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

【海岸保全計画】

Volume 2

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 |
| 15-107 |

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

【海岸保全計画】

Volume 2

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

**海岸保全計画策定 14 海岸位置図**

## 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


**1 Baie du Tombeau ..... 1-1**

1.1 概要 ..... 1-1

1.2 現況把握 ..... 1-1
1.2.1 海象特性 ..... 1-1
1.2.2 海岸状況 ..... 1-1
1.2.3 リーフ環境 ..... 1-3
1.2.4 海岸利用 ..... 1-5

1.3 海浜変形と漂砂特性 ..... 1-6
1.3.1 海浜変形 ..... 1-6
1.3.2 漂砂特性 ..... 1-8

1.4 海岸保全対策 ..... 1-10
1.4.1 概要 ..... 1-10
1.4.2 短期対策 ..... 1-11
1.4.3 長期対策 ..... 1-11

1.5 海岸管理計画 ..... 1-12
1.5.1 維持管理計画 ..... 1-12
1.5.2 セットバック量の妥当性 ..... 1-12

**2 Pte. aux Cannoniers ..... 2-1**

2.1 海岸概況 ..... 2-1

2.2 現況把握 ..... 2-2
2.2.1 現地踏査による現状把握 ..... 2-2
2.2.2 長期海岸変化および土砂収支 ..... 2-2
2.2.3 短期海岸変化 ..... 2-8
2.2.4 海象、地形、底質、リーフ環境特性 ..... 2-8

2.3 想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因 ..... 2-10
2.3.1 漂砂特性 ..... 2-10
2.3.2 当海岸の問題とその要因 ..... 2-11

2.4 海岸保全対策の検討 ..... 2-12
2.4.1 概要 ..... 2-12
2.4.2 対策の基本方針 ..... 2-12
2.4.3 短期対策 ..... 2-14
2.4.4 長期対策 ..... 2-19

2.5 海岸維持管理計画 ..... 2-19
2.5.1 現在の海岸管理の課題に対する改善案 ..... 2-19
2.5.2 海岸保全計画に基づく海岸管理計画 ..... 2-19
2.5.3 セットバック量の妥当性 ..... 2-20

2.6 実施に向けた今後の課題 ..... 2-21
2.6.1 詳細設計および住民合意形成の必要性 ..... 2-21
2.6.2 １つの漂砂系での包括的なEIAの必要性 ..... 2-21

2.6.3 事業実施体制の確立 ..... 2-21
2.6.4 養浜砂の確保 ..... 2-21
2.6.5 海岸モニタリング結果を踏まえた順応的管理の必要性 ..... 2-22

**3 Mon Choisy ..... 3-1**

3.1 海岸概況 ..... 3-1

3.2 現況把握 ..... 3-1
3.2.1 現地踏査による現状把握 ..... 3-1
3.2.2 長期海岸変化および土砂収支 ..... 3-4
3.2.3 短期海岸変化（継続的モニタリング結果） ..... 3-7
3.2.4 海象、地形、底質、リーフ環境特性 ..... 3-8

3.3 想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因 ..... 3-10
3.3.1 漂砂特性 ..... 3-10
3.3.2 当海岸の問題とその要因 ..... 3-11

3.4 海岸保全対策の検討 ..... 3-12
3.4.1 概要 ..... 3-12
3.4.2 対策の基本方針 ..... 3-12
3.4.3 短期対策 ..... 3-13
3.4.4 長期対策 ..... 3-16

3.5 海岸維持管理計画 ..... 3-17
3.5.1 現在の海岸管理の課題に対する改善案 ..... 3-17
3.5.2 海岸保全計画に基づく海岸管理計画 ..... 3-18
3.5.3 セットバック量の妥当性 ..... 3-19

3.6 実施に向けた今後の課題 ..... 3-19
3.6.1 養浜砂の確保 ..... 3-19
3.6.2 継続的な海岸モニタリングの実施およびその結果を踏まえた順応的管理 ..... 3-19
3.6.3 水質・サンゴ環境モニタリングの実施とサンゴ移植・海草藻場再生のパイロット事業の実施 ..... 3-20

**4 Bras d'Eau ..... 4-1**

4.1 概要 ..... 4-1

4.2 現況把握 ..... 4-1
4.2.1 海象特性 ..... 4-1
4.2.2 海岸状況 ..... 4-1
4.2.3 リーフ環境 ..... 4-2

4.3 海浜変形と漂砂特性 ..... 4-5
4.3.1 海浜変形 ..... 4-5
4.3.2 漂砂特性 ..... 4-8

4.4 海岸保全対策 ..... 4-11
4.4.1 海岸保全の課題 ..... 4-11
4.4.2 短期対策 ..... 4-12
4.4.3 長期対策 ..... 4-13

4.5 維持管理計画 ..... 4-14
4.5.1 維持管理の課題 ..... 4-14
4.5.2 維持管理 ..... 4-14

4.5.3　セットバック量の妥当性 ..... 4-15

**5　Q. Cocos Vge　およびT. d'Eau Douce ..... 5-1**

5.1　概要 ..... 5-1

5.2　現況把握 ..... 5-1
5.2.2　リーフ環境 ..... 5-3
5.2.3　海岸利用 ..... 5-5

5.3　海浜変形と漂砂特性 ..... 5-6
5.3.1　海浜変形 ..... 5-6
5.3.2　漂砂特性 ..... 5-10

5.4　海岸保全対策 ..... 5-11
5.4.1　海岸保全の課題 ..... 5-11
5.4.2　短期対策 ..... 5-11
5.4.3　長期対策 ..... 5-13

5.5　維持管理計画 ..... 5-13
5.5.1　維持管理の課題 ..... 5-13
5.5.2　維持管理 ..... 5-14
5.5.3　セットバック量の妥当性 ..... 5-15

**6　Ile aux Cerfs ..... 6-1**

6.1　海岸概況 ..... 6-1

6.2　現況把握 ..... 6-2
6.2.1　現地踏査による現状把握 ..... 6-2
6.2.2　長期海岸変化および土砂収支 ..... 6-2
6.2.3　短期海岸変化（継続的モニタリング結果） ..... 6-8
6.2.4　気象、海象（波浪・水位・流況）、地形、底質、リーフ環境特性 ..... 6-9

6.3　想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因 ..... 6-11
6.3.1　漂砂特性 ..... 6-11
6.3.2　当海岸の問題とその要因 ..... 6-12

6.4　海岸保全対策 ..... 6-14
6.4.1　概要 ..... 6-14
6.4.2　対策の基本方針 ..... 6-14
6.4.3　短期対策 ..... 6-14
6.4.4　長期対策 ..... 6-17

6.5　海岸維持管理計画 ..... 6-18
6.5.1　現在の海岸管理の課題に対する改善案 ..... 6-18
6.5.2　海岸保全計画に基づく海岸管理計画 ..... 6-18
6.5.3　セットバック量の妥当性 ..... 6-19

6.6　実施に向けた今後の課題 ..... 6-19
6.6.1　継続的な海岸モニタリングの実施およびその結果を踏まえた順応的管理 ..... 6-19
6.6.2　砂の有効利用に関する官民間協議および法制度との整合性 ..... 6-19

