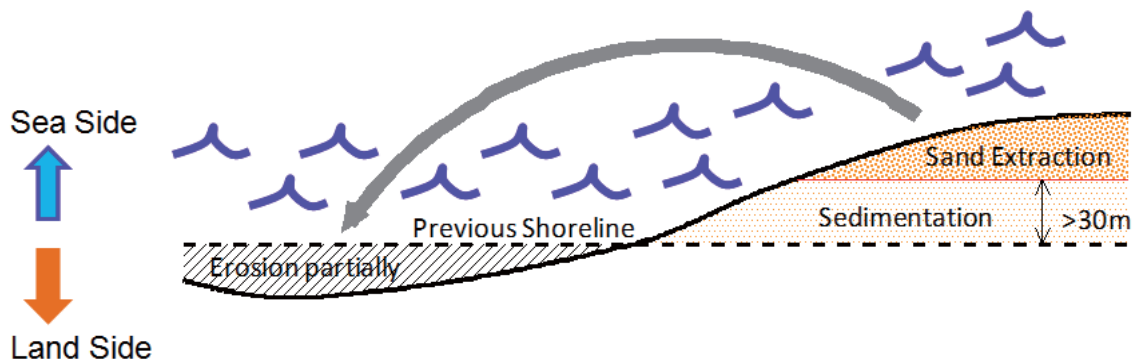
カテゴリーA海岸の事例（自然の砂浜が維持されている海岸）

カテゴリーB海岸の事例（砂浜が消失（減少）し、前浜には多くの海岸構造物が存在）

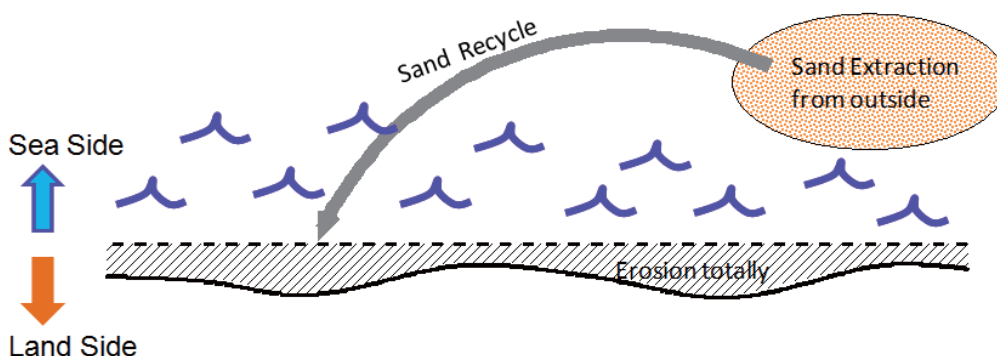
出典：JICA 調査団

図 3.2.1 自然砂浜海岸(カテゴリーA)と構造物海岸(カテゴリーB)

- 4) 海岸全体の土砂収支がバランスしているか増加している海岸(カテゴリーI,II とする、図 3.2.2参照)においては、維持管理に必要な養浜砂は、同一海岸内で管理、調達する(例えばサンドリサイクル等)ことを基本とする。ただし 30m セットバックルールに基づき、十分なバッファゾーンが存在する場合に限る。一方、海岸全体の土砂収支が減少している海岸(カテゴリーIII とする)においては、維持管理用の砂は対象海岸以外から調達する必要がある。この場合、「モ」国全体の土砂管理に基づき、経済性、施工性、環境影響面に十分配慮した適切な砂の調達先とする必要がある。
- 5) 「モ」国の砂浜の砂供給源の大半は、サンゴおよびサンゴ礁から生成されているものである。これより長期的な砂浜維持、安定化を図る上で、サンゴおよびサンゴ礁の保全・復元を図っていく必要がある。
- 6) 養浜は侵食された海岸を復元するものであり、新たに海浜を造成(埋立て)するものではない。海岸の形状は、地形や波浪条件などの特性で決まっており、埋め立てても元の形状の戻る特性を有する。したがって、埋立ては海岸保全として避けるべきである。



“カテゴリー I,II” (全体の土砂収支はプラスかバランス、生じている海岸侵食は局所的なもの)



“カテゴリー III” (全体の土砂収支がマイナスで海岸全体として侵食傾向)

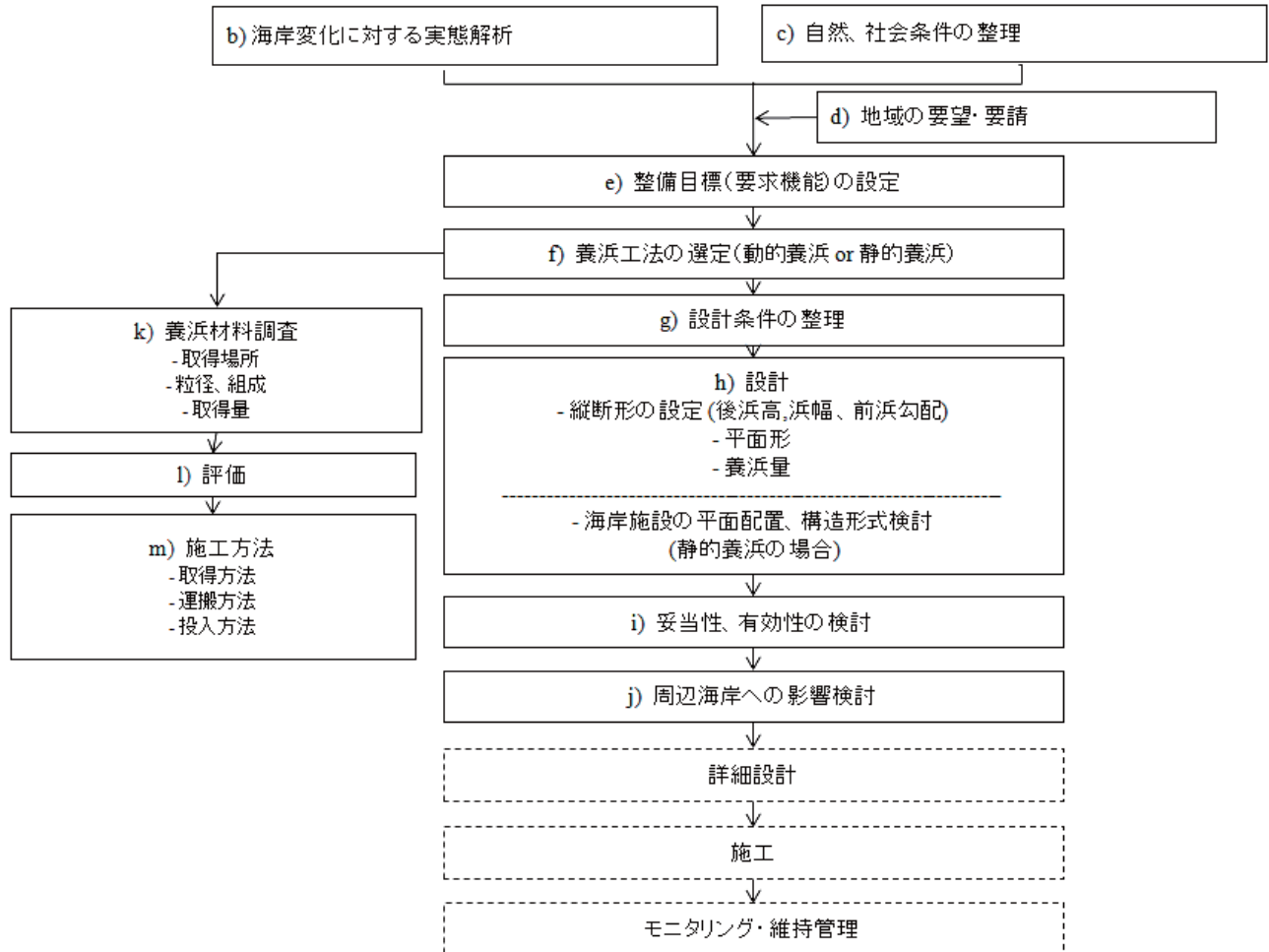
出典：JICA 調査団

図 3.2.2 土砂収支の観点からの場合分けと基本的な対策方針

### 3.2.2 計画・設計

#### a. 養浜計画・設計のフロー

養浜の計画・設計手順を図 3.2.3に示す。



出典：養浜マニュアル ((財)土木研究センター (2005) を元に調査団で一部変更)

図 3.2.3 養浜の計画・設計手順フロー図

#### b. 海岸変化に対する実態解析

短期的・長期的両面での海岸変化過程を知ることが、養浜の計画・設計を行う上での最初の重要な検討である。これら検討が不十分な場合、誤った計画・設計となる可能性がある。

実態解析としては、次に示す検討事項を明らかにする必要がある。

- 長期および短期海岸変化状況 (汀線変化、縦断地形変化、背後地の変化、海岸環境変化、海岸・リーフ利用、背後利用状況、等)
- 砂の供給源および漂砂特性



➤ 侵食要因

代表的な検討方法を以下に示す。

- 現地踏査（海岸地形・海岸勾配・砂の特性・海岸の構造物応答状況の確認、写真撮影、簡易測量、インタビュー調査、海岸・リーフ利用および背後地利用状況調査、等）
- 空中写真、衛星画像を用いた画像解析
- 過去のモニタリングデータ等の解析（測量データ、過去の海岸写真等）
- 波・流れ観測、海岸測量等（必要に応じて）
- リーフ環境調査（水質調査、サンゴおよび海藻生息調査、等）（必要に応じて）

**c. 自然、社会条件の整理**

海岸保全対策を提案する上で、自然・社会条件を考慮することは言うまでもない。また図 3.1.2～図 3.1.4に示したように、海岸背後地の土地利用状況や特性を把握することが重要である。

**d. 地域の要望・要請**

事業対象海岸域に住む住民および関係者（ホテル等）が、その影響や恩恵を最も受ける利害関係者となる。彼らは提案する海岸事業に対してそれぞれの要望があり、これらを計画・設計にも考慮する必要がある。しかしながら時として、このような個別の要求は、全体の海岸保全計画とは一致しないこともある。これより、住民合意形成を踏まえた計画作りが求められる。

また、海岸域には長年そこに住みついている住民や関係者も多く、その経験に基づく多くの知見を有している場合が多い。これらの地域住民等の知見は、これまで生じてきた海岸過程を知る上で有用な情報原の1つである。

**e. 整備目標（要求機能）の設定**

図 3.1.1に示した1)防護機能、2)海岸利用・景観、3)海岸およびリーフ環境、および4)将来の気候変動リスクに対する適用性、の4つの基本的な視点に対する具体的な要求機能を明らかにする必要がある。

**f. 養浜工法の設定（動的養浜 or 静的養浜）**

養浜工は主に、“静的養浜工法”および“動的養浜工法”の2つの工法に分けられる。

“静的養浜工法”は、養浜後の砂の流出を低減させるために、人為的に漂砂の静的安定化を図るものであり、図 3.2.4に示すように、通常は養浜とともに、突堤やヘッドランド、離岸堤等の海岸施設の構築を伴う。

一方“動的養浜工法”は、自然の動的な砂移動を許容しながらの安定化を図る工法であり、海岸構造物を伴わない、砂の投入のみの工法である（図 3.2.5）。堆積域から侵食域へのサンドリサイクルやサンドバイパスはこの工法に含まれる。

どちらの工法が適するかは、前述の検討b)～d)の検討結果により判断される。



出典：日本工営(株)

図 3.2.4 静的安定化工法 (例:インドネシアバリ海岸保全事業)



出典：日本工営(株)

図 3.2.5 動的安定化工法 (例:インドネシアバリ海岸保全事業)

### g. 設計条件の整理

通常の海岸、港湾施設（例えば防波堤、護岸、港湾施設）等の設計においては、設定する耐用期間に対する厳格な設計条件を設定する必要があり、通常各種算定式や予測手法等の数理的なアプローチ手法が用いられる。一方養浜の場合、同様のアプローチも勿論必要とはなるが、それ以上に現地踏査や現地データに基づく物理的アプローチがより重要となる。現在の海岸状況は、その海岸独自の地形や漂砂機構を持つ中で、過去の波や流れ、水位変化の作用を受けた結果として成立しているものである。これより、これら物理的アプローチなしでの数値計算等の数理的アプローチのみの検討は無意味であり、養浜の計画・設計上、時として大きな誤りを生じる可能性がある。

設計条件としては、基本的には以下に示す条件を設定する必要がある。

#### 1) 入射波条件

沿岸漂砂特性を把握する上で、特に季節的およびネットの波向の情報が重要である。

## 2) 風

特に広いリーフ幅をもつようなサンゴ礁海岸の場合、リーフ上の入射波特性は、リーフ沖側からの伝播波とともにラグーン上で生成される風波の影響も大きくなるのでこれを考慮する必要がある。

## 3) 水位 (潮位変化, 波による水位上昇, 高潮)

リーフ上の水深は浅いため、海岸への入射波は、リーフ上の水位変化でほぼ規定される。リーフ上の水位変化は、潮位変化とともに、特にサイクロン襲来時には波による水位上昇や高潮によるものである。

## 4) 養浜砂の粒径

用いる養浜砂の粒径は、養浜勾配や養浜後浜高、養浜幅を決める上で大きく影響する。

## 5) リーフ及び海岸地形

入射波条件の設定や、施設の数量検討、仕様設定に必要となる。

### h. 養浜設計

以下に示す検討が、養浜設計に必要となる。

#### 1) 断面形状

##### 後浜高

後浜高は、基本的には既存の海岸の後浜高と同じに設定する。ただし、各種算定法を用いた波の打ち上げ高の計算等により、与えられた設計条件に対して要求機能を満たすかどうかをチェックする必要がある。

##### 後浜幅

後浜幅は、既存の状態と要求する浜幅の両面を考慮して設定する。既存の、あるいは過去の浜幅に比べて極端に広い浜幅を設定することは、海浜の不安定化を招き、養浜後の顕著な砂流出を生じる可能性がある。

##### 前浜勾配

前浜勾配についても基本的には現地の浜勾配に合わせることが基本とする。前浜勾配は砂の粒径と大きく関係するため、適切な粒径をもつ砂を用いることが重要である。既存する砂よりも細かい砂を用いることは避けるべきである。

#### 2) 養浜平面形状

養浜平面形状を設定する場合、安定する海岸法線を設定することが、養浜後の変形や流出を抑える上で求められる。安定な海岸法線は、その海岸に入射する波の入射角と海岸角度をチェックすることで推定されるが、必要に応じて数値計算等を用いた推定も合わせて行うことが望ましい。



出典：日本工営(株)

図 3.2.6 環境・景観に調和した突堤の事例(インドネシアバリ島海岸保全事業)

### 3) 養浜量

#### 初期養浜量

初期養浜量は、既存の海岸断面形と計画する断面形との差分より求められる。ただし、実際の砂の投入量と取得量との間に、適切な割増率を設定する必要がある。

#### 維持管理用の砂

初期養浜後の定期的な海浜の維持管理に必要な追加養浜においては、a)定期的な投入量、b)投入頻度、c)投入場所、を設定する必要がある。これらの具体的設定法の例としては、Volume2の各海岸の海岸保全計画の中のPoint aux Sables、Ile aux Cerfs、Point d E'snyに示す。

### 4) 海岸構造物の平面配置および構造設計（静的養浜の場合）

養浜工法として、”静的安定化工法”を適用する場合、突堤やヘッドランド、離岸堤といった海岸施設に対する平面配置計画およびその構造設計が必要となる。具体的な設計指針については“Shore Protection Manual (1984)”, “CEM (Coastal Engineering Manual, 2008), Rock Manual (2007)などが利用できる。

静的安定化工法に対する海岸施設の計画・設計の際に重要なポイントを下記に示す。

- 提案する海岸構造物は、機能面だけでなく、海岸利用や景観、海岸環境に十分配慮する必要がある。
- 自然の景観や環境を維持するために、提案する構造物は求める機能を満たす範囲で、可能な限り基数や各諸元の低減を図ることが望ましい。

**i. 妥当性・有効性の検討**

実際の施設の妥当性・有効性は、実施後のモニタリング結果を元に評価される。計画・設計段階における妥当性・有効性の評価については、通常数値予測手法等の数理的アプローチによって行われる。

**j. 周辺海浜への影響検討**

周辺海浜への実際の施設の妥当性・有効性は、実施後のモニタリング結果を元に評価される。計画・設計段階での評価方法としては、通常数値予測手法等の数理的アプローチが用いられる。周辺海浜への影響を予測する数値モデルとして、2つの代表的なモデルがある。1つは“汀線変化予測モデル”、もう1つは“平面波、流れ、地形変化モデル”である。重要な点として、現時点での最先端の数値モデルを用いたとしても、過去の地形測量モニタリングデータや長期汀線変化を把握する空中写真等を用いた画像解析、等の実際の過去の海岸変化のデータなしでの予測検討で、実際の現象を予測することは困難であり、これらのデータを用いた検証が重要となる。更にこのような過去の現地データによる検証を行った上での予測結果であったとしても、今後の海浜変形はその予測結果と異なることも多い。これにより、対策実施後のモニタリング結果を踏まえた評価を行ってということが重要である。

**k. 養浜材料調査**

**l. 評価**

**m. 施工方法**

養浜砂取得に関わるこれらの検討手順等については、後述の3.2.3節および3.2.4節に示す。

### 3.2.3 養浜砂の調達場所の可能性

上記の通り、対象海岸での主な対策としては、養浜、サンドリサイクル、セットバックなどのソフト的な対策と突堤の再配置、導流堤、護岸の緩傾斜堤への改修などのハード的な対策に大別できる。しかし、対象海岸の殆どでは、養浜やサンドリサイクルのようなソフト的な対策であり、砂の継続的な確保や堆積している砂を侵食エリアに適切に移動することが非常に重要になる。これらソフト的な対策を講じる場合、長期的に海岸を維持するためには、維持養浜に必要な砂の安定的な確保に加え、順応的管理の観点から定期かつ継続的なモニタリングおよび維持管理が重要となる。

養浜材料の調達については、対象海岸に砂の堆積域が確認される場合は堆積した砂を侵食域に投入するサンドバイパスやサンドリサイクルによる養浜、堆積域が存在せず砂浜を回復するためには、砂を陸上または海域から採取する外部調達（採石場および海底）による養浜が挙げられる。既存資料や現地踏査に基づき、対象海岸におけるサンドバイパス、サンドリサイクルによる養浜および外部調達による養浜の可能性を以下に示す。

#### a. 隣海岸からの流用（サンドバイパス、サンドリサイクル）

長期間海岸を維持するために、一連の漂砂系全体を対象とする保全手法として動的養浜があげられる。対象海岸において動的養浜の適応性として、①構造物によって沿岸漂砂の連続性が阻止された海岸において、沿岸漂砂の連続性を人工的に確保するためのサンドバイパス、②漂砂系内の下手側に流出した土砂を改修し、上手側の海岸にリサイクルするサンドリサイクルが挙げられる。対象海岸において動的養浜の適用が可能な海岸として、以下の9海岸を挙げる。

表 3.2.1 サンドバイパスおよびサンドリサイクルの適用可能な海岸

No.	対象海岸	海岸維持管理計画の概要	堆積域の写真
1	T. d'Eau Douce	<p><b>サンドリサイクル</b>                      当海岸の下手側に砂嘴が発達し、その湾奥に大量の砂が堆積している。上手側で侵食傾向にあることから、この堆積している砂を利用することも考えられる。</p> <p>また、北部のポケットビーチの下手側（最北部）では堆積傾向にあり、この砂を上手側の侵食域に補充することは有効な対策である。                      年間堆積量：869m<sup>3</sup>/年</p>	 <p>湾奥の堆積域</p>  <p>北部の堆積域</p>

No.	対象海岸	海岸維持管理計画の概要	堆積域の写真
2	Ile aux Cerfs	<p><b>サンドリサイクル</b>            二島間に砂が堆積し、この水路を確保するために浚渫が行われている。当海岸の上手側では侵食傾向にあるため、浚渫土砂を侵食域に補充することは有効な対策である。  <u>年間堆積量: 1,506m<sup>3</sup>/年</u></p>	
3	Pte. d'Esny	<p><b>サンドリサイクル</b>            当海岸の下手側には突堤が存在し、そこに大量の砂が堆積している。上手側は侵食域で直立護岸などにより侵食対策が講じられていることから、堆積土砂を侵食域へ補充することは有効な対策となる。ただし、砂採取に関しては背後の借地人との調整、さらには工事の費用負担などを十分に協議する必要がある。  <u>年間堆積量: 982m<sup>3</sup>/年</u></p>	
4	Bel Ombre	<p><b>サンドリサイクル</b>            当海岸の東側には砂の堆積域があり、西側の侵食域(大型リゾートホテルの前面)に砂を補充することにより、長期間砂浜を良好な状態に保つことが可能となる。  <u>年間堆積量: 559m<sup>3</sup>/年</u></p>	
5	Le Morne	<p><b>サンドバイパス</b>            当海岸の北部の水路には導流堤が設置され、その上手側に大量の砂が堆積している。一方でその下手側は侵食傾向にあり、一方向の沿岸漂砂の連続性が阻止されている。定期的に堆積土砂を下手側に補充することにより海岸の維持が可能となる。  <u>年間堆積量: 358m<sup>3</sup>/年</u></p>	
6	Flic en Flac	<p><b>サンドリサイクル</b>            当海岸の最北端には大量の砂が堆積している。当海岸の上手側の公共海浜公園では侵食傾向にあり、浜崖が形成している。定期的に堆積した砂を下手側に補充することにより海岸の維持が可能となる。既に、2014年6月よりサンドリサイクルが行われている。  <u>年間堆積量: 593m<sup>3</sup>/年</u></p>	
7	Pte. aux Sables	<p><b>サンドリサイクル</b>            当海岸の北側の下手側で砂の堆積域が存在する。その上手側では侵食傾向にあり、堆積した土砂を上手側の侵食域に補充することにより、海岸の維持が可能となる。  <u>年間堆積量: 636m<sup>3</sup>/年</u></p>	

No.	対象海岸	海岸維持管理計画の概要	堆積域の写真
8	Bras d'Eau	<p><b>サンドリサイクル</b>                      当海岸の西側の下手側で砂の堆積域が存在する。その上手側では侵食傾向にあり、公共のトレイ前面で浜崖が形成されている。堆積した土砂を上手側の侵食域に補充することにより、海岸の維持が可能となる。                      年間堆積量: 128m<sup>3</sup>/年</p>	
9	Baie du Tombeau	<p><b>サンドリサイクル</b>                      当海岸の南側の下手側で砂の堆積域が存在する。その上手側では侵食傾向にあり、堆積した土砂を上手側の侵食域に補充することにより、海岸の維持が可能となる。また、当海岸の沖合に砂の堆積域が存在する。この砂の一部も養浜材料として使用できる可能性がある。                      年間堆積量: 178m<sup>3</sup>/年</p>	

出典：JICA 調査団

対象海岸での堆積域および侵食域への土砂の補充のイメージをサンプルとして図3.2.7に示す。



出典：JICA 調査団

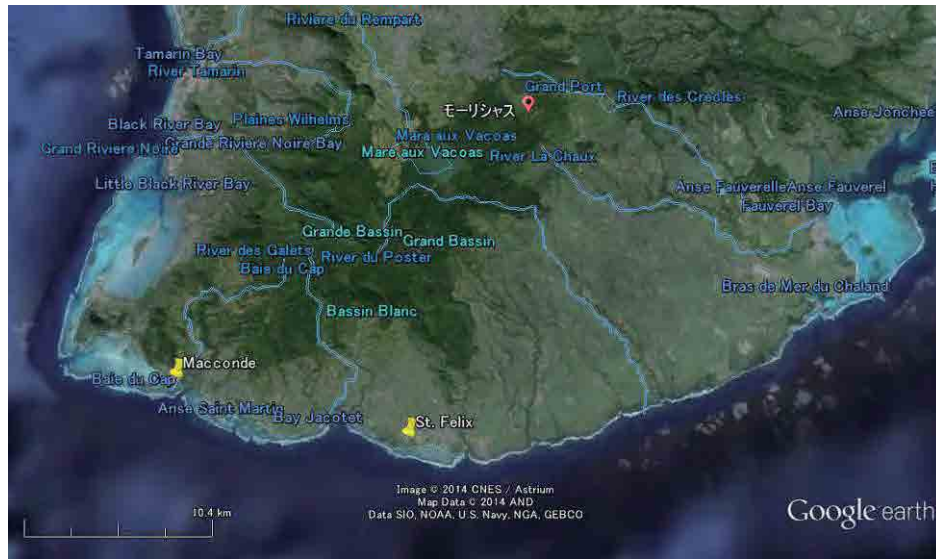
図 3.2.7 Baie du Tombeau におけるサンドリサイクルのイメージ

#### b. 採石場からの調達

対象海岸において砂の堆積域が存在しない、または堆積箇所が確認されているが砂採取に関する規制や地域住民の合意が得られない場合、養浜材料を外部から調達しなければならない。現在、外部調達の可能性としては、①陸上の砂採取場または②ラグーン外で環境に影響を及ぼさない海域からの採取に限定される。①の陸上からの採取については、モ国南部のSt. FelixおよびMaccondeの2箇所に限られる。ラグーン外での砂採取につ



いては、現在MOIがそのポテンシャルを調査している。以下に、陸上の採石場の状況を示す。



出典：JICA 調査団

図 3.2.8 モ国における陸上部の砂の調達先

表 3.2.2 陸上の砂採取場の概況

項目	St. Felix	Macconde
日採取可能量	290トン (約160m <sup>3</sup> )	200トン (約110m <sup>3</sup> )
年間採取可能量	72,250トン (約40,000m <sup>3</sup> )	割合：礫:22%、砂:30%、石灰:48% 52,500トン (約29,000m <sup>3</sup> )
最大採取量	820,000トン (約450,000m <sup>3</sup> )	157,000トン (87,000m <sup>3</sup> )
採取可能期間	Year 2025	Year 2017 (現在30年間の延長手続き中)
粒径	0.6-5mm	4-10mmおよび~2mm
単価	MUR 1,000/ton MUR 1,500/ton (運搬費込み、Exc.)	~2mm: MUR 790/ton (Inc. Tax Rp. 908.5) 4-10mm: MUR 1,300/ton (Inc. Tax Rp. 1,495)
サイト状況写真		

出典：JICA 調査団

2箇所の陸上部の砂採取場の年間の採取可能容量は、St.FelixおよびMaccondeでは、それぞれ40,000m<sup>3</sup>および29,000m<sup>3</sup>である。しかし、Maccondeの材料は、砂の割合が30%程度であるため、養浜砂として使用できるのは年間9,000m<sup>3</sup>程度である。また、採取可能な砂は限られており、将来の継続的な維持養浜を考えると、不足することが懸念される。また、

陸上部の砂にはシルト分も多く含んでいることから、養浜後の汚濁の影響も考慮する必要がある。特にサンゴ礁海岸ではシルト分がリーフ上に留まり、水質を悪化する可能性があるため、十分に留意する必要がある。

### c. 海底からの採取

現在、MOIにより将来の砂の調達を計画するために、Flic en Flac、Trou aux BichesおよびMon Choisyの3海岸のラグーン外の沖合で砂の調査が行われている。これは、陸上での砂の調達には将来的に十分な量を確保することが困難であり、中長期的に砂浜を維持するために、十分な量と良質な砂の調達を目的に実施されている。砂調査の目的は、以下3点が挙げられている。現時点でのラグーン外での砂調査の概況は、表 3.2.3の通りである。

- モーリシャス周辺海域での堆積域における砂の採取可能量、組成などの質の特定
- 砂採取の際の周辺環境への影響およびその軽減策の検討
- 砂の堆積域における採取方法（施工方法）、施工費、環境影響評価の検討

表 3.2.3 MOIが実施するラグーンの外での砂の調査概況

調査箇所	推定採取可能量	砂の質	水深
Flic en Flac			
● Pearle Beach前面	2,760 m <sup>3</sup>	粗粒・細砂の混合	3m
● La Piogue前面	12,240 m <sup>3</sup>	細砂	14-17.5m
● Sofitel前面	5,000 m <sup>3</sup>	粗粒・細砂の混合	
Trou aux Biches			
● 公共海浜海岸前面	1,164m <sup>3</sup>	粗粒・細砂の混合	11-13m
● Trou aux Biches Hotel前面	5,320m <sup>3</sup>	粗粒・細砂の混合	9-11m
Mon Choisy	8,770m <sup>3</sup>	粗粒・細砂の混合	10m
合計	35,254m <sup>3</sup>	-	-