**7　Pointe d'Esny ..... 7-1**

7.1　海岸概況 ..... 7-1

7.2 現状把握 ..... 7-1
7.2.1 現地踏査による状況把握 ..... 7-1
7.2.2 長期海岸変化および土砂収支 ..... 7-5
7.2.3 短期海岸変化（継続的モニタリング結果） ..... 7-7
7.2.4 海象、地形、底質、リーフ環境特性 ..... 7-10

7.3 想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因 ..... 7-16
7.3.1 漂砂特性 ..... 7-16
7.3.2 当海岸の問題とその要因 ..... 7-16

7.4 海岸保全対策の検討 ..... 7-17
7.4.1 概要 ..... 7-17
7.4.2 対策の基本方針 ..... 7-18
7.4.3 短期対策 ..... 7-19
7.4.4 長期対策 ..... 7-30

7.5 海岸維持管理計画 ..... 7-30
7.5.1 現在の海岸管理の課題に対する改善案 ..... 7-30
7.5.2 海岸保全計画に基づく海岸管理計画 ..... 7-31
7.5.3 セットバック量の妥当性 ..... 7-32

7.6 実施に向けた今後の課題 ..... 7-33
7.6.1 継続的モニタリングの重要性および住民との情報共有 ..... 7-33
7.6.2 詳細設計の必要性 ..... 7-33
7.6.3 事業実施体制の確立 ..... 7-33
7.6.4 養浜砂の確保 ..... 7-33

**8 Bel Ombre ..... 8-1**

8.1 概要 ..... 8-1

8.2 現況把握 ..... 8-1
8.2.1 海象特性 ..... 8-1
8.2.2 海岸状況 ..... 8-1
8.2.3 リーフ環境 ..... 8-2
8.2.4 海岸利用 ..... 8-4

8.3 海浜変形と漂砂特性 ..... 8-5
8.3.1 海浜変形 ..... 8-5
8.3.2 漂砂特性 ..... 8-6

8.4 海岸保全対策 ..... 8-7
8.4.1 海岸保全の課題 ..... 8-7
8.4.2 行動計画 ..... 8-8

8.5 維持管理計画 ..... 8-9
8.5.1 維持管理の課題 ..... 8-9
8.5.2 維持管理 ..... 8-9
8.5.3 セットバック量の妥当性 ..... 8-11

**9 Le Morne （ホテルサイト） ..... 9-1**

9.1 概要 ..... 9-1

9.2 現況把握 ..... 9-1
9.2.1 海岸状況 ..... 9-1

9.2.2　リーフ環境 ..... 9-2
9.2.3　海岸利用 ..... 9-3

9.3　海浜変形と漂砂特性 ..... 9-5
9.3.1　海浜変形 ..... 9-5
9.3.2　漂砂特性 ..... 9-8

9.4　海岸保全計画 ..... 9-9
9.4.1　海岸保全の課題 ..... 9-9
9.4.2　海岸保全対策 ..... 9-10

9.5　維持管理計画 ..... 9-11
9.5.1　維持管理の課題 ..... 9-11
9.5.2　維持管理 ..... 9-12
9.5.3　セットバック量の妥当性 ..... 9-14

**10　Flic en Flac ..... 10-1**

10.1　概要 ..... 10-1

10.2　現況把握 ..... 10-1
10.2.1　海象特性 ..... 10-1
10.2.2　海岸状況 ..... 10-1
10.2.3　リーフ環境 ..... 10-2
10.2.4　海岸利用 ..... 10-3

10.3　海浜変形と漂砂特性 ..... 10-4
10.3.1　海浜変形 ..... 10-4
10.3.2　漂砂特性 ..... 10-9

10.4　海岸保全計画 ..... 10-11
10.4.1　海岸保全の課題 ..... 10-11
10.4.2　短期対策 ..... 10-12
10.4.3　長期対策 ..... 10-14

10.5　維持管理計画 ..... 10-15
10.5.1　維持管理の課題 ..... 10-15
10.5.2　維持管理 ..... 10-15
10.5.3　セットバック量の妥当性 ..... 10-18

**11　Albion（海浜） ..... 11-1**

11.1　概要 ..... 11-1

11.2　現況把握 ..... 11-1
11.2.1　海象特性 ..... 11-1
11.2.2　海岸状況 ..... 11-1
11.2.3　リーフ環境 ..... 11-4
11.2.4　海岸利用 ..... 11-6

11.3　海浜変形と漂砂特性 ..... 11-7
11.3.1　海浜変形 ..... 11-7
11.3.2　漂砂特性 ..... 11-11

11.4　海岸保全計画 ..... 11-13
11.4.1　海岸の問題とその要因 ..... 11-13
11.4.2　海岸保全対策 ..... 11-14

11.5 維持管理計画 11-16
11.5.1 維持管理の課題 11-16
11.5.2 維持管理 11-16
11.5.3 セットバック量の妥当性 11-17

**12 Pte. aux Sables 12-1**

12.1 海岸概況 12-1

12.2 現況把握 12-1
12.2.1 現地踏査による現状把握 12-1
12.2.2 長期海岸変化および土砂収支 12-5
12.2.3 短期海岸変化（継続的モニタリング結果） 12-9
12.2.4 気象、海象（波浪・水位・流況）、地形、底質、リーフ環境特性 12-11

12.3 想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因 12-14
12.3.1 漂砂特性 12-14
12.3.2 当海岸の問題とその要因 12-14

12.4 海岸保全対策 12-15
12.4.1 概要 12-15
12.4.2 対策の基本方針 12-15
12.4.3 短期対策 12-16
12.4.4 長期対策 12-22

12.5 海岸維持管理計画 12-22
12.5.1 現在の海岸管理の課題に対する改善案 12-22
12.5.2 海岸保全計画に基づく海岸管理計画 12-23
12.5.3 セットバック量の妥当性 12-23

12.6 実施に向けた今後の課題 12-23

**13 Grand Sable 13-1**

13.1 概要 13-1

13.2 現況把握 13-1
13.2.1 海象特性 13-1
13.2.2 海岸状況 13-1
13.2.3 海岸環境 13-2
13.2.4 海岸利用 13-2
13.2.5 海岸保全の課題 13-3

13.3 海岸保全対策 13-5
13.3.1 基本方針 13-5
13.3.2 基本計画 13-5
13.3.3 基本設計 13-8

13.4 長期計画 13-14

13.5 維持管理計画 13-14
13.5.1 維持管理の課題 13-14
13.5.2 維持管理 13-15

**14 Albion（崖侵食） 14-1**

14.1 概要 14-1

14.2 現況把握 ..... 14-1
14.2.1 海岸現況 ..... 14-1
14.2.2 崖海岸特性 ..... 14-2
14.3 海岸保全計画 ..... 14-5
14.3.1 海岸保全の課題 ..... 14-5
14.3.2 海岸保全対策 ..... 14-5
14.4 維持管理計画 ..... 14-7
14.4.1 維持管理面での課題 ..... 14-7
14.4.2 維持管理計画 ..... 14-7

# 図リスト

Page


図 1.2.1　Baie du Tombeauの海岸と写真撮影位置 ..... 1-2
図 1.2.2　Baie du Tombeauの海岸状況 ..... 1-2
図 1.2.3　Baie du Tombeauの深浅図 ..... 1-3
図 1.2.4　Baie du Tombeau 及びLe Gouletでのサンゴの状況 ..... 1-4
図 1.2.5　Baie du Tombeauの検討範囲 ..... 1-6
図 1.3.1　Baie du Tombeauにおける海岸線の変化 ..... 1-7
図 1.3.2　土砂収支 (Sediment Cell No.1, Sub Cell-1-2) ..... 1-7
図 1.3.3　土砂収支 (Sediment Cell No.1, Sub Cell-3-4) ..... 1-8
図 1.3.4　ラグーン内の砂州の変遷と堆積面積 ..... 1-9
図 1.3.5　Le Gouletにおける河口砂州と海浜の変動、2013年3月に歩道橋橋台が損傷 ..... 1-10
図 2.1.1　Pte. aux Cannoniers海岸 ..... 2-1
図 2.2.1　撮影位置 ..... 2-2
図 2.2.2　Pte. aux Cannoniers北側エリアの海岸状況（2014年5月撮影） ..... 2-3
図 2.2.3　Pte. aux Cannoniers東側エリアの海岸状況（2014年5月撮影） ..... 2-4
図 2.2.4　空中写真の比較（北側全体エリア）（左：1967年、右2008年） ..... 2-5
図 2.2.5　空中写真の比較（南側侵食エリア）（左：1967年、右2008年） ..... 2-5
図 2.2.6　各エリアの土砂収支の比較 ..... 2-5
図 2.2.7　3つのサイクロンの経路図 ..... 2-6
図 2.2.8　空中写真の比較（東側全体エリア）（左：1967年、右2008年） ..... 2-7
図 2.2.9　空中写真の比較（東側侵食エリア）（左：1967年、右2008年） ..... 2-7
図 2.2.10　各エリアの土砂収支の比較 ..... 2-8
図 2.3.1　Pte. aux Cannoniersの波浪および漂砂パターン ..... 2-10
図 2.4.1　北側侵食エリアの対策案 ..... 2-14
図 2.4.2　各借地者レベルでの護岸改善 ..... 2-15
図 2.4.3　北側侵食エリアの対策案 ..... 2-16
図 2.4.4　突堤の断面イメージ（参考） ..... 2-18
図 3.1.1　Mon　Choisy海岸 ..... 3-1
図 3.2.1　海岸写真撮影位置 ..... 3-1
図 3.2.2　Mon Choisyの海岸状況（2013年1月撮影） ..... 3-2
図 3.2.3　公共海岸南側の海浜断面変化 ..... 3-3
図 3.2.4　空中写真の比較（広域）　（左：1967年、右2008年） ..... 3-4
図 3.2.5　空中写真の比較（南側侵食エリア）　（左：1967年、右2008年） ..... 3-5
図 3.2.6　各エリアの土砂収支の比較 ..... 3-5
図 3.2.7　1967年から2008年の5時期のリーフ変化 ..... 3-6
図 3.2.8　海岸測量位置図 ..... 3-7
図 3.2.9　代表6地点における継続的海岸モニタリング測量結果 ..... 3-8
図 3.2.10　底質および前浜勾配 ..... 3-9
図 3.3.1　Mon Choisyの波浪および漂砂パターン ..... 3-11
図 3.3.2　粒径に応じた砂の沖移動 ..... 3-12
図 3.4.1　対策範囲 ..... 3-12
図 3.4.2　断面整形 ..... 3-15
図 3.4.3　前浜部における木々の状況 ..... 3-15
図 3.4.4　構造物対策による漂砂下手側への影響 ..... 3-16
図 3.4.5　Mon Choisy 礁湖でのサンゴと海草藻場の保護海域の提案 ..... 3-17
図 4.2.1　Bras d'Eauの海岸状況と写真位置 ..... 4-1
図 4.2.2　Bras d'Eauの海岸状況 ..... 4-2

図 4.2.3　Bras d'Eauでのスポットチェック法による調査結果 ..... 4-3
図 4.3.1　Bras d'Eauの検討範囲と汀線変化状況 ..... 4-5
図 4.3.2　Bras d'Eau における汀線変化 ..... 4-6
図 4.3.3　土砂収支 (Sediment Cell No.4, Sub Cell-1-2) ..... 4-6
図 4.3.4　土砂収支 (Sediment Cell No.4, Sub Cell-3-5) ..... 4-7
図 4.3.5　海浜モニタリングの測線配置図 ..... 4-7
図 4.3.6　Bras d'Eauの海浜モニタリング結果 ..... 4-8
図 4.3.7　Bras d'Eauの海浜断面積変化 ..... 4-8
図 4.3.8　1975年の航空写真によるBras d'Eau の海浜及びリーフの状況 ..... 4-9
図 4.3.9　1991年の航空写真によるBras d'Eau の海浜及びリーフの状況 ..... 4-10
図 4.3.10　1997年の航空写真によるBras d'Eau の海浜及びリーフの状況 ..... 4-10
図 4.3.11　2008年の衛星写真によるBras d'Eau の海浜及びリーフの状況 ..... 4-11
図 4.4.1　Bras d'Eauの保全対策配置図 ..... 4-14
図 4.5.1　浜崖と海藻・海草の清掃状況 ..... 4-14
図 5.2.1　T. d'Eau Douceの検討範囲と写真撮影位置 ..... 5-1
図 5.2.2　T. d'Eau Douce　の海岸状況 ..... 5-2
図 5.2.3　海浜公園での海浜整形 ..... 5-3
図 5.2.4　Trau d'Eau Douceでのグラスボートによる調査結果 ..... 5-4
図 5.3.1　T. d'Eau Douceにおける検討範囲と汀線変化状況 ..... 5-7
図 5.3.2　T. d'Eau Douceにおける汀線変化 ..... 5-7
図 5.3.3　土砂収支 (Sediment Cell No.5, Sub Cell-11-12) ..... 5-8
図 5.3.4　土砂収支 (Sediment Cell No.5, Sub Cell-13-16) ..... 5-8
図 5.3.5　海浜モニタリングの測線配置図 ..... 5-9
図 5.3.6　T. d'Eau Douceの海浜モニタリング結果 ..... 5-9
図 5.3.7　T. d'Eau Douceの海浜断面積変化 ..... 5-10
図 5.3.8　T. d'Eau Douceにおける1975年の海浜状況 ..... 5-10
図 5.3.9　T. d'Eau Douceにおけるサンゴの発生による堆積と侵食　(2008年衛星写真) ..... 5-11
図 5.4.1　T. d'Eau Douceの保全対策配置図 ..... 5-12
図 5.5.1　海岸のごみ堆積状況 ..... 5-14
図 6.1.1　Ile aux Cerfs海岸 ..... 6-1
図 6.2.1　撮影位置 ..... 6-2
図 6.2.2　Ile aux Cerfsの海岸状況（2014年4月撮影） ..... 6-3
図 6.2.3　Ile aux Cerfsの海岸状況（2014年4月撮影） ..... 6-4
図 6.2.4　空中写真の比較　（左：1967年、右2008年） ..... 6-4
図 6.2.5　各エリアの土砂収支の比較 ..... 6-5
図 6.2.6　水路部の変遷 ..... 6-6
図 6.2.7　北側砂嘴の発達変遷 ..... 6-7
図 6.2.8　海岸測量位置図 ..... 6-8
図 6.2.9　代表6地点における継続的海岸モニタリングの結果 ..... 6-9
図 6.3.1　Ile aux Cerfsの波浪および漂砂パターン ..... 6-12
図 6.3.2　Touessrok Resort Hotel水路の閉塞 ..... 6-13
図 6.4.1　水路部の土砂撤去のイメージ ..... 6-15
図 6.4.2　提案するサンドリサイクル ..... 6-16
図 6.4.3　砂投入のイメージ ..... 6-17
図 7.1.1　Pointe d' Esnyの地形 ..... 7-1
図 7.1.2　リーフ上の深浅測量結果 ..... 7-1
図 7.2.1　海岸写真撮影位置 ..... 7-2
図 7.2.2　Pointe d' Esnyの海岸状況（2013年1月撮影、1/2） ..... 7-3
図 7.2.3　Pointe d' Esnyの海岸状況（2013年1月撮影、2/2） ..... 7-4
図 7.2.4　空中写真の比較（左：1967年、右：2008年） ..... 7-6
図 7.2.5　各エリアでの長期汀線変化状況（衛星画像は2008年） ..... 7-6