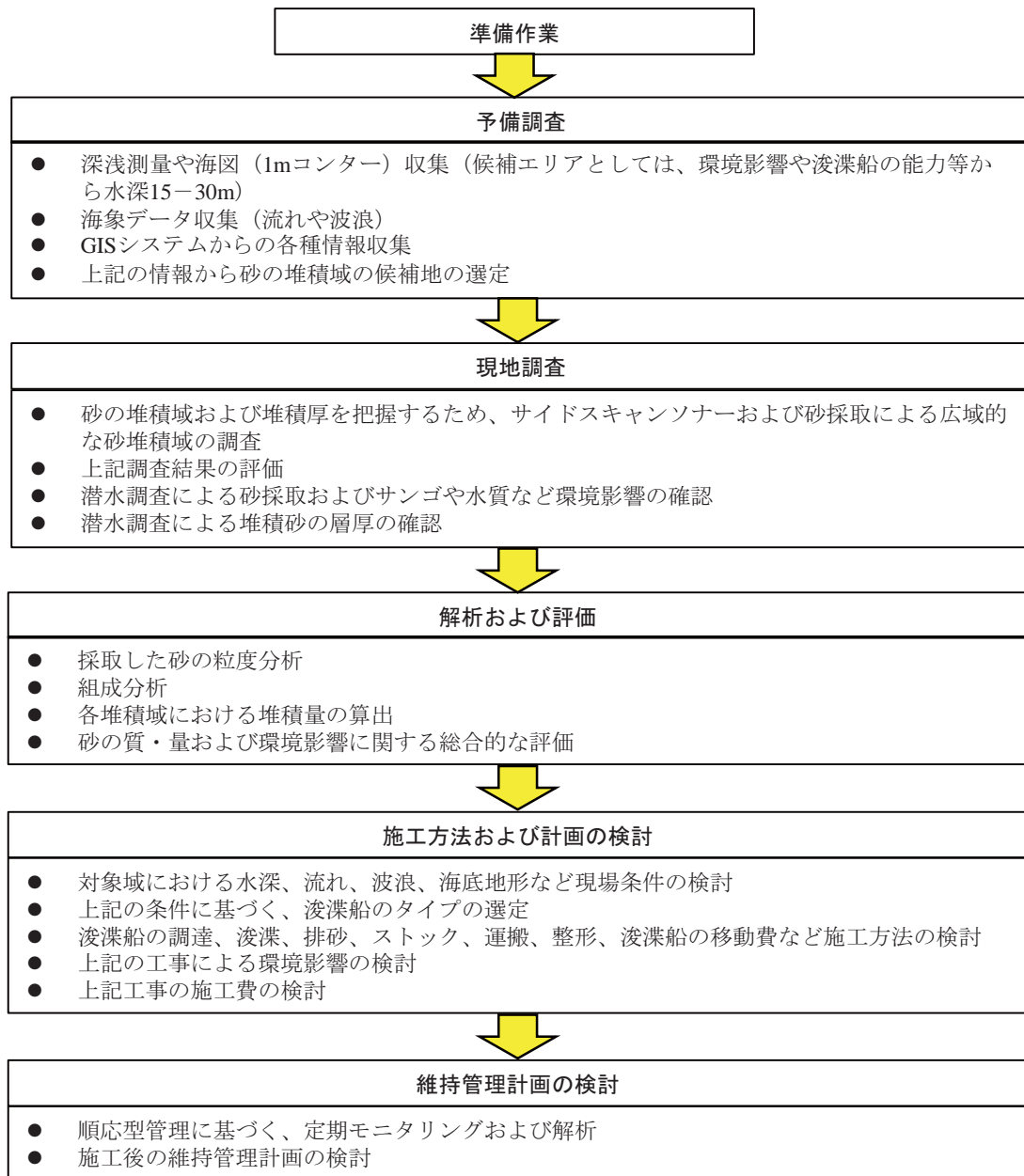
出典：JICA 調査団

現時点で、海域での砂の調査結果を見ると、採取可能な量が35,000m<sup>3</sup>程度に留まること、砂の質に関する詳細な情報（粒径、組成等）が明確でないこと、水深が3m～17.5mと幅があり、15m以浅はサンゴや砂の移動限界に影響することなど様々な課題が挙げられる。よって、将来的に安定的に良質な砂を確保するためには、より広域かつ詳細な調査を実施することが必要であると考えられる。

今後必要と考えられる海域での砂調査の内容と流れをに提案する。この調査は、①準備作業、②予備調査、③現地調査、④解析および評価、⑤施工方法および計画の検討、⑥維持管理計画の検討から構成される。また、環境面を考慮して、水深15m以深の外洋で砂を採取するには、モ国で有する浚渫船では能力の限界があり施工が困難であるため、浚渫船は第三国からの調達になることが予想される。そのため、浚渫船の回航費は砂の単価に占める割合が大きいこと、中長期的な砂の維持管理を考慮して、1回の工事でできるだけ多くの砂を採取し、陸上部にストックすることが望ましいと考える。ストックする箇所としては、海岸に近い空きスペースまたは既存土取場(St. FelixまたはMacconde)の採掘エリアが挙げられる。ただし、浚渫船から排砂と同時に発生する排水処理を十分に考慮し、サンゴなどの環境に影響を与えない計画作りに留意する。

なお、ラグーン外での砂の採取として可能性のあるエリアとしては、水深が15m～30mの範囲でリーフギャップ（切れ目）が発達している箇所または広範なリーフ間に存在する深みが挙げられる。ただし、後者については、リーフと隣接するため、採取方法と採

取機材の選定、十分な環境調査と取得に関する新たなルールを定める必要がある。上記の条件より、MOIの調査位置も含む海域での可能性あるエリアを表 3.2.4、その内の代表的なエリアを図 3.2.10 (サンプルとして) に示す。



出典：JICA 調査団

図 3.2.9 ラグーン外での砂調達に関する調査・検討フロー(案)

表 3.2.4 砂堆積の可能性にあるエリアの一覧(参考資料)

場所	可能性のあるエリア
Mon Choisy / Pte. aux Cannoniers	●リーフギャップ内 (Mon Choisy) ●湾内 (Pte. aux Cannoniers)
Grand Gaube	●リーフギャップ内
Trou d' Eau Douce	●リーフギャップ内
Bambous Virieux	●ラグーン上およびチャネル内の深部 ●リーフギャップ内 図3.2.10参照
Pte. d'Esny	●ラグーン上
Baie du Cap & Anse Saint Martin	●リーフギャップ内
Le Morne	●リーフギャップ内



出典：JICA 調査団

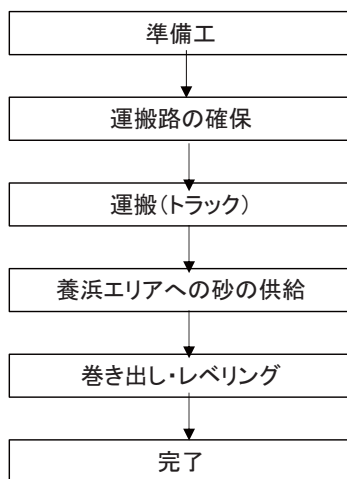
図 3.2.10 砂の堆積の可能性を有するエリア: Grand Sables & Pte. d'Esny

### 3.2.4 施工段階

#### a. 陸上部での砂の採取と運搬

サンドバイパスやサンドリサイクルなど、連続した海岸の中で堆積した砂を侵食域に供給する場合、運搬路の確保、土砂運搬、養浜エリアへの砂の供給、巻き出し・レベリングの順序で実施される。対象海岸の多くはリゾートエリアに位置することから、運搬路の選定や作業の時間帯、利用者に対する安全確保など十分に留意する必要がある。また、砂を採取する前に、堆積域の背後の借地人と官民境界を確認した上で、採取範囲やボリュームなどについて十分に説明し、合意を得ることが重要である。

砂の巻きだし・レベリングはバックホウによる横持ち小運搬を行い、ブルドーザで所定の地盤高に均す。水中部のレベリングは施工が困難であり、施工精度に余裕を持たせて施工し、その後は波や流れなどの自然力にまかせる。



出典：JICA 調査団

図 3.2.11 陸上部での養浜の施工フロー

### b. 海底からの砂の調達と運搬

外部調達による養浜は、海岸構造物の工事が完了した後に、養浜砂の海底からの取得、運搬、巻き出し・整形の順序で実施される。海底からの砂の取得の際、環境対策問題に配慮する事が必要となるため、水の濁りや既存のサンゴに与える影響を最小とする事を考慮し、浚渫工法について表 3.2.5に示す3案の工法を比較検討した。

ラグーン外の海域から養浜砂取得に使用することが可能な現実的な方法については、グラブ浚渫船及びトレーラーサクシオンホッパー浚渫船 (TSHD) の2つのタイプの浚渫船での施工が考えられる。一般的にTSHDに比べてグラブ浚渫船の場合は、施工能力の関係から工事期間が長くなるが、海水の濁度に与える影響を少なくすることが可能である。

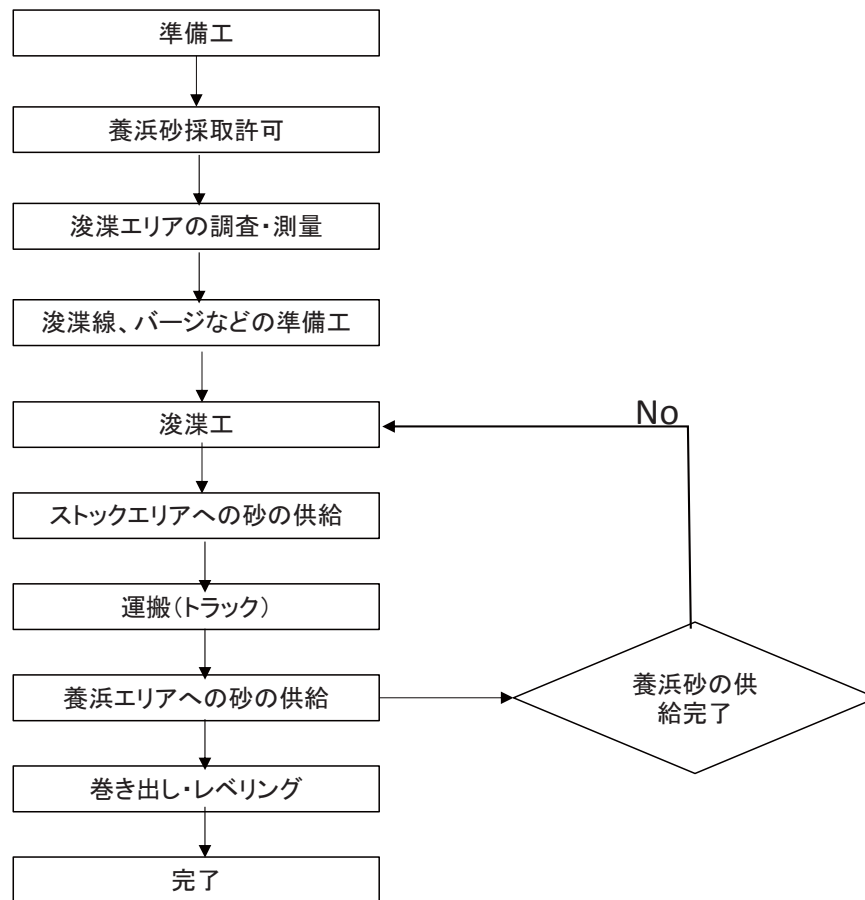
さらに、濁度およびサンゴへの影響を最小限とすることを目的に、環境配慮を目的とした特殊グラブタイプを使用する事が有効である。このグラブは日本国内のみからの調達が想定される。しかし、適用に当たっては、詳細設計時に濁度の影響分析等を実施の上検討が必要である。

表 3.2.5 海底砂取得工法に関する工法比較

項目	浚渫タイプ	タイプ-A	タイプ-B	タイプ-C
		グラブバケット+バージ	スーパーグラブバケット+バージ	トレーラーサクシオン浚渫線
施工方法				
条件				
水深	~25 m	○	○	○
浚渫能力		SD 5m3	SD 5m3	SD 6000PS
浚渫深さ	0.8 ~ 1.0 m	○	○	○
土質	砂	○	○	○
環境への影響	サンゴ	○	○	×
余水	少量→良好○	△	○	×
濁り	Light→Good○	×	○	△
能力	m3/時	120	82.8	2,000
コスト	相対費	1.0	1.1	7.2
施工期間	相対期間	10.0	14.0	1.0
備考: ○: 良好, △: 若干劣る, × 劣る				

出典：JICA 調査団

養浜工の施工手順のフローは、図 3.2.12に示すとおりである。



出典：JICA 調査団

図 3.2.12 外部調達による養浜の施工フロー

### 3.2.5 施工後

#### a. 養浜後の定期的なモニタリング

養浜後の定期的なモニタリングは、基本的には次項の海浜地形モニタリングガイドラインに示す定点での海岸縦断測量および写真撮影とする。モニタリングの頻度としては、養浜後1年間は3ヶ月に1回程度、2年目以降は6ヶ月に1回程度とする。ただし、高波浪の来襲や大雨等の特異なイベントが生じた際は、随時モニタリングを実施することとする。また、代表的な海岸においては、リーフ上での波浪や流れの観測を実施し、海浜変形や砂の流出と波浪場の外力の関連性も把握することが望ましい。

また、外部調達による養浜を行う場合は、養浜後の砂の挙動や歩留まりを評価するために、養浜後の前浜（HWL、MSLおよびLWL）の3箇所において底質をサンプリングし、粒度分析を行うことが望ましい。養浜直後、6ヶ月後、1年後程度で、底質の粒度分布と前浜形状の関係を把握し、その結果を将来の維持管理や他海岸での養浜計画を行う上での基礎データとして保管する。

養浜後のサンゴや水質の変化などを把握するために、定点でのサンゴや水質の調査を実施する必要がある。モニタリング内容は、次項の継続的モニタリングの実施の中のリ

ーフ環境モニタリングで詳述する。モニタリングの実施機関としては、MOFやMOIを想定する。

**b. モニタリング結果を踏まえた順応的管理**

養浜によって形成された砂浜は、沿岸漂砂による長期的な変動や常時の来襲波浪により絶えず変動するため、土砂投入後は上述の通りモニタリングを継続的に実施し、維持管理が必要と判断される場合、必要に応じて投入位置、形状（前浜勾配）、量、頻度を再検討することが重要である。また、沿岸漂砂などにより養浜材の流出速度が急激に変化した場合、順応的管理に基づき適宜見直しを行い、再度投入頻度や維持養浜量を設定する。また、土砂投入の効果が低い場合は、投入量の損失量を加算するだけでなく、場合によっては養浜材の見直しも考慮する。

### 3.3 フレキシブル護岸

#### 3.3.1 概要

フレキシブル護岸は、法面の被覆材料として波により移動する材料を用い、外力に対して柔軟な構造とし、合わせて環境保全や利用にも配慮したものである。被覆の材料としては、一般には砕石やブロックなどが用いられるが、ここでは「モ」国で入手しやすい砕石を主体とする。

これは将来護岸に対する要求が防災、利用、環境面で変化した場合や、気候変動による海面上昇などにも対応するのが容易である。

ここでは、「モ」国の環境条件を念頭にその設計、施工、管理に関するガイドラインを示す。

このフレキシブル護岸が適用できるのは次のような条件の海岸である。

- (1) 幅 500m 以上のサンゴ礁が存在し、波浪が減衰するとともに海浜の構成材料がシルト、砂、礫交じりの海岸であること

フレキシブル護岸はある程度の被覆材の移動を許容することから、波浪条件の厳しい直接外洋に面する海岸では他の工法が有利であると考えられる。また砂浜海浜では、護岸の設置よりは砂浜を維持するのが適切と考えられる。

- (2) 海岸への波の来襲方向がほぼ汀線に直角方向であること

被覆材の移動を許容することから、波の入射が平均として直角方向でない場合には被覆材料が沿岸方向に移動するため、適当ではない。ただ、移動量が少ない場合には小規模な突堤等で対応できる場合がある。

- (3) 海浜がレクリエーション、漁業などに利用されていること

単に越波防止や法面の崩壊防止が目的の場合には直立構造物が経済性の面で有利であり、この形式は適当ではない。ただ、直立構造物で前面の洗掘が問題になる場合には適用できることがある。

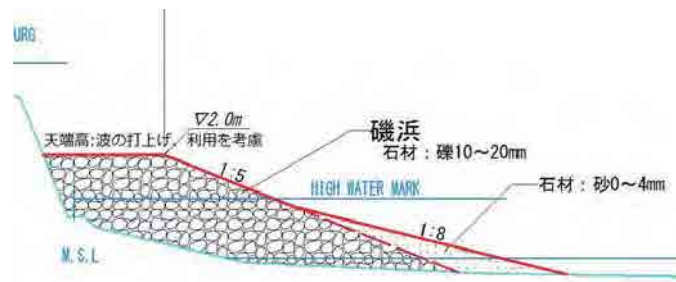
これ以外の海岸でこの形式の護岸を設計する場合には、次のガイドラインを参照いただきたい。

PIANC(1992): Guidelines for the Design and Construction of Flexible Revetments Incorporating Geotextiles in Marine Environment

ここで想定しているフレキシブル護岸は、図 3.3.1のような形式である。すなわち、現地盤の前を被覆材としての礫で覆い、利用等の要求に合わせて、前面に砂を投入する場合もある。また、被覆材の量が多くなる場合には、堤体を土とすること、利用を考慮して天端も土とし芝で保護することも考えられる。

なお、この項の適用はフレキシブル護岸が海岸保全計画の一環として、必要性、施設の形式、配置、概略規模等に関して代替案も含めた検討を行い、その採用が決定されているものとする。





出典：JICA 調査団

図 3.3.1 フレキシブル護岸の横断形状

### 3.3.2 設計

構造物の設計に際しては、まず現地の状況を把握し、設計方法と条件を検討し、平面形状、断面形状、縦断形状を設定し、材料を選定する一連の手順を取る。

#### a. 現状把握

対象海岸での調査すべき項目としては、地形や地質、海象条件、関連構造物、海岸および海域の利用と環境、施工条件等である。

#### b. 課題分析

護岸は法面の保護、越波の防止などの機能を満足し、海岸および海面の利用の促進や環境の改善を考慮する必要がある。その現状と課題について分析し、護岸としての要求仕様を取りまとめる。また、要求仕様を実現するための設計方法や設計条件を検討する。特に、個別の目的は相互に矛盾する可能性のあることから、それらを明確にして、解決を図るよう設計を行う。

法面保護に関しては、法面の崩壊状況、範囲、保護の必要性等を検討する。越波や打上げの防止に関しては、海象条件や地盤高、過去の高波浪時の被害の状況を検討する。海浜の利用に関しては、現況の海浜利用や地元の要望等を取りまとめる。環境に関しては、生態系、マングローブ、海草、サンゴの状況とその変化を取りまとめる。これらを基に、フレキシブル護岸としての要求仕様を設定する。

#### c. 設計条件の設定

設計条件として次の項目を考慮する。

- (1) 海象条件である、潮位、波浪、流れ
- (2) 海底地形、海浜地形、地盤および底質
- (3) 漂砂
- (4) 海浜及び海面利用
- (5) 海岸環境
- (6) 施工条件

海象条件は本ガイドライン第2章を参照して設定する。

海底及び周辺地形は、計画範囲の詳細測量を行う。また、底質については、現地踏査によりその概要を把握する。

漂砂に関しては、大きな移動はないと考えられるが、航空写真、衛星写真を基にその変化を確認する。また、周辺住民より地形変化に関する情報を入手する。

海浜及び海面利用に関しては、現地踏査及び周辺住民から関連する情報を得る。海浜利用に関しては、散策、釣り、水浴、遊び、船揚場など、海面利用に関しては船の係留、漁業、ウォーター・スポーツなどが考えられる。

海岸環境に関しては水質、底生生物、植生、魚類等に関して資料の収集および現地調査により把握する。

施工条件に関しては、気象、資材および機材の入手等に関して調査する。

要求仕様に基づいて、護岸が満足すべき目標を設定する。すなわち、天端高はのり勾配も含め、必要な越波防止機能を有すること、のり勾配は越波防止、被覆材料の安定、海浜の舟揚場としての利用を満足すること、被覆材料は安定性、海浜利用、生物環境を阻害しないことなどを考慮する。

#### d. 諸元の設計

護岸の法線は現状の汀線付近の法線に合わせる。被覆材は波により岸沖方向及び沿岸方向に移動する。岸沖方向の移動に関しては被覆材である砕石の粒径に対応した勾配となることから、この勾配を採用すると沖への移動は防ぐことができる。一方、沿岸方向の移動については、海岸に斜めに波が入射すると沿岸漂砂を生じる。現状の海岸において底質が移動しやすいものであれば、海浜は安定な平衡形状の達していると考えられる。このために、汀線付近の現状法線と護岸の法線を合わせる。

現在の海岸で底質が移動し難いもので構成されている場合には、投入した被覆材が沿岸方向に移動する場合がある。特に汀線に対する波の来襲方向が斜めになっている地形ではこのような状況が生じる。この場合にフレキシブル護岸を適用する際は、沿岸方向の移動を阻止する突堤などの構造物を合わせて設置する必要がある。

天端高は波の打上げを防止するのに必要な高さとする。潮位、入射波高と周期、護岸の勾配が与えられた場合の打上げ高は次の式で推定する。

$$R/H = \alpha * S / (H/L_0)^{0.5}$$

ここで、Rは波の打上げ高(m)、Hは前面の波高(m)、 $\alpha$ は係数、Sはのり勾配である。

のり勾配は、波の打上げ、海浜の利用、被覆材の安定を考慮すると1:5が過去の実験から妥当と考えられる。

のり先に砂を入れて、海浜の利用を促進する場合には、その勾配は砂の粒径によるが、1:7から1:10となる。

#### e. 材料の選定

護岸の被覆材としては、粒径2cm程度が利用面を考慮すると適切と考えられる。また、護岸の天端付近は芝としても波の打上げに対する抵抗があり、利用面でも有利と考えられる。波の作用が厳しくないため、天端に土を入れて植栽を行うことも可能である。

海浜の利用を考慮して、前面に砂を入れることも考えられる。この場合には沖方向への移動と沿岸方向の移動に関して検討する必要がある。沖方向の移動に関しては高波浪で沖へ、静穏な場合には岸へ砂が移動し、ある平衡勾配を維持すると考えられる。海浜は当初の勾配とは異なるが安定化する可能性がある。沿岸方向の移動に関しては、場合によっては侵食が生じる。

護岸の被覆材としては、砕石を想定している。これは入手の容易さと、現地の底質とほぼ同じものを用いることを意図している。もし、現地の底質がサンゴ塊であれば、サンゴ塊を用いるのが良い。サンゴ塊の入手が困難な場合には、その量を減らすために砕石と混合することも考えられる。なお、被覆材の厚さは、海浜変形があることから、50 cm程度は必要である。

被覆材の下の堤体の規模が大きくなる場合には、工費の面から土を使用することも考えられる。ただ、土を使用する場合には施工性、工事中の濁りの発生への対処が必要となる。堤体として土を用いるか、被覆材と同じとするかを比較検討する。

サンゴ砂を利用することも考えられる。白いサンゴ砂は景観上アクセントになる。しかし現地の底質がシルトや鈹物の砂礫の場合には、環境と適合しない。また、周辺との景観との調和の観点から望ましくない。

### 3.3.3 施工

#### a. 施工計画の策定

主要な工事項目は、準備工、安全対策及び管理、モニタリング及び環境対策、護岸工、測量、その他排水溝などの付属工事である。これらの項目に関して、スケジュールを策定する。

#### b. 施工監理

工事の実施に際しては、現場作業の管理および工事の進捗状況の把握等の施工監理を実施する。その項目は次のようになる。

- ・ 施工業者との設計内容、施工手順、スケジュール、方法等の作業内容の情報共有
- ・ 施工中の安全管理と環境モニタリング及び事故発生の防止のための注意
- ・ 使用される礫材、砂材、排水管、コンクリート等の建設資材の質、数量の確認
- ・ 測量による護岸の盛立て位置の指示と仕上げ高のチェック
- ・ 作業工程とタイムテーブルの管理及び週報の作成

### 3.3.4 その他

#### a. 環境影響評価

環境影響評価に関してはEIAガイドラインに従い実施するが、特にフレキシブル護岸に関して留意すべき点は次の通りである。

施設完成後、被覆材の礫が現在の底質環境と大きく異なる場合に、生物の生息環境の変化をもたらす可能性がある。したがって、材料として現状とほぼ同じものを採用する必要がある。

水質環境が、礫の間を海水が出入りすることにより、改善が期待できる可能性がある。ただ、この効果は継続性に問題がある。

海浜の利用環境に関しては、Grand Sableの事例では、ごみの投棄が減少し、また海浜は住民の活動により清潔に改善されている。

工事中の環境への影響に関しては、重機による大気汚染や振動、事故、海中への礫の投入による濁り、工事に伴う樹木等の伐採などが想定される。これらの対しては一時的なものであり、防止策や緩和策により対応する。

## b. 維持管理

フレキシブル護岸の維持管理に関しては、次のような項目が考えられる。

- 護岸の波等による変形：海浜形状のモニタリングを少なくとも年 1 回実施し、その安定性を調査し、必要に応じて礫材の投入等の対応を行う。
- 海浜清掃：周辺住民の参加により、ごみの投棄防止や海浜清掃活動を実施する。
- 海浜利用：良好な環境を維持し、ピクニックや魚釣り、散策等の活動を促進させる。
- 礫材の盗難：礫材は各種建設資材として利用可能なため盗難される可能性があり、監視、教育等により防止する。

## 4 海岸保全事業の事例紹介

### 4.1 事例1 バリ島海岸保全事業(インドネシア)

インドネシア国のバリ島は世界的に有名なリゾートエリアであり、サンゴ礁の白砂海岸が重要な観光資源の1つとなっている。しかし1970年代からの顕著な観光開発に伴い、海岸侵食が深刻化している。

以前の自然なサンゴの白砂海岸を復元するため、インドネシア国は日本の支援（JBIC、現JICA）による海岸保全事業を実施することを決定した。事業は深刻な海岸侵食状況にあった3海岸（サヌール、ヌサドア、クタ、全海岸線約18km）における海岸侵食対策、およびタナロット寺院の海蝕崖の侵食対策が実施された。3海岸での侵食対策として養浜が実施され、その養浜量は約1.3百万 $m^3$ であった。なお、養浜後の流出を低減するために、突堤、ヘッドランド、離岸堤を併用した静的安定化工法を採用した。これら海岸施設の計画・設計においては、養浜砂の流出防止機能とともに、リゾートの利用およびバリの住民に対する宗教上の重要な場と海岸利用および自然景観に十分配慮した。またタナロットの海蝕崖防護対策として、波浪低減のための潜堤の設置および自然の海蝕崖を模し疑岩工を採用した。更にクタ海岸では、約1haの規模でのサンゴ移植を実施し、過去に採掘されたサンゴの復元を行った。

このように、バリでの海岸保全事業は、モーリシャスの海岸問題と類似する点が多く、本事業の紹介は、モーリシャスにおける今後の海岸保全対策を考えていく上で、有用な情報を提供できると考えられる。

ここでは主に以下の項目を示す。

- 1) プロジェクト概要
- 2) 計画・設計上の考慮点
- 3) 3年間のモニタリング結果を踏まえた海岸変化
- 4) 大規模サンゴ移植事業の紹介

# ケーススタディ 1

－ インドネシアバリ島海岸保全事業(JICA) －

## リーフ海岸における養浜工の設計・ 施工および養浜後の海浜応答



出典:日本工営(株)

## 事業の背景、目的

## 背景

- ◆バリ島は世界的に有名な観光地であり、サンゴ礁の白砂海岸は重要な観光資源の1つである。
- ◆1970年代からの本格的な観光開発に伴い、海岸侵食が顕在化していった。
- ◆このような海岸侵食問題を解決し、以前の海岸を復元するため、JICAにより養浜を用いた海岸侵食対策のODA事業が、Sanur, Nusa Dua およびKuta で実施された。

## 目的

- ◆本事業を紹介するとともに、計画・設計上の考慮点について示す。
- ◆養浜実施後の3年間の海岸モニタリング結果より、海浜変形状況、砂の歩留まり状況を示す。

## 自然条件および海岸侵食状況

### 養浜事業対象海岸





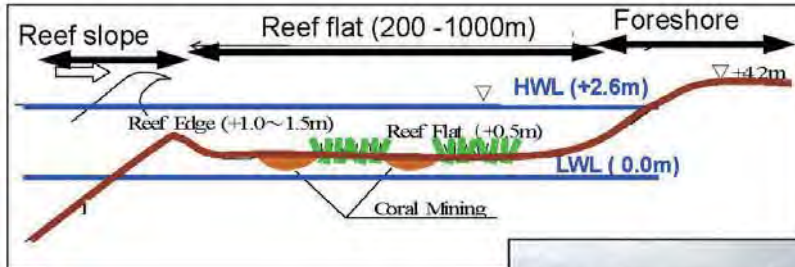
## Sanurの海岸およびリーフ地形



## Nusa Duaの海岸およびリーフ地形



## 礁地の状況



- ◆リーフ底面の高さ : +0.5m
- ◆潮位条件: HWL +2.6m LWL 0.0m  
→ (LWL時には干出する)
- ◆ほとんどのリーフ上は海草で覆われている

## なぜ、1970年代から侵食が顕在化したか？

- 特に1970年代に盛んに行われたリーフ上でのサンゴ採掘(写真1)
- リーフ上での大規模構造物の建設(滑走路建設)やリゾート開発に伴うリーフ掘削(写真2)
- 個人による突堤や護岸建設による漂砂下手側での侵食の助長(写真3)
- 気候変動の影響と思われる外力(波浪)変化