図 7.2.6　各エリアの土砂収支の変化.....7-7
図 7.2.7　海岸測量の位置図.....7-8
図 7.2.8　Blue Bay湾内の公共海浜公園における継続的海岸モニタリング測量結果.....7-8
図 7.2.9　Pte d' Esnyの代表7地点における継続的海岸モニタリング測量結果.....7-9
図 7.2.10　沖波出現特性の季節変化.....7-10
図 7.2.11　リーフ上での波・流れの観測（実施中）.....7-11
図 7.2.12　St.1およびSt.2での水位および波高変化の関係.....7-12
図 7.2.13　サイクロン通過時の沖波波高とリーフ内（St.1）波高・水位の関係.....7-12
図 7.2.14　リーフの筋目模様から推定される リーフ上の波・流れの方向.....7-13
図 7.2.15　海浜勾配.....7-14
図 7.4.1　ゾーン1での海岸保全対策.....7-21
図 7.4.2　撤去後の予想される汀線形状.....7-21
図 7.4.3　ゾーン2での海岸保全対策.....7-22
図 7.4.4　養浜断面のイメージ.....7-22
図 7.4.5　突堤断面のイメージ.....7-23
図 7.4.6　海岸で多く見られるコンクリート直立型の突堤および護岸.....7-24
図 7.4.7　護岸の改良イメージ.....7-24
図 7.4.8　G3突堤北側の4本の小突堤.....7-25
図 7.4.9　ゾーン3での海岸保全対策（案）.....7-26
図 7.4.10　Step-2の対策の概要(突堤改良、既設護岸のセットバック、植生).....7-26
図 7.4.11　突堤改良のイメージ(バリ島　サヌール海岸での事例).....7-27
図 7.4.12　侵食域における既設護岸.....7-27
図 7.4.13　Step-3の対策の概要(サンゴ礁帯の造成).....7-27
図 7.4.14　ゾーン1の最終計画.....7-28
図 7.4.15　ゾーン2の最終計画.....7-29
図 7.4.16　砂取得候補地の一例.....7-29
図 8.2.1　Bel Ombreの検討範囲と写真位置.....8-1
図 8.2.2　Bel Ombreの海岸状況.....8-2
図 8.2.3　Bel Ombreでのスポットチェック法よる調査結果.....8-3
図 8.3.1　Bel Ombreの検討範囲と侵食状況.....8-5
図 8.3.2　Bel Ombreにおける海岸線変化.....8-5
図 8.3.3　土砂収支 (Sediment Cell No.9, Sub Cell-1-2).....8-6
図 8.3.4　土砂収支 (Sediment Cell No.9, Sub Cell-3-5).....8-6
図 8.3.5　Bel Ombreでの浅瀬による地形変化：左2003年の衛星写真、右2013年の衛星写真.....8-7
図 8.4.1　Bel Ombreの保全対策配置図.....8-9
図 8.5.1　ホテル施設とセットバックラインとの位置関係の確認（Bel Ombre）.....8-11
図 9.2.1　Le Morneの海岸状況と検討範囲.....9-1
図 9.2.2　Le Morneの海岸状況：左：写真Aホテル導流堤周辺の侵食、右：写真B公共海浜公園の浜崖.....9-2
図 9.2.3　Le Morneでのグラスボートによる調査結果.....9-2
図 9.2.4　Le Morneの文化的景観区域(世界遺産)のコアゾーンとバッファゾーン.....9-4
図 9.3.1　Le Morneのの検討範囲と汀線変化状況.....9-5
図 9.3.2　Le Morne における海岸線変化.....9-6
図 9.3.3　土砂収支 (Sediment Cell No.10, Sub Cell-1-2).....9-7
図 9.3.4　土砂収支 (Sediment Cell No.10, Sub Cell-3-4).....9-7
図 9.3.5　土砂収支 (Sediment Cell No.10, Sub Cell-5-7).....9-8
図 9.3.6　Le Morne南でのサンゴ群落による地形変化：左1967年航空写真、右2008年衛星写真.....9-8
図 9.3.7　Le Morne北での浅瀬による地形変化：左1967年航空写真、右2008年衛星写真.....9-9

図 9.4.1 Le Morneの水路維持対策案 ..... 9-10
図 9.5.1 Le Morneにおける海浜維持管理の課題 ..... 9-12
図 9.5.2 ホテル施設とセットバックラインとの位置関係の確認（Le Morne） ..... 9-13
図 10.2.1 Flic en Flac（Cell No.11）の検討範囲と侵食状況 ..... 10-1
図 10.2.2 Flic en Flacの海浜状況：左(写真A)：借地前面の護岸、右(写真B)：海浜の利用状況 ..... 10-2
図 10.2.3 Flic en Flacでのグラスボートによる調査結果 ..... 10-2
図 10.3.1 Flic en Flacの検討範囲と汀線変化状況 ..... 10-5
図 10.3.2 Flic en Flacにおける海岸線変化 ..... 10-5
図 10.3.3 土砂収支 (Sediment Cell No.11, Sub Cell-1-2) ..... 10-6
図 10.3.4 土砂収支 (Sediment Cell No.11, Sub Cell-3-5) ..... 10-6
図 10.3.5 海浜モニタリングの測線配置図 ..... 10-7
図 10.3.6 Flic en Flacの海浜モニタリング結果 ..... 10-8
図 10.3.7 Flic en Flacの海浜断面積変化 ..... 10-9
図 10.3.8 Flic en Flacにおける2013年1月サイクロンにより生じた浜崖(図 10.2.1地点C) ..... 10-10
図 10.3.9 Flic en Flacにおける深浅図 ..... 10-11
図 10.4.1 Flic en Flac における保全対策配置図 ..... 10-14
図 10.5.1 Flic en Flacの海岸状況 ..... 10-15
図 10.5.2 ホテル施設とセットバックラインとの位置関係の確認（Flic en Flac-1） ..... 10-16
図 10.5.3 ホテル施設とセットバックラインとの位置関係の確認（Flic en Flac-2） ..... 10-17
図 11.2.1 Albionの海岸地形 ..... 11-1
図 11.2.2 Albionの海岸状況（2013年1月撮影） ..... 11-2
図 11.2.3 Albionの海岸状況（2013年1月撮影） ..... 11-3
図 11.2.4 Albionにおけるラグーンの深浅図 ..... 11-4
図 11.2.5 Albionでのスポットチェック法による調査結果 ..... 11-6
図 11.3.1 Albionでの海岸侵食状況 ..... 11-7
図 11.3.2 Albion における汀線の変化 ..... 11-8
図 11.3.3 土砂収支 (Sediment Cell No.12, Sub Cell-1-5) ..... 11-8
図 11.3.4 海浜モニタリングの測線配置図 ..... 11-9
図 11.3.5 Albionの海浜モニタリング結果 ..... 11-10
図 11.3.6 Albionの海浜断面積変化 ..... 11-11
図 11.3.7 アルビオン北での海草の消失と回復状況 ..... 11-12
図 11.3.8 アルビオン南での海草の消失状況 ..... 11-13
図 11.5.1 Albionにおける海浜状況 ..... 11-16
図 12.1.1 Pte. aux Sables海岸 ..... 12-1
図 12.2.1 海岸状況撮影位置 ..... 12-2
図 12.2.2 Pte. aux Sablesの海岸状況（2014年5月撮影） ..... 12-3
図 12.2.3 Pte. aux Sablesの海岸状況（2014年5月撮影） ..... 12-4
図 12.2.4 空中写真の比較 （広域） ..... 12-5
図 12.2.5 空中写真の比較 （公共海浜公園新設護岸周辺） ..... 12-6
図 12.2.6 1967年から2008年の5時期のリーフ変化 ..... 12-7
図 12.2.7 各エリアの土砂収支の比較 ..... 12-8
図 12.2.8 海岸測量位置図 ..... 12-9
図 12.2.9 代表6地点における継続的海岸モニタリング測量結果 ..... 12-10
図 12.2.10 スポットチェック法による調査結果 ..... 12-12
図 12.2.11 透視度と生きたサンゴの被度との関係 ..... 12-12
図 12.3.1 Pte. aux Sablesの波浪および漂砂パターン ..... 12-14
図 12.4.1 東側堆積域からの砂の取得 ..... 12-19
図 12.4.2 東側侵食域への砂投入範囲、断面整形イメージ ..... 12-20
図 12.4.3 西側侵食域への砂投入範囲、断面整形イメージ ..... 12-21