写真1 サンゴ採掘

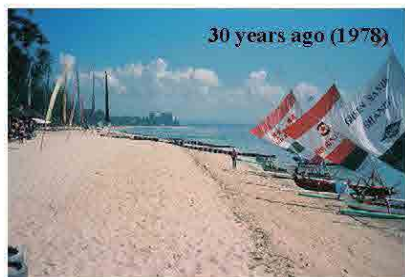


写真2 リーフ掘削



写真3 護岸や突堤建設

## 侵食状況

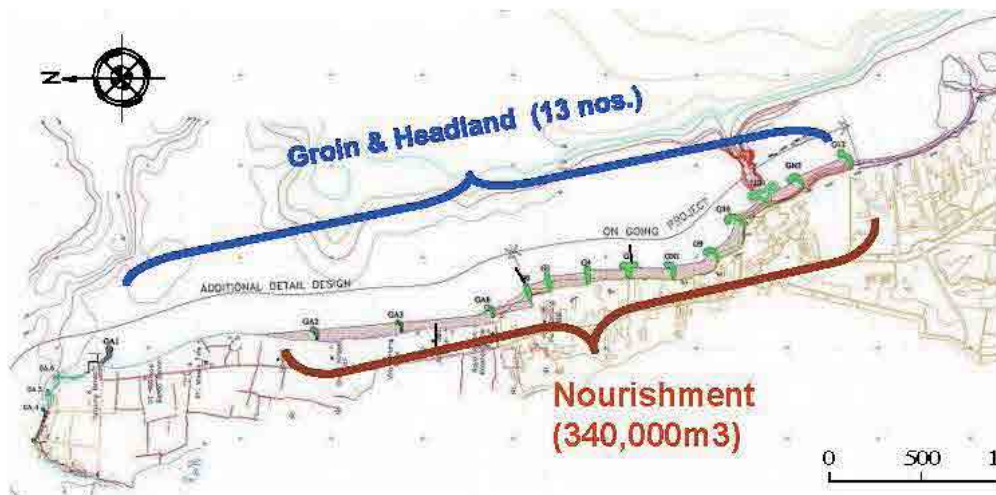


## 事業概要

## Sanur プロジェクト



## Nusa Dua プロジェクト



## 養浜砂の調達

- ▶養浜砂はリーフ沖側の水深20～30m地点より取得
- ▶トレーラーサクシオン浚渫船を用いて吸い上げた砂を運搬(写真1)
- ▶海岸には排砂管を用いて投入(写真2,3)



写真1 トレーラーサクシオン浚渫船



写真2 排砂管の敷設



写真3 海岸への投入

## 設計方針

## 計画・設計上の要求事項

- ◆ 海岸事業は単に観光のためだけでなく、バリの地域文化の継承や地域のレクリエーションの場としての利用の両面を考慮すること
- ◆ 自然景観を可能な限り保持、促進すること
- ◆ リーフ環境の保全を図ること。特に生きたサンゴへの影響がないように配慮すること

## 突堤、ヘッドランド、離岸堤等に対する設計上の配慮

- ◆ 所定の機能を有する範囲で、諸元、数ともできるだけ最小化を図ること
- ◆ 特に用いる材料の色に留意し、リゾート海岸としての景観やイメージに合致するよう、白色系の石材を用いること

## 突堤、ヘッドランドの設計



## 養浜の設計

### 平面設計

養浜の平面形状は、現地調査結果や数値検討の両面の検討アプローチで推定し設計

### 断面設計

海浜勾配や海浜高は、現地調査結果を踏まえ、現況の自然海浜に合うように設定 (海浜勾配: 1/8 - 1/10, 海浜高: DL+4.0 - +4.2m)

### 養浜砂の仕様

用いる養浜砂は、現況の海岸にあるものと同じ組成、色、粒径をもつ砂を用いる

## 事業実施前後の海岸の比較

### 事業実施前後の海岸比較



- Nusa Dua Beach -





## 事業実施前後の海岸比較



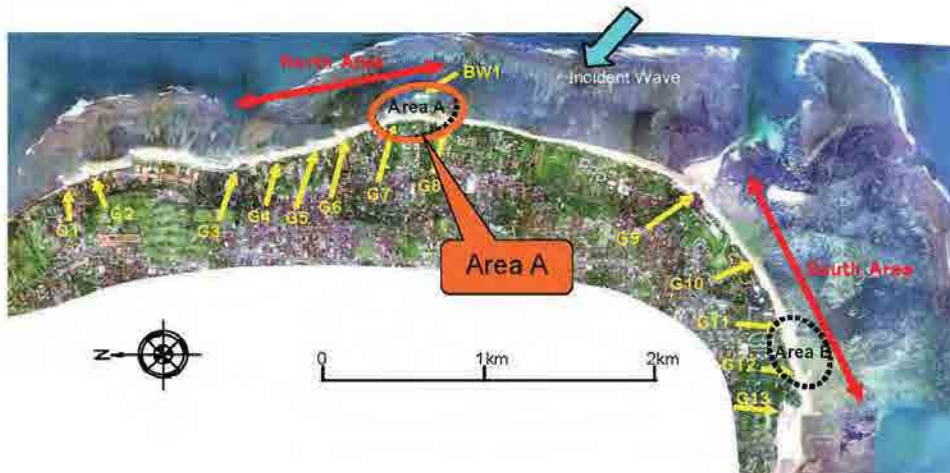
- Sanur Beach -



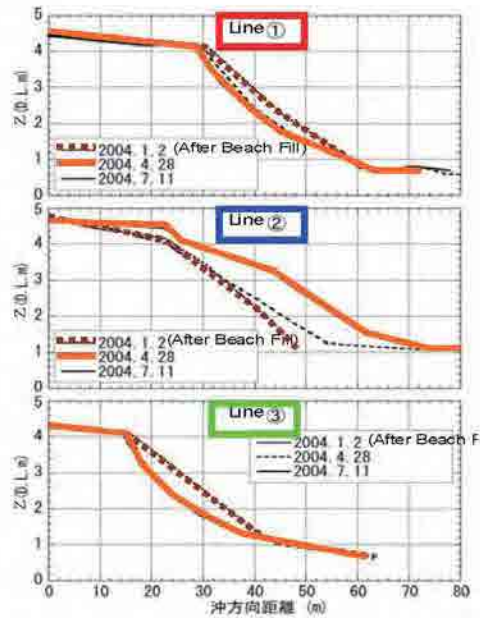
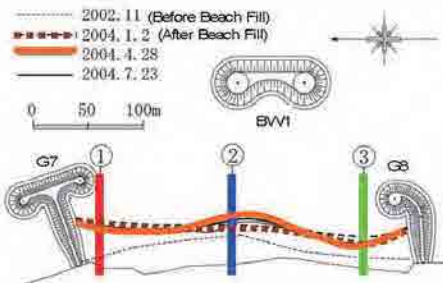
## 養浜後の海浜変化

(モニタリング結果を踏まえて)

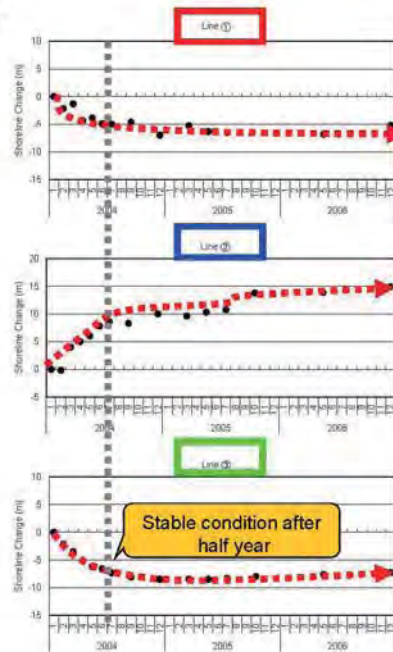
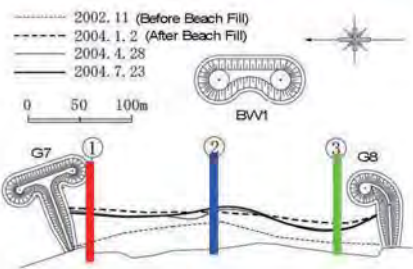
## エリアA (Sanur)



## エリアAにおける海浜変化



## 養浜後3年間の汀線変化



## まとめ

- ◆バリ海岸保全事業を紹介した。
- ◆機能面とともに、リゾート海岸としての利用や景観、環境を考え他計画、設計上の考慮点を示した。
- ◆養浜後の継続的な海岸モニタリング結果より、養浜後約半年程度で安定形状が得られたことが示された。

# インドネシアにおける大規模 サンゴ移植の実施



出典:日本工営(株)

## 1. はじめに

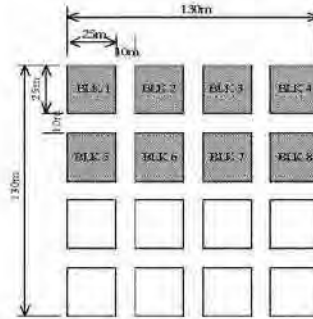
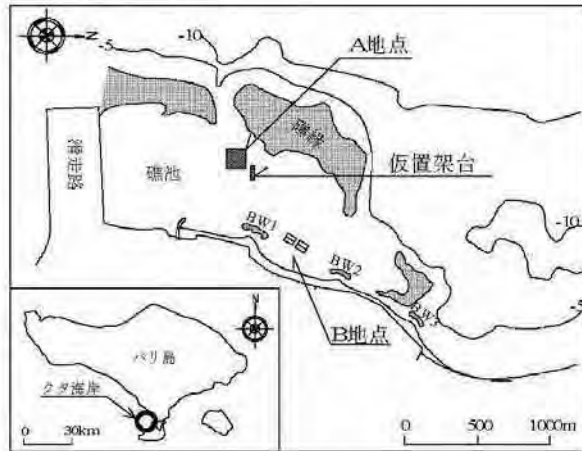
- ・インドネシアバリ島のクタビーチでは、現在我が国の援助による海岸保全事業を実施しており、その中で無性生殖(サンゴ片の基盤上への固定)を活用したサンゴ移植を実施中
- ・実施中のサンゴ移植は移植面積が1.3haと、過去に例を見ない大規模なものである
- ・事業の一環として実施されるため、移植後の確実かつ高い定着率が求められる



### 目的

- ・実施レベルの視点に立った移植の進め方、方法
- ・これまでの経過状況

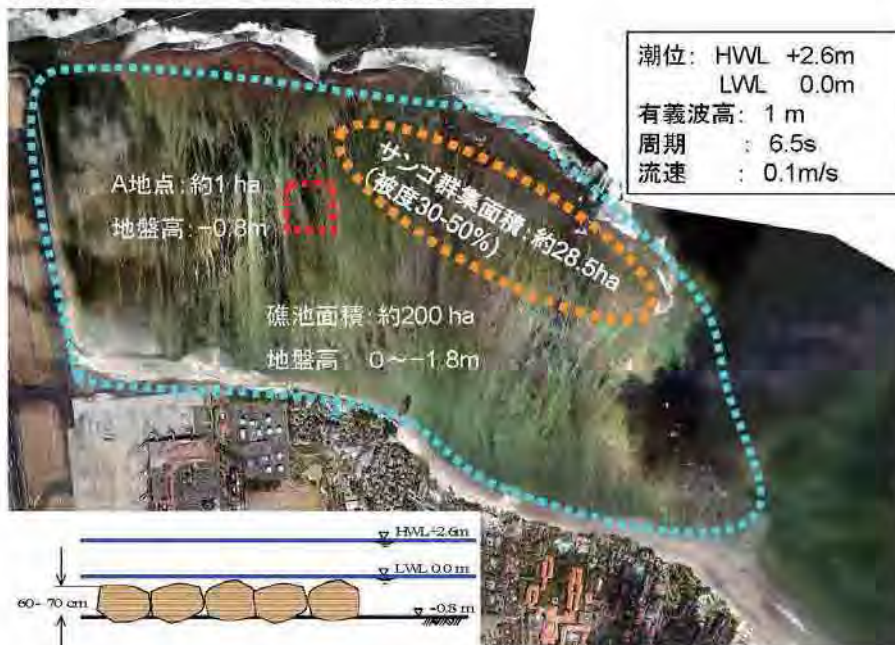
## 実施概要



- ◆ 沿岸方向2.5km、岸沖方向0.5~1.3kmのクダ海岸の礁池上の岸から700m離れたA地点(約1ha分)
- ◆ 昨年9月から約2ヶ月かけて、第1回目のサンゴ移植を、A地点の0.5haで実施(残りは今年の6月より実施中)

- ◆ A地点を25m四方の16ブロックに分割
- ◆ 各ブロックに基盤石としての石灰岩を設置しその表面上にサンゴ片を固定する
- ◆ 1回目の移植に用いた基盤石総数は約5000個、固定サンゴ片の総数は45,300個

## 対象エリアの自然特性



## 実施するに至った経緯

### 1. 侵食要因の観点

クタ海岸における侵食要因として、サンゴ礁上での滑走路建設とともに、過去に実施されてきた建材利用を目的としたサンゴ掘削があげられ、これにより礁池の水深増化、サンゴ環境悪化を招いた。これより失われたリーフの修復が保全対策の1つとして挙げられたこと

### 2. 社会環境配慮の観点

当地点はコミュニティーの影響力が特に強く、地域に対する釈迦環境配慮が高く求められ、サンゴ礁修復はその要望事項の1つであったこと

### 3. ミチゲーション措置

本プロジェクトでの離岸堤建設予定エリアの一部に既存サンゴ群集が存在し(600m<sup>2</sup>程度)、その移設が必要であったこと

## 環境条件上からのサンゴ移植の可能性

◆同様の海岸保全工事を実施した他の2海岸(サヌール、ヌサドア)に比べて礁池の水深が1m以上深く、干出するエリア、頻度が少ないこと

◆礁池内の水質条件が良好であること

◆上記の2海岸に比べて礁池の一部でサンゴ群集が存在していること、および以前は更に広範囲にサンゴが生息していたと考えられること

◆サンゴの天敵となるオニヒトデやサンゴ食巻貝等の存在が確認されていないこと

◆礁池が干出しないので、人為的なサンゴの損傷が少ないと判断されたこと

## 実務として実施する上でのリスク低減措置

- ◆事業の一環として実施されるものであり、移植後の高い定着率を確保する必要
- ◆移植規模が大きく、現地作業は大人数(20名程度)の現地ダイバーを用いての水中作業となり、不確実性や、管理が行き届かない可能性



- ◆現地事前調査に基づく固定方法、ドナーサンゴの決定  
(2年以上にわたる現地事前調査の結果を踏まえた移植方法、ドナーサンゴの選定)
- ◆適切な移植場所の選定 (自然条件上および利用条件上から)
- ◆移植時期の設定 (高水温期を避けて移植時期を設定)
- ◆現地作業ダイバーへの教育・訓練 (専門家による事前講習および現地指導の実施)
- ◆モニタリングおよび維持管理の実施 (成長具合の観察と不測事態への早期対応)

## 4. サンゴ移植の内容

## 用いたサンゴ種および個数

◆ドナーサンゴとして、移設の必要が生じる離岸堤設置エリアの既存サンゴを用いることを基本とする。(18のサンゴ属が確認されたが、9割以上が樹枝状ミドリイシサンゴ)

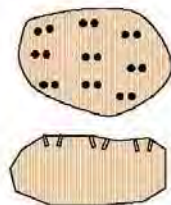
◆事前調査結果から、最も高い定着率、成長率が確認されたのもミドリイシ類であったことから、これを移植に用いる主要なドナーサンゴとした。