図 13.2.1　Grand Sableの陸上地形と海岸地形（Aの範囲が対象海岸）.....13-1
図 13.2.2　Grand Sable のサンゴ生息未確認海域.....13-2
図 13.2.3　Area Aの海岸道路の標高.....13-4
図 13.2.4　Area Aの海岸状況.....13-4
図 13.3.1　物理的実証事業対象地における海岸保全対策基本計画図.....13-7
図 13.3.2　道路肩地盤高と推定された波の打ち上げ高.....13-9
図 13.3.3　標準断面図（実施区間）.....13-10
図 13.3.4　平面図（実施区間）.....13-11
図 13.3.5　標準断面図（計画整備区間）.....13-12
図 13.3.6　平面図（計画整備区間）.....13-13
図 13.5.1　事業実施前の海岸状況.....13-14
図 13.5.2　事業実施後の海岸状況.....13-15
図 14.2.1　Albion(Cliff)の検討範囲.....14-1
図 14.2.2　Albionの航空写真右：灯台の北、左：灯台の南.....14-2
図 14.2.3　Albionの調査位置.....14-3
図 14.2.4　調査個所のスケッチ.....14-4
図 14.3.1　セットバックラインの考え方（案）.....14-6

# 表リスト

Page


表 1.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 1-4
表 1.2.2 Baie du Tombeauの海岸特性と課題 ..... 1-6
表 2.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 2-9
表 2.4.1 考えられる対策案および概略の比較 ..... 2-13
表 2.4.2 突堤間隔および堤長（参考） ..... 2-17
表 2.4.3 北側侵食エリアで提案する短期対策および概算工事費 ..... 2-18
表 2.4.4 東側侵食エリアで提案する短期対策および概算工事費 ..... 2-18
表 3.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 3-10
表 3.4.1 南側の公共海浜公園における対策案の概要および比較 ..... 3-13
表 3.4.2 Mon Choisyにおける提案する短期対策・概算工事費 ..... 3-16
表 4.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 4-3
表 4.2.2 Bras d'Eauの海岸特性と課題 ..... 4-4
表 5.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 5-4
表 5.2.2 Trou d'Eau Douceの海岸特性と課題 ..... 5-6
表 5.4.1 T. d'Eau Douceの海岸保全対策案 ..... 5-12
表 6.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 6-11
表 6.4.1 土砂撤去方法の比較 ..... 6-15
表 6.4.2 Ile aux Cerfsにおける提案する対策 ..... 6-17
表 6.4.3 単価の比較 ..... 6-17
表 7.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 7-15
表 8.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 8-3
表 8.2.2 Bel Ombreの海岸特性と課題 ..... 8-4
表 8.4.1 Bel Ombreにおける対策案の比較 ..... 8-8
表 9.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 9-3
表 9.2.2 Le Morneの海岸特性と課題 ..... 9-5
表 10.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 10-3
表 10.2.2 Flic en Flacの海岸特性と課題 ..... 10-4
表 10.3.1 サンゴ礁水道の砂の堆積状況 ..... 10-10
表 10.4.1 Flic en Flacにおける対策案の比較 ..... 10-13
表 11.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 11-5
表 11.2.1 Albion(beach)の海岸特性と課題 ..... 11-6
表 11.4.1 対策案の概要及び比較 ..... 11-15
表 12.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果 ..... 12-13
表 12.4.1 サンドリサイクルの土砂投入方法の比較 ..... 12-17
表 12.4.2 西側エリアの対策の比較 ..... 12-18
表 12.4.3 Pte. aux Sableにおける提案する短期対策・概算工事費 ..... 12-22
表 13.2.1 Grand Sableにおける海岸の現況 ..... 13-3
表 13.3.1 物理的実証事業対象地における海岸保全対策基本計画（案） ..... 13-5
表 13.3.2 設計条件 ..... 13-8
表 14.2.1 Albion(Cliff)の海岸特性と課題 ..... 14-2

# 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 | 枝状ミドリイシ |
| 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 |
| MMS | Mauritius Meteorological Services | 気象庁 |
| MLG | Ministry of Local Government & Outer Islands | 自治省 |
| 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/民間公益国体 |
| $NH_4$-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 |
|---|---|---|
| $NO_2$-N | Nitrite Nitrogen | 亜硝酸態窒素 |
| $NO_3$-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 |
| $PO_4$-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 |
| SO4 | 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 Colifrom | 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 | トレーラーサクションホッパー浚渫船 |
| TSS | Total Suspended Solid | 総浮遊物質量 |
| 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 1

*Baie de Tombeau*

# 1 Baie du Tombeau

## 1.1 概要

海岸は本島の北西に位置し、サイクロンによる北からの波を受ける。海岸は延長5km、凸型で、南側は前面に延長4km、幅500m程度のサンゴ礁が広がり、北側の延長1kmはサンゴ礁の無い岩礁及び崖となっている。海岸の北端ではTombeau川が流入し、砂浜海岸を形成している。また、海岸に沿って住宅地、別荘、ホテル、公共海浜公園が位置している。

古くは侵食された時期があったが、現在はほぼ安定している。南側ではラグーン内2か所で砂州が形成され、海浜は堆積している。直立護岸の損傷や樹木の倒壊が生じているが限定的である。また、北側の公共海浜公園へ通じる歩道に架かる橋の橋台が損傷し、利用するにあたって危険な状態にあったが最近撤去された。このため、公共海浜公園へのアクセスが不便な状況にある。