◆外部からの購入サンゴをドナーとして用いた移植も、一部の基盤石を用いて実施

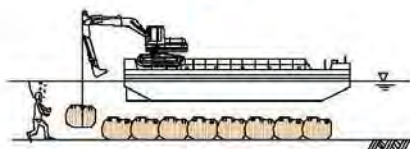
用いたサンゴ種およびサンゴ片の個数

形状	サンゴ属	個数	割合
樹枝状サンゴ	ミドリイシサンゴ ( <i>Acropora nobilis</i> )	42,638	94.2%
葉状サンゴ	コモンサンゴ ( <i>Montipora</i> sp.)	1,225	2.7%
	スリバチサンゴ ( <i>Turbinaria</i> sp.)	558	1.2%
塊状サンゴ		504	1.1%
その他		338	0.7%
合計		45,263	100.0%

## 移植手順1. 基盤石搾孔および投入



陸上にて基盤石の搾孔 (上層面9箇所)

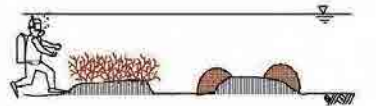


基盤石投入





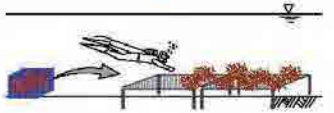
## 移植手順2. 群体収集～仮置架台への移設



パール等を用いて既存サンゴ群体を収集



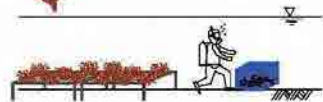
サンゴ群体運搬 (発泡スチロール箱使用)



架台上への仮置 (1日以上の順化期間)



## 移植手順3. サンゴ片作成～固定



サンゴ片作成 (1日以上の順化期間)



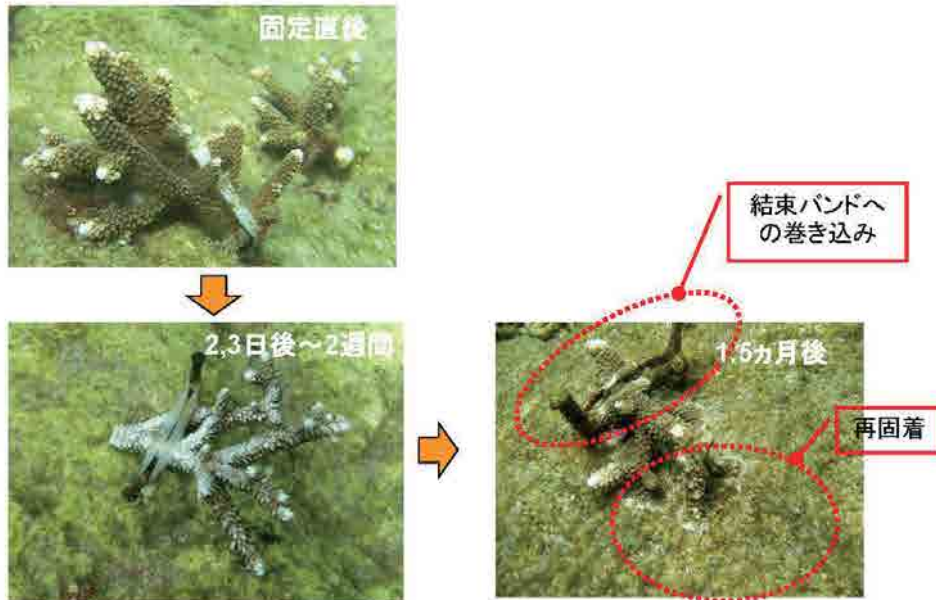
基盤石清掃および釘の挿入



サンゴ片固定 (結束バンド使用)



## 固定後の変化 - ミドリイシサンゴの場合 -



## 枝サンゴの成長状況 *Acropora nobilis*



## 葉状サンゴの成長状況

- *Montipora* sp. and *Turbinaria* sp. -



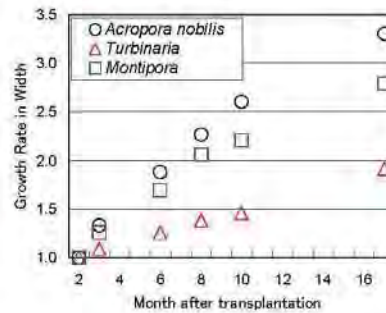
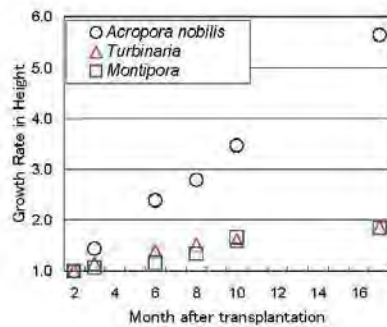
## サンゴ群生の成長状況



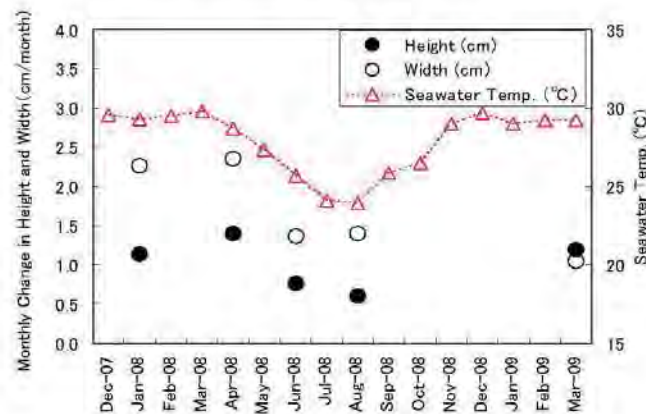
## 成長状況 (17ヶ月後の状況)

### Width

<i>Acropora nobilis</i> :	5.6 times (13.1cm/year),	3.3 times (17.2cm/year)
<i>Montipora</i> sp. :	1.9 times (1.9cm/year),	2.8 times (9.3cm/year)
<i>Turbinaria</i> sp. :	1.8 times (1.9cm/year),	1.8 times (5.3cm/year)



## 月毎のサンゴ成長状況と水温との関係 - *Acropora nobilis* -



水温と成長は同じトレンド  
 (適度な高温時にサンゴの成長も顕著である)

## サンゴの生息を妨げる要因

### 1) 基盤石の海藻付着によるサンゴの白化



## サンゴの生息を妨げる要因

### 2) 高波浪時の砂移動(砂の堆積)による基盤石上のサンゴへの影響



## サンゴの生息を妨げる要因

- 3) サンゴ成長後の波浪による離脱
- 4) 人為的要因による損傷(踏みつぶし、漁船のアンカリング)
- 5) 自然要因(サンゴの干出、水温の高温化 etc.)
- 6) 生物学的要因(病気等)

## 1.5年後の生存率

Species	Taken from	Sample Num	5month	9month	1.5 year
Branching and Leaf Type	Same Lagoon (Kuta lagoon)	196	97.4%	96.9%	95.0%
Massive Coral (except <i>Goniopora</i> sp.)		54			96.0%
Massive Coral ( <i>Goniopora</i> sp.)		27			26.0%
Branching Type	other lagoon (Candy Dasa lagoon)	157			57.0%

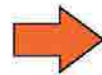
サンゴ移植1.5年後でも高い成長率が維持されている



**201年の高水温時の影響**



April 2010



June 2010

**枝サンゴの顕著な白化・死亡**

## 4.2 事例 2 セーシェルでの養浜

### 4.2.1 概要

「モ」国と同様にサンゴ礁で囲まれているセーシェルで養浜に関するパイロット事業を実施している。この事例は、侵食原因が不明確で、対策として養浜が想定される場合に活用できよう。以下にその概要を述べる。

セーシェル国でJICAの技術援助として海岸侵食・洪水管理プロジェクトが行われ、マヘ島北東部に位置するノース・イースト・ポイントでパイロット事業として養浜が実施された。この海岸では1960年代から侵食され、その対策として表 4.2.1に示すような保全計画を策定した。

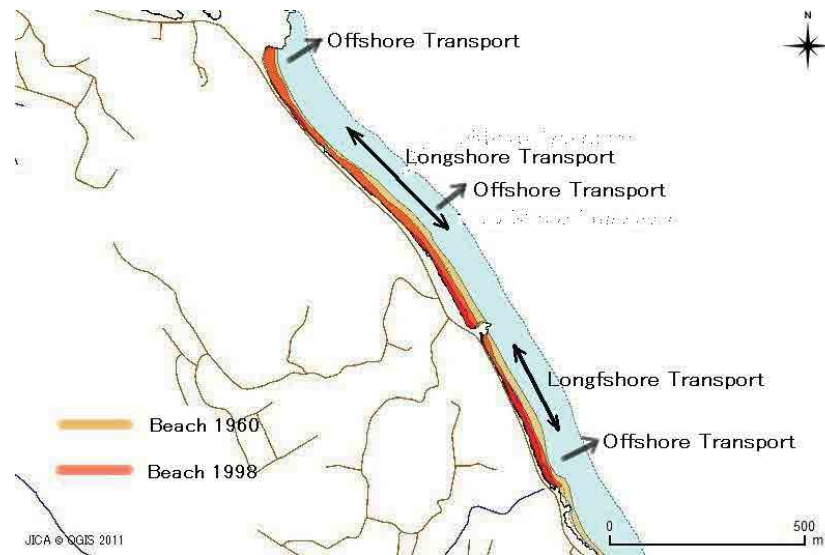
表 4.2.1 ノース・イースト・ポイントにおける海岸保全計画

項目	内容
現状	海岸は延長 2km、砂浜幅は平均約 20m で、マヘ島の北東に位置し幅約 100m の狭いサンゴ礁とビーチロックで守られている。波浪は冬季北西から来襲し、夏季は南東から来襲する。海岸に沿って海岸道路と住宅が位置しており、海浜は地域住民のレクリエーションに利用されている。
課題	海岸侵食と高潮時の海岸道路への越波が問題である。海浜は 1960 年代から 2011 年までの間に海浜幅で 30m 侵食された。また、来襲波の波向きが季節的に変動し、この変動による海浜幅の変化は約 20m におよぶ。長期的な海岸侵食の原因は明確ではないが、サンゴ礁を超えた沖への漂砂と想定される。
計画案の考え方	対策は砂の流出を補い、海浜の利用を図るために、砂または礫の養浜が適切と考えられた。護岸は前面の洗掘、侵食を助長するため不適切と考えられる。ただ、養浜は継続的に砂を補給する必要があるが、砂の入手は比較的容易である。
計画の内容	延長 2km の海岸に、幅 20m の養浜を実施し、必要に応じてその維持を図ることを計画した。

出典：JICA 調査団

この海岸では1960年代から2011年まで50年の間に幅30mの侵食、侵食速度の平均は0.5m/年、季節的な変動幅は約20mであった。また、高潮位時には波と砂が海岸道路へ打上げ、交通に支障が出る状況にある。長期的な海岸侵食の原因は沖への漂砂と想定される。季節的な変動は、北西モンスーンと南東貿易風により発生する波により生じている。侵食状況と漂砂の動向を図 4.2.1に示す。





出典：JICA 調査団

図 4.2.1 ノース・イースト・ポイントにおいて推定される漂砂移動

パイロット事業は、海岸保全対策としての養浜の有効性を確認するとともに、十分解明されていない侵食の状況と原因の把握を行うことを目的とした。養浜は海岸延長400mにわたり、6,600トンの石英砂を投入した。また、工事後、海浜モニタリングにより漂砂特性を検討した。

#### 4.2.2 養浜設計

海岸保全計画に基づきパイロット区間の養浜を設計した。設計は設計条件の設定、養浜規模、配置の設計、材料の選定からなる。

##### a. 設計条件

海象に関する設計条件は、資料を基に設定した。設計波高と周期、潮位は確率1/25として観測結果から次のように定めた。

- 設計有義波高: 4m, 有義波周期: 8.0s
- 潮位: 設計潮位は平均海面(MSL)上+1.44 m、最高天体潮位+1.00m、最低天体潮位-0.90m

リーフ上の波高変化は提案式により推定され、波の打上げ高は2010年では3.6m、もし将来の海面上昇を考慮すると2050年では4.0mとなる。これは海浜勾配1/7で設計波が来襲した場合の値である。海浜が後退し、地盤高が1.5m以上でほぼ鉛直になった場合の波の打上げ高は4.3mとなる。したがって、現状が維持されれば、高潮位時には波が高さ3mの道路を越えることになる。

##### b. 養浜設計

養浜形状、養浜量、材料は、現地の状況、設計条件、越波防止効果等を考慮して次のように設定した。

- 養浜海岸延長：400m
- 養浜材料：鉾物砂
- 養浜断面：天端高は平均海面上+2m、天端幅：10m、勾配 1:3
- 養浜量：4,400m<sup>3</sup>、重量：6,600 トン

保全計画によると養浜に必要な延長は、一部岩場で950mと400mに分断されており、全長1,350mである。パイロットプロジェクトとしては、延長の短い南側400m区間で効果を試験することとした。

養浜材料としては、鈳物砂とサンゴ砂2つの代替案がある。量が豊富にあり、将来に亘り継続的に利用できることから、鈳物砂を選定した。鈳物砂は現地の砂と粒径、色に多少の違いがあるが、やむを得ないとした。サンゴ砂は量が限られ、価格も高く、将来の利用が困難である。

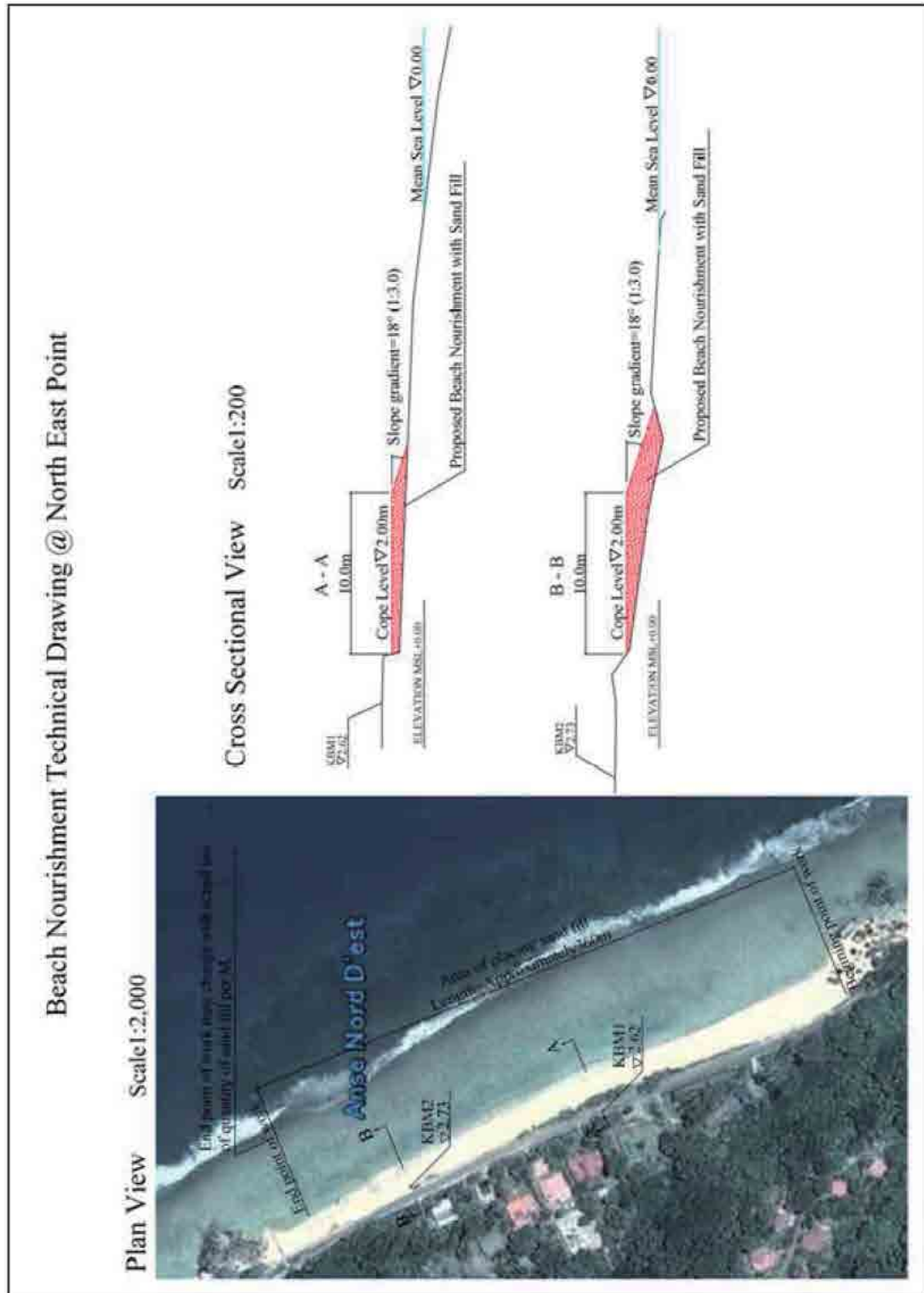
養浜量とその断面は、侵食量、波の打上げ、予算等を考慮して設定した。養浜量の設定は、いくつかの方法が提案されているが、Thielerら(2000)の方法を採用した。これは過去の5年から10年間の侵食量を養浜し、海浜変化を観測し、その結果により将来の養浜量を設定する方法である。(Thieler, E. R., O. H. Pilkey, R. S. Young, D. M. Bush, and F. Chai: The Use of Mathematical Models to Predict Beach Behavior for U. S. Coastal Engineering: A Critical Review, J. Coastal Research, Vol.16, No.1, pp.48-70, 2000)

ノース・イースト・ポイントでは、長期の海岸侵食量は海岸線として0.5m/年の侵食、これに対応する侵食量で1.5m<sup>3</sup>/m/年と推定されている。波の打上げに関しては、道路の地盤高がMSL+2.5mから+3.0m、平均海浜断面形状での打ち上げ高がMSL+2.4m、季節変動により侵食された断面での打ち上げ高がMSL+2.5mであり、侵食された場合には問題が生じていることを示している。なお、平均海浜断面と侵食断面の断面積の差は標準偏差で11m<sup>3</sup>/mである。養浜量を11m<sup>3</sup>/mとした場合には約11 m<sup>3</sup>/m /1.5 m<sup>3</sup>/m /年=7年となり、約7年もつことになることから、これより量を設定した。すなわち、延長400mで4,400m<sup>3</sup>となる。

養浜断面に関しては天端高を通常の波の打上げ高であるMSL+2mとし、のり勾配は施工性や安全性の観点から1:3とすると、現状の海浜地形では養浜の天端幅は約10mとなる。断面形状は波浪により、底質の粒径に対応した形状に変化すると考えられるために、主に施工性から設定した。これら断面形状および平面形状を図 4.2.2に示す。

### c. 施工法

現場から約5km離れたイレ・ドゥ港において、養浜砂をトラックに載せて、計量し、輸送する。現場で砂を降ろし、海浜にローダーで広げる。管理のため、天端については許容値±0.5m、天端幅については許容値-2mの範囲で50m毎に測量によって確認した。



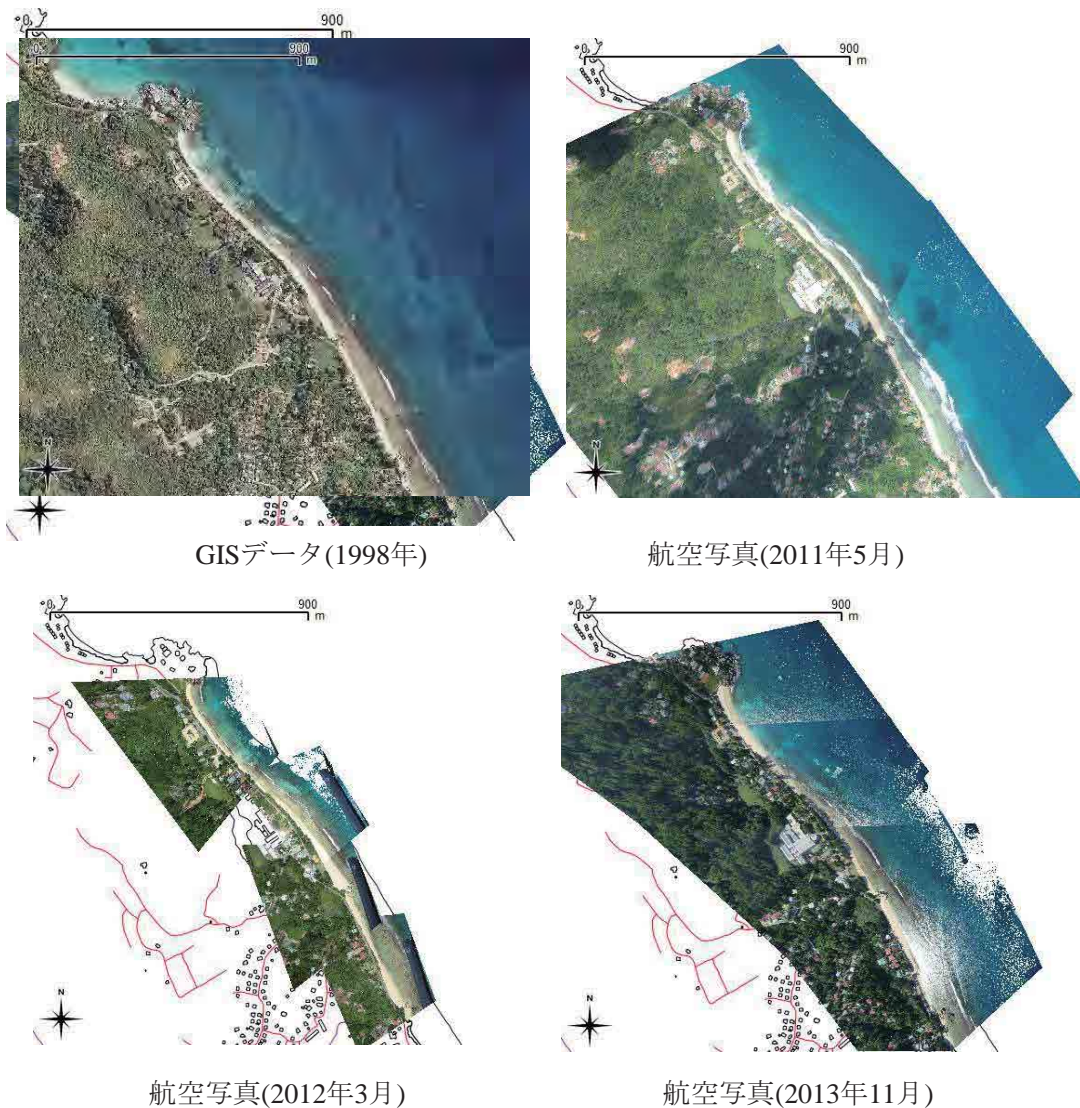
出典：JICA 調査団

図 4.2.2 ノース・イースト・ポイントでの養浜計画

### 4.2.3 事業の評価

ノース・イースト・ポイントでのパイロットプロジェクトの目的は、海岸侵食を軽減する手段として「セ」国に養浜を導入し、養浜の効果を評価し、海浜での侵食の要因と量を推定することである。

パイロットプロジェクトとして、南側の延長400mの区間に6,600トン(約4,000m<sup>3</sup>)の養浜を2013年3月に実施した。過去及び最近の海岸線の変化状況を衛星及びヘリコプターから調査した結果を図 4.2.3に示す。養浜はこの図で2012年3月と2013年11月の間に実施されている。



出典：JICA 調査団

図 4.2.3 ノース・イースト・ポイントにおける海岸線の経年変化

養浜後の2013年11月には海岸は図 4.2.4に示すように侵食され、南側で岩の護岸が現れており、対照的に北部では砂が堆積している。養浜前の2011年3月から養浜直後の2013年4月までの海浜断面積の変化と、養浜後の2013年4月から2013年10月までの海浜横断測量結果による海浜断面積の変化を図 4.2.5に示す。測線は沿岸方向に北から約200m間隔でとり、養浜区間はこの図で沿岸方向距離1,100mから1,500mの間400mで、間隔を約100mとしている。養浜実施前の2年間の変化は、沿岸方向距離0m付近での堆積、900m付近に存在する岩礁の北側で侵食となっている。岩礁の南側は堆積となっているが、その量は養浜量と対応している。養浜直後の2013年4月から6か月後の変化は、南端付近での侵食、岩礁の南側での堆積と北側で侵食、北端での堆積が生じている。すなわち、この期間では南東から波が来襲し北への漂砂が生じ、その量は約7,000m<sup>3</sup>と推定される。また、海岸全体の収支は、2011年3月から2013年4月の間ではほとんど変化なく、2013年4月から10月の

間で約1,000 m<sup>3</sup>の侵食となっている。この結果によると、沿岸漂砂による季節変動があり、土砂収支としても年による変動があることが明らかである。

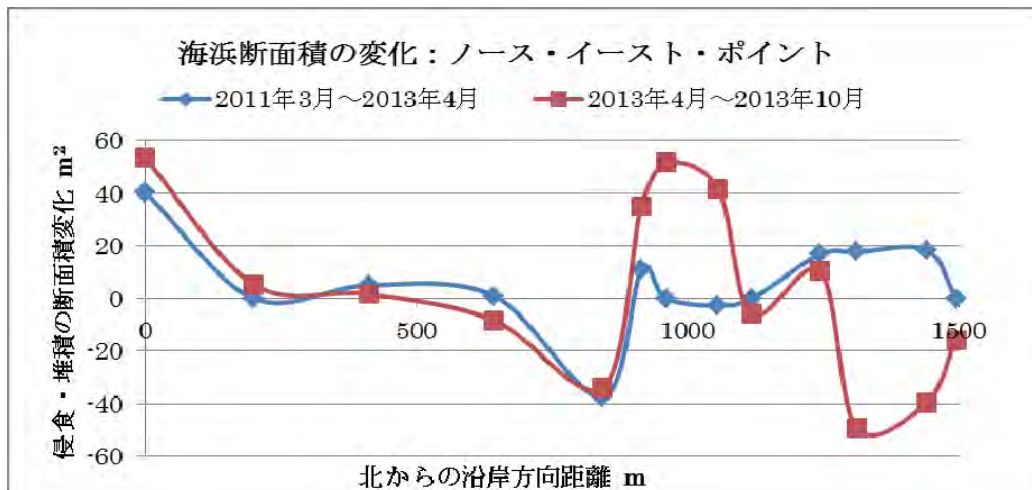


養浜直後(2013年4月)

7か月経過後(2013年11月)

出典：JICA 調査団

図 4.2.4 養浜直後と7か月経過後の写真



出典：JICA 調査団

図 4.2.5 ノース・イースト・ポイントにおける海浜断面積の変化

養浜後1年間のモニタリング結果からは、季節変動が大きいことから長期的な侵食量の推定は困難で、今後もモニタリングを継続する必要がある。また、リスクの高い北側では養浜砂の移動により堆積が生じ、養浜の効果が2014年1月の時点では発揮されていると考えられる。

侵食対策の方向としては、(1)当初計画に従い損失に見合う量を養浜すること、(2)北側で沖に移動していると想定される沿岸漂砂を突堤により制御し、南では必要に応じた養浜、北では護岸やセットバックによる対策、(3)沖への損失量が多くなる場合には護岸などの案が考えられる。モニタリングを継続的に実施し、状況を把握することによりこれらの案を比較検討し、対策を見直すことが適切である。

#### 4.2.4 まとめ

サンゴ礁の海岸で、侵食及び波の打上げ対策および侵食状況の把握を目的として養浜をパイロット事業として実施した。事業実施後のモニタリングの結果によると、波向きの変動により沿岸方向の漂砂移動とこれに伴う海浜変形が大きいことが明らかになった。また、海岸からの損失量についても過去の海浜変形から推定した量とほぼ一致していた。しかし、来襲波の変化による海浜の年変化が大きく、侵食の状況把握と対策の検討には、さらに長期のモニタリングが必要なことが明らかになった。

「モ」国でも比較的サンゴ礁の幅が狭く、漂砂の移動がある場合には養浜によるこの検討事例が役立つと考えられる。また、ここで実施した海浜変形の解析は長期的な資料の集積が必要であるが、同様の場合に適用できよう。

### 4.3 事例3 秋谷海岸

日本の秋谷海岸における礫による養浜は、「モ」国で礫養浜を実施する場合に参考になると考えられるので、ここに紹介する。

#### 4.3.1 礫養浜の経緯

秋谷海岸は、三浦半島の西側に位置する延長約1.3kmのポケットビーチである(図4.3.1参照)。海岸前面には岩礁があり、タコ、サザエ、アワビ等の漁場になっている。また、晴れた日には長者ヶ崎と並んで富士山が望める風光明媚な海岸である。海岸では、散策、サーフィン等の利用が盛んである。