## 1.2 現況把握

### 1.2.1 海象特性

海岸は北西に面していることから、主要な波はサイクロンにより発生する波である。大潮時の潮位範囲はポートルイスの観測から0.5mと推定される。なお、ラグーン内の水位は、潮位に加え高潮と波によるセットアップを考慮しなければならない。

### 1.2.2 海岸状況

海岸は図 1.2.1に示すように、凸型の溶岩台地の基部に、サンゴ砂や塊で構成されており、その前面に幅約500mのラグーンが位置している。海岸の両側にはTerre RougeとTombeauの2河川が流入しているために、その沖ではサンゴ礁は発達していない。

北側のTombeau川の河口Le Gouletでは、サンゴ砂、崖の崩壊、河川からの流出土砂により形成された砂浜及び河口砂州が存在する。

南側の海岸では海浜の変動域に直立護岸が設置され、図 1.2.2の写真Cに示すように時間とともに、サイクロンや嵐により倒壊している。残骸が海浜の散乱し、その前面の砂浜が失われている。

また、Loretto学園の借地の前では、図 1.2.2の写真Dに示すように、海浜の変動域で樹木(Badamier)の根が波に洗われて露出しており、樹木の上部を支えることが困難な状況にある。これはまた、海浜の砂や礫の堆積に支障をきたしている。

図 1.2.1 Baie du Tombeau の海岸と写真撮影位置

写真 A 北側の Le Goulet 河口と海浜公園
(2012 年 6 月 3 日)

写真 B 北側 Le Goulet 河口の歩道橋
(2012 年 6 月 3 日)

写真 C 直立護岸の倒壊 (2012 年 6 月 3 日)

写真 D 波で洗われている樹木の根(2012 年 6 月 3 日)

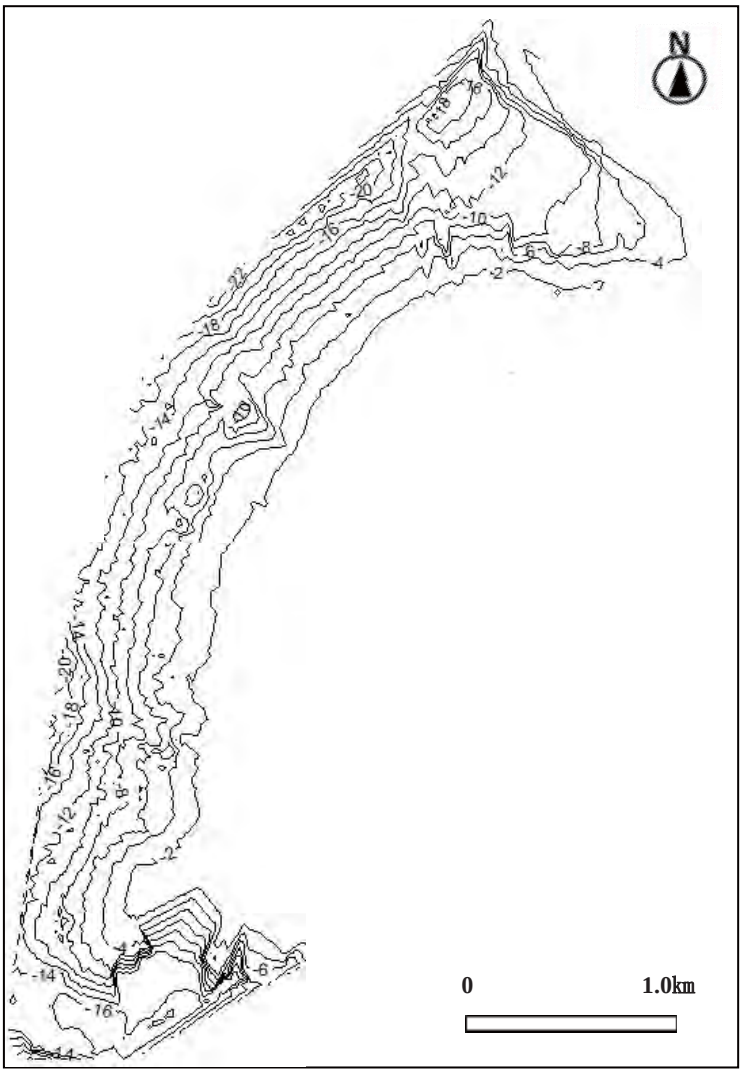
写真 E 南側の地盤が低い堆積域 (2014 年 7 月 16 日)

写真 F 南側の海浜前面での泊地利用 (2014 年 7 月 16 日)

出典：JICA 調査団

図 1.2.2 Baie du Tombeau の海岸状況

海底地形は、MOIにより測量されており、そのデータを基に深浅図を作成すると、図 1.2.3に示すような結果となる。ラグーン内では地盤高は平均海面以下2m以下であり、大きな変化は見られない。サンゴ礁沖の海底勾配は-20mまで、約1/30となっている。




出典：MOI のデータを基に JICA 調査団が作成

図 1.2.3 Baie du Tombeau の深浅図

### 1.2.3 リーフ環境

サンゴの被度は図 1.2.4に示すように60%と高く、サンゴ礁評価基準では良好とされる。稚サンゴ*Acropora*の加入はゼロであるが、パッチリーフが広がり、枝状サンゴ*Acropora*に混じり大型の塊状サンゴ*Porites*が多い。サンゴの種類は多様性に富む。パッチリーフの間には枝状サンゴ*Acropora*の遺骸が堆積している。透視度は10m、シルト分の堆積は少ない。サンゴの被度は高いが、サンゴの病気が多く発生しているため、今後はサンゴの病気に留意する必要がある。対岸のLe Gouletではサンゴの被度は塊状サンゴを中心に15%であるが、シルト分の堆積がひどく、サンゴの群体の一部が死んでいることが多い。1996年の航空写真及びその解析結果によると、少なくともラグーンの北半分はバックリーフが存在し、岸礁のサンゴは大部分が生存していたと思われる。しかし、近年において広範囲にわたり、顕著に被度が減少したと推察される。

出典：JICA 調査団

図 1.2.4 Baie du Tombeau 及び Le Goulet でのサンゴの状況

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表1.2.1に示す。AFRCによるモニタリング結果によると、2001～2003年頃は、$NO_3$と$PO_4$は0.2mg/L、CODは2mg/Lを超えるかなり高い濃度が検出されていることから、水質は悪化していたと考えられる。現在このような高い濃度は検出されなくなったが、海岸付近のクロロフィルaは、1.74 ug/Lと高く、サンゴの生息として適さないレベル（サンゴ被度：10%以下）であり、富栄養化が著しい。当海岸は、人口密集地（1,964人/$km^2$）であり、下水道はほぼ整備されており、吸収ピット（AP:Absorption Pit）や浄化槽(ST:Septic Tank)を有する家庭も相当数ある。富栄養化の要因としては、下水道に接続していない民家からの汚水の影響が考えられる。