近年では海岸侵食によって、高波浪による背後地への越波が生じ、背後の家屋、国道134号の被災が懸念されている。

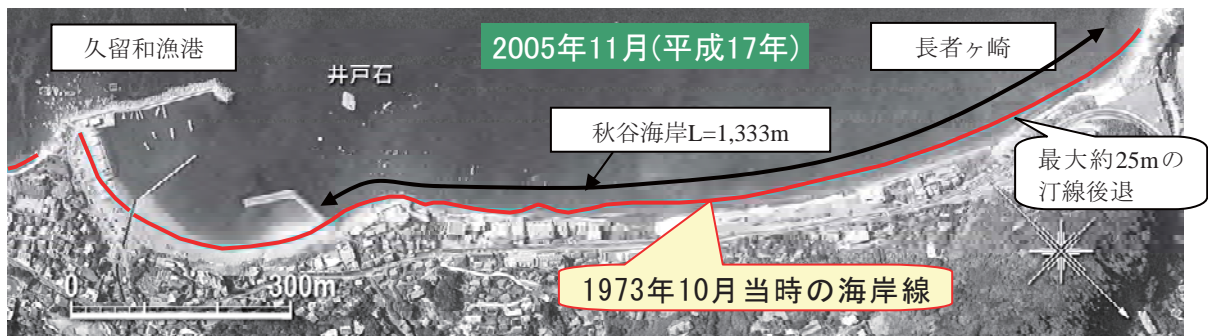
このような状況から、神奈川県は平成15年10月に住民、海岸利用者、行政および学識経験者からなる「秋谷海岸(久留和地区)保全計画協議会」を設置し、海岸の保全対策について協議してきた。その結果、構造物を作らない工法として礫養浜工法が採用され平成18年度から礫養浜を行い、平成25年度に計画の約8万 $m^3$ の養浜が終了した。



図 4.3.1 秋谷海岸位置図

#### 4.3.2 調査

秋谷海岸の侵食状況は、航空写真による汀線の変化に示される。図4.3.2は、2005年の航空写真に1973年の汀線位置を赤線で記入したものである。これから、最大で約25mの汀線後退が生じていることがわかる。



出典：小林ら、土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.67、No.2,2011

図 4.3.2 秋谷海岸の侵食の状況

また、侵食の要因は、航空写真の重ね合わせから秋谷海岸の侵食が認められる一方で久留和漁港の防波堤背後に堆砂が見られることから、久留和漁港の防波堤の遮蔽域に秋谷海岸の土砂が吸い込まれたものと推定されている。

この対策工を計画するため、次表に示す調査が実施された。

表 4.3.1 対策工立案のための調査

調査項目	調査内容
航空写真による汀線変化解析	航空写真から汀線位置の変化を判読し侵食実態を把握する。
波浪資料整理	近接する観測所の波浪資料を整理し、波浪変形計算により秋谷海岸へ作用する波浪特性を把握
汀線変化予測モデル構築	種々の対策工を行った場合、行わない場合の将来の汀線形状を予測し、対策工の効果を評価
打上げ高、越波量評価	海岸の各地点の防護特性を評価し、対策の必要性、対策工の効果を評価
深浅測量	海底の地形変化実態の把握および汀線変化予測モデル、打上げ高、越波量算定の基礎資料
底質調査	海岸特性の把握

### 4.3.3 計画

航空写真解析、汀線変化予測モデルから漂砂特性を把握し、侵食の主な要因は、久留和漁港建設により防波堤背後に海岸の土砂が吸い寄せられ、漁港内に堆積した土砂を漁港内の泊地を維持するため浚渫し沖合へ捨てたことによると考えられている。

この結果、海岸では打上げ高、越波量を満足することができなくなり、住宅等が被災し対策が必要となった。侵食のメカニズムおよび海岸防護のため、対策工として表 4.3.2 に示す3つが挙げられ、住民、海岸利用者（漁業者を含む）、行政および学識経験者から構成される協議会をつくり対策について協議を行った。

協議会は、早く防護を望む地元住民と構造物のない自然の状態の海岸を望む海岸利用者との意見調整が進まず、また、行政に対する不信感と相まって4年間の10回に及んだ。当初の協議会は住民や海岸利用者の行政に対する不満を吐き出す場となり、不信感の矛先は学識経験者やコンサルタントにも及んだ。これに対し行政、学識経験者およびコンサルタントが真摯に対応したことにより、4回目当たりから建設的に意見の場へと変化し、最終的には、次に示す要請を受け、構造物をつくらず、維持管理を軽減できる礫による養浜工法が採択された。

- 豊富な水産資源の保全
- 海岸景観の保全
- 多様な海岸利用ができる場の保全
- 海浜の復活によるかつての海岸利用の回復
- 1970 代からの海岸侵食の阻止
- 荒天時の高波浪による被害防止



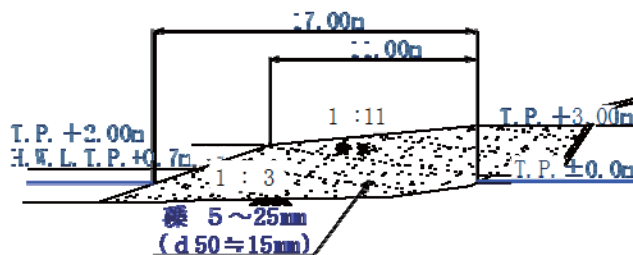
表 4.3.2 侵食対策工法の比較

侵食対策工法 (施行例)	工 法 の 特 徴
	<p>海岸線とほぼ平行に消波ブロックや自然石を設置して造られた構造物である。                  主な機能は、消波効果とそれに伴う離岸堤背後への堆砂および沿岸漂砂量の低減である。</p>
	<p>沿岸漂砂を阻止することを目的とした構造物であり、通常は”群”としてその効果を発揮する。                  また、人工海浜等の短い区間では、数基の比較的長い突堤により海浜を安定させることもできる。</p>
	<p>ヘッドランド (人工岬) は岬状の構造物を人工的に建設することによって漂砂移動の閉じた系を作り、この系外に土砂が流出しない静的に安定な海浜を形成させるものである。</p>

出典：神奈川県、横須賀土木事務所 HP、第1回協議会事前配布資料を編集

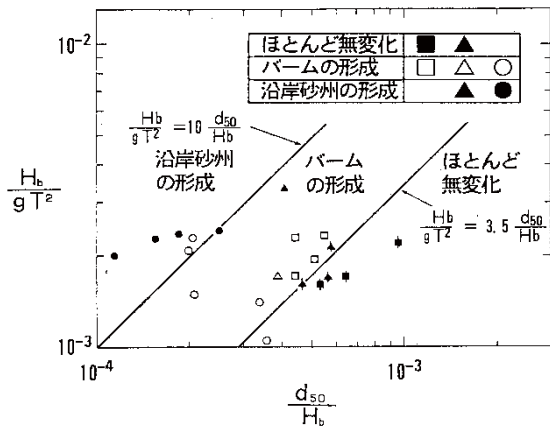
#### 4.3.4 設計

礫養浜の基本断面を図 4.3.3に示す。養浜した礫が沖へ流出すると、歩留まりが損なわれるだけでなく、沖合の藻場を埋め漁業に影響を与える恐れがある。よって、粒径は沖へ移動しないよう①バームと沿岸砂州の発生区分 (武田・砂村、図 4.3.4)、②前浜の堆積・侵食の区分 (宇多ほか、図 4.3.5)、③海浜の侵食・堆積の区分 (堀川ほか、図 4.3.6) を満足する $d_{50}=9.7\text{mm}$ を基本に県内で調達可能な $d_{50}\approx 15\text{mm}$ とした。前浜勾配は、宇多・石川 (図 4.3.7) から $1/3$ とし、後浜高はかつて砂浜があったと思われる痕跡、現地ヒアリング結果および年数回程度来襲波浪のうちあげ高から $+3.0\text{m}$ とし、浜幅は30年確率波浪によるうちあげ高と越波量を満足する浜幅として現況汀線 (平成18年6月) から $11\text{m}$ とした。ただし、海浜の利用を考慮して $1:11$ の勾配を設けた。これより、計画養浜量は、 $8\text{万m}^3$ となる。



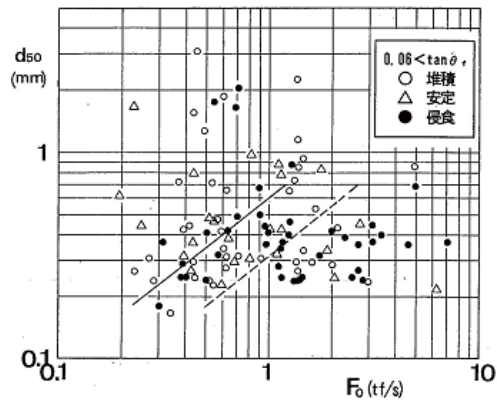
出典：小林ら、土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.67、No.2,2011

図 4.3.3 礫養浜の基本断面



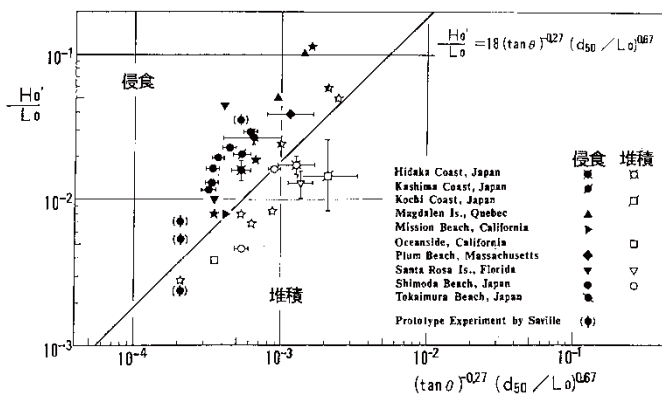
出典：人工リーフの設計の手引き、  
 全国海岸協会、1992

図 4.3.4 バームと沿岸砂州の発生区分



出典：人工リーフの設計の手引き、  
 全国海岸協会、1992

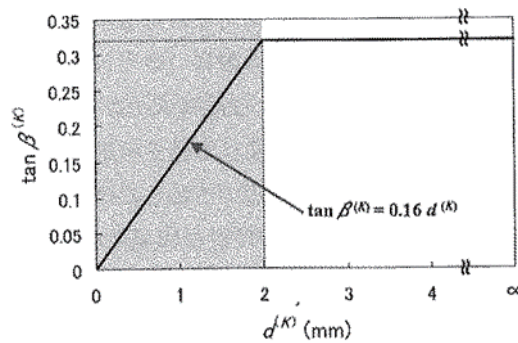
図 4.3.5 前浜の堆積・侵食の区分  
 ( $0.06 \leq \tan \theta$ )



出典：人工リーフの設計の手引き、全国海岸協会、1992

図 4.3.6 海浜の侵食・堆積の区分

$H_b$ : 碎波水深、 $T$ :波の周期  
 $d_{50}$ : 底質の中央粒径  
 $F_0 = 1/8 \rho_w (H_0')^2 C_{go}$   
 $C_{go} = gT / (4\pi)$ 、 $\rho_w$ : 海水の比重、  
 $\tan \theta$ : 海底勾配



出典：宇多・石川、養浜マニュアル、財団法人土木研究センター

図 4.3.7 粒径と前浜勾配の関係

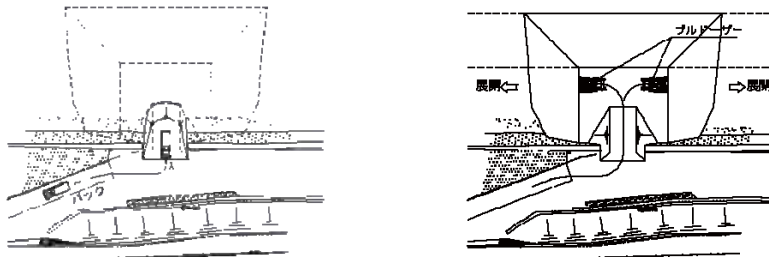
### 4.3.5 施行

#### a. 養浜礫の調達

養浜礫は海岸への土砂供給に影響の出ないよう相模ダム上流の河川から採取した。採取した礫は中央粒径が計画の約15mmとなるよう砕き、水洗いを2回行う。

#### b. 施工方法

- 現地への養浜材の投入は、地先の水深が浅く海上工事はできないことから、陸上から行う。
- 礫の投入は、投入した礫は両側へ広がっていくと予測されることから、海岸中央部にある仮設の搬入路から行う。
- ダンプトラックを搬入口からバックでいれ、礫を投入敷均して仮設ステージを作る(図 4.3.8)。
- 仮設ステージを中心に礫の投入を広げ施工範囲の工事を完成させる。



出典：神奈川県、横須賀土木事務所 HP、平成 18 年度レキ養浜試験施工計画 (案)

図 4.3.8 礫養浜の施工手順

### 4.3.6 管理

#### a. 養浜工事実施中

レキ養浜工事は、平成19年から開始され、毎年1月から3月の間に実施されている。表 4.3.3にモニタリング調査の内容と実施時期を示す。調査結果は毎年10月前後に実施される協議会のメンバーが中心となった報告会に示され、次の養浜工事の了解を得ることになっている。

表 4.3.3 モニタリング調査

項目	調査内容	実施時期
地形測量	深浅測量(20~40m間隔)	夏季
	汀線測量(20~40m間隔)	夏季、養浜工事前
底質調査	粒度分析(33地点)	夏季
	底質写真撮影(33地点)	
	化学分析(7地点) (COD、強熱減量、硫化物)	
生物調査	底生生物(7地点)	夏季
	付着生物(6地点)	
	魚卵・稚仔魚(2地点)	
	ライン観測(5測線)	
定点写真観測		7-10回/年
漁業者ヒアリング		随時

出典：小林ら、土木学会論文集 B3(海洋開発)Vol.67、No.2,2011

## b. 養浜工事終了後

モニタリング調査では、以下のことが分かった。

- 概ね、計画した後浜高、浜幅、前浜勾配が形成されている。
- 養浜礫は汀線変化予測モデルで予測した移動速度より早く沿岸方向へ移動する。約40m/年という結果が得られている。
- 深浅測量および底質調査から養浜礫は水深 -1mより沖合へは流出しない。
- しかしながら、久留和漁港側へ礫の一部が流出しそうな状況になっている。
- 計画波浪を超える波浪が打ち寄せており、礫が後浜へ打ちあがり堆積することにより、人が塀を乗り越えやすくなる等、防犯上の問題が生じている。

以上から、今後は久留和漁港側へ礫が流出しないようサンドリサイクルを行う等を計画している。そのため、汀線部の地形測量、底質の写真撮影等は引き続き行っていくことを検討している。

レキ養浜工事は、平成19年から開始され、毎年1月から3月の間に実施されている。表-3にモニタリング調査の内容と実施時期を示す。調査結果は毎年10月前後に実施される協議会のメンバーが中心となった報告会に示され、次の養浜工事の了解を得ることになっている。

### 4.3.7 課題と解決策

- 久留和漁港側への礫流出は、汀線変化予測モデルにより予測されていたが、移動速度は予測を上回っており、今後、サンドリサイクル等の維持管理計画を協議していく予定である。
- 後浜へのレキの打上がりについては、サンドリサイクル等により対処していく予定であるが、維持管理費の増大が懸念されるため、効果的な手法について検討していく予定である。

沿岸漂砂の存在する海岸で礫養浜を行うと、継続的に礫を補給する必要があり、「モ」国でこれを実施する場合にはこの点を考慮する必要がある。