表 1.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 1.74(*) | | | | |
| | Turbidity (NTU) | - | | | | |
| | $NO_3$-N (mg/L) | - | | | | |
| | $PO_4$-P (mg/L) | - | | | | |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | 1,964 | | | | |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Sewerage Systems (Trunk Sewer), Absorption Pit, Septic Tank, | | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Baie. du Tombeau VCA:<br>SS: 3422, AP: 414, ST: 82 | | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants.<br>Restaurant uses septic tanks. | | | | |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | Sewerage Systems Completed in Year 2010. | | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | Yes. River Mouth.<br>Reef Dist. 1.7 Km | | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | Yes.<br>Area: 118 Ha | | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) | |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 | |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

*:水質調査は、海岸近くで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA Study Team

ラグーンモニタリング報告(2014年)によると、この地区の下水処理状況は次のとおりである。村落は住民13,616名、家屋数3,752戸と推定(2012年中央統計事務所CSO資料)される。海岸に沿って別荘、繊維工場6工場、3つの小さなホテル、すなわち、Corotel (Belle Rive Hotel:21室)、Les Cocotiers (48室)、Pension Arc en Ciel (25 室)、合計94室(2010年輸出加工区EPZ資料)が存在する。

Port Louis と Roche Boisからの工場排水も含め、未処理の下水が2001年末まで、Portico近くのMer Rougeで、汀線から約1m沖の放水口から排水されていた。

新しい下水放水口がBaie du Tombeauにおいて2002年2月から運転を開始した。これは、Port Louis North、Fanfaron、Plaine Verte、Abercrombie、Cite la Cure、Cite Roche Bois、Cite Mer Rouge、Cite Ste Croix、Camp Florida and Camp Florida NHDC、Morcellement Coprim、Morcellement Cocheyle、Morcellement Swan、Elizabeth Ville、Morcellement La Concorde、Riche Terre Industrial Zoneと Baie du Tombeauの海岸道路からの排水に対応している。

2010年12月には、3,752戸の内、3,145戸が下水に接続された。2011年には、接続される家屋は無かった。2012年にはBaie du Tombeauで20戸、2013年には19戸で合計3,184戸が接続されている。

海への放水口へ放流以前は、この地域ではBaie du Tombeauの下水処理場での一次処理のみが行われていた。海へは、サンゴ礁をこえて、水深35m、サンゴ礁から950m、Pointe Roche Noiresにおける高潮位汀線から1,407m沖に排水を放流している。(排水処理庁2003年)

Baie du Tombeauにおいては、Rivulet Terre Rouge (BTB1)とNassau Bay (BTB2)を除いて水質の一般的な改善がされてきた。これらの地区では2009年に比較し、全大腸菌と糞便大腸菌が2010年と2013年に高い頻度で観測された。BTB1はRivulet Terre Rougeの河口、BTB2はRivulet Terre Rougeの河口から約100m離れたNassau Bayに位置しており、両地点とも豪雨に続く汚染された洪水流出の影響を受けている。

Rivulet Terre Rouge流域の家庭からの排水は、資金の利用の可能性によるが、2017年から開始するフェーズ3の下水事業により処理される予定であり、このプロジェクトでは少なくともRivulet Terre Rouge流域のすべての家庭を含めるよう配慮している。

### 1.2.4 海岸利用

海浜は砂混じり礫浜で、海浜の利用はそれほど盛んではない。この海岸の唯一の海浜公園はLe Goulletの河口に位置し主に周辺住民に利用されているが、Baie du Tombeau以外の海岸は、借地か私有地が隣接している。

沖では、砂州が形成されてその背後が静穏域となっていることから、漁船やレジャーボートの泊地として利用されている。また、海岸沿いの道路と海浜の間に別荘やホテルが存在している。北側の台地では、現在住宅、事務所等を含む開発が行われており、将来の海浜利用が盛んになる可能性がある。

海岸の現況と課題を表 1.2.2にまとめて示す。

表 1.2.2 Baie du Tombeauの海岸特性と課題

| 基礎調査番号 | | No. 1 (Sediment Cell No.1) | PB番号 | No. 1 |
|---|---|---|---|---|
| 海岸名称 | | Baie du Tombeau (Lorrette)、Le Goulet | | |
| 自然・地形特性 | 海象条件 | サイクロンの波が北から来襲する場所に位置する。 | | |
| | 地形条件 | 幅500m程度のラグーンがある凸型海岸であり、西側の大部分は礫浜、北側は砂浜で構成されている。 | | |
| 環境特性 | サンゴ礁 | 海岸近くのサンゴ被度は60%程度である。AFRCによるモニタリング結果によると、リーフエッジ周辺のサンゴ被度は2000年～2010年にかけて減少傾向にある。 | | |
| | 水質特性 | 透明度は約10m、シルテーションは低い。AFRCのモニタリング結果によると、2001～2003年にかけてCOD、$PO_4$-P は悪化したが、現在は比較的良好である。 | | |
| 海岸変形特性 | 災害・構造物 | 一部護岸が被災し、樹木が倒壊している。侵食が直接の原因ではなく、借地者（個人）がバッファゾーンを確保しないで利用したことが原因と考えられる。<br>北側、Le Gouletと結ぶ歩道橋があったが、2013年の洪水で橋台が損傷し、現在では撤去されている。 | | |
| | 海岸変形 | 航空写真による地形判読結果によれば、侵食は北側で最大0.1m/year程度で、南側では0.3m/yearの汀線の前進となっており、大規模な侵食は見られない。しかし、北側の海浜公園（Le Goulet）と、海岸を結ぶ河口を横断する歩道橋の基礎が露出、倒壊している。また、河口砂州の変動がある。 | | |
| 海岸利用特性 | 海浜利用 | 海岸に沿って道路が走り、海岸と道路の間にはホテル、別荘などが存在している。<br>北側、Le Gouletに公共海浜公園があるが砂浜の利用頻度は高くない。背後には小規模な別荘地がある。 | | |
| 評価 | | 侵食速度は小さく、サンゴ礁環境は良好である。背後地の開発計画が進められていることから、現在の環境を保持する管理が重要である。また、海岸侵食対策よりも、土地利用管理、樹木管理、河口処理などの個別対策も求められる。 | | |

出典：JICA 調査団

## 1.3 海浜変形と漂砂特性

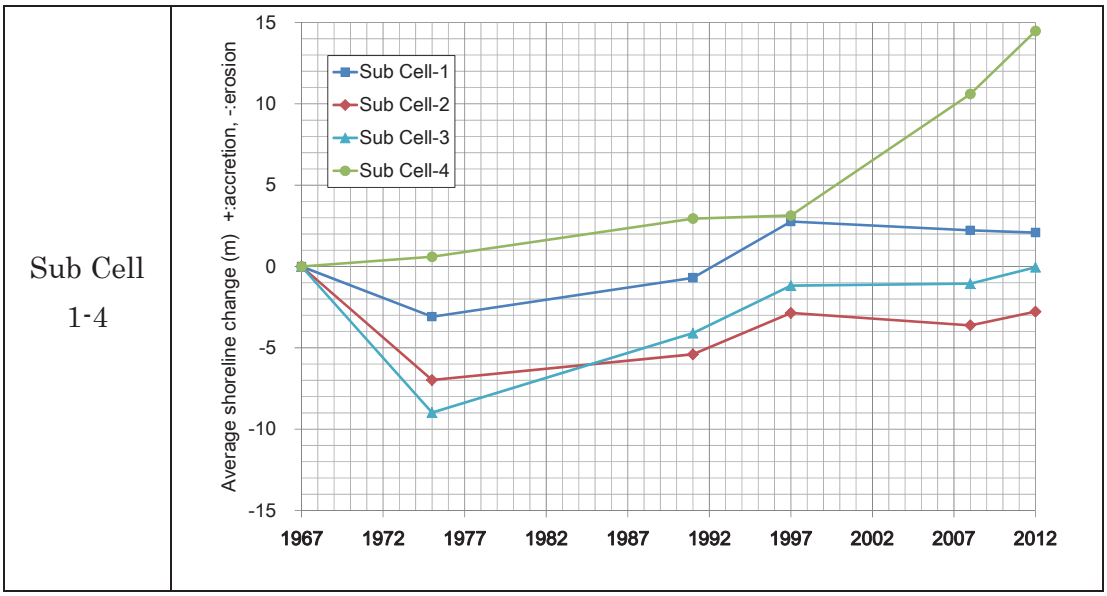
### 1.3.1 海浜変形

海岸線の変化を、サブセルに分割して航空写真より検討した範囲と侵食堆積の状況を図 1.2.5に示す。長期的変化は、北側のサブセルNo.1では安定、サブセルNo.2では侵食、サブセルNo.3は安定、南側のNo.4では堆積となっている。

各サブセルでの時系列変化を図 1.3.1に示した。変化については、No.1サブセルを除き1967年から1975年にかけて侵食されているが、それ以後は全体として堆積の傾向にある。サブセルのNo.2では、まだ侵食の状況にあるが、その規模は大きくはない。南に位置するサブセルNo.4では15mの前進が、特に1997年以来10mの前進が確認される。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

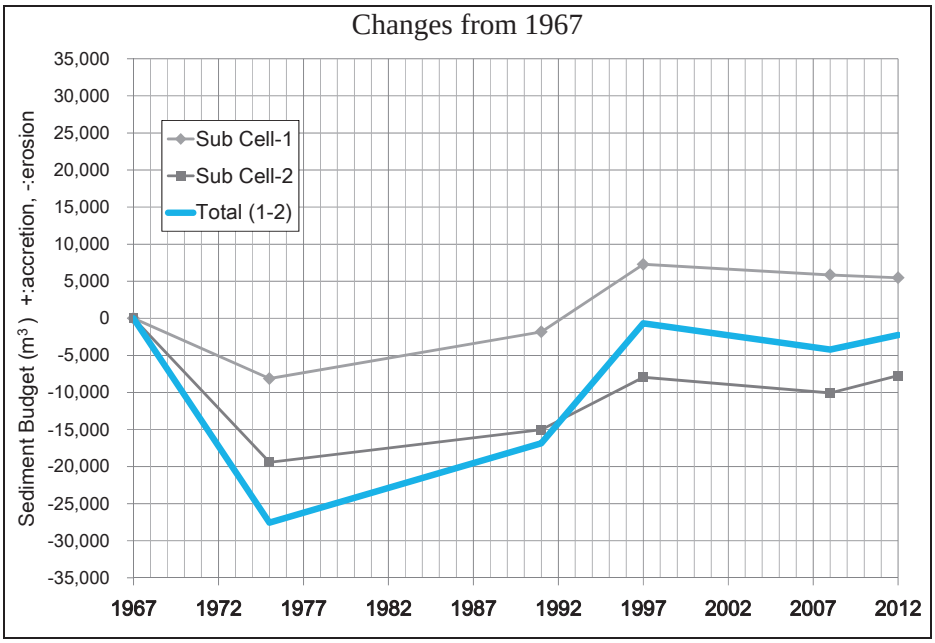
図 1.2.5 Baie du Tombeau の検討範囲




出典：JICA 調査団

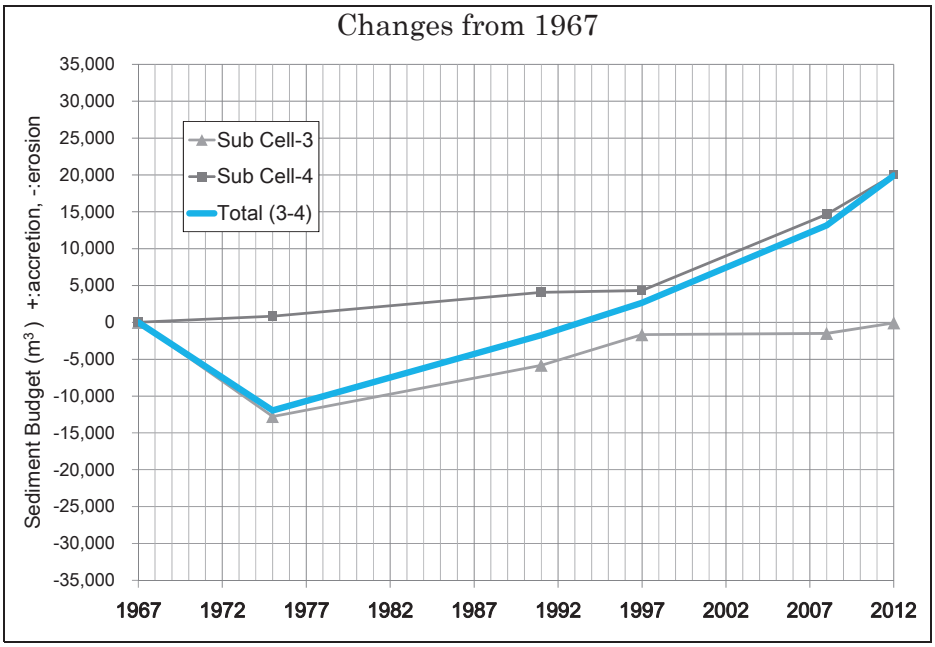
図 1.3.1 Baie du Tombeau における海岸線の変化

海岸の各サブセルの土砂収支を図 1.3.2と図 1.3.3に示す。この海岸は全体として堆積傾向にあり、その量は1967年以来、約2万$m^3$に達している。サブセルNo.1、No.2、No.3の変化はそれほど多くないが、No.4での堆積量が多い。




出典：JICA 調査団

図 1.3.2 土砂収支 (Sediment Cell No.1, Sub Cell-1-2)




出典：JICA 調査団

図 1.3.3 土砂収支 (Sediment Cell No.1, Sub Cell-3-4)

### 1.3.2 漂砂特性

海浜はサンゴ塊や砂で構成されている。これは、サンゴ礁縁端で高波浪により生産され、海浜流により岸側に輸送されて海浜に堆積するとともに、沿岸方向に運ばれるものと考えられる。サンゴ塊は波と潮の流れがなければ輸送されないことから、その一部はラグーン内に堆積する場合が見られる。ここでも、1991年以降、サンゴ塊がラグーンに南側2か所で堆積し、砂州が形成され、それが拡大している。また、その背後、岸側では波浪や潮の流れの減衰が生じ、海浜の砂が堆積しやすくなっている。

海岸の南側のラグーン内砂州の最近の形成状況を図 1.3.4に示す。当図より沖から供給されたサンゴ塊が岸に向かって輸送され、砂洲の面積を増加させていることが確認できる。1991年にはほとんど存在しなかったものが、2011年には面積で2万6千$m^2$にまで増加している。堆積厚を2mと仮定すると、その量は約5万$m^3$に達する。

砂州が防波堤の様な働きをして波を砕けさせ、それが岸側の汀線付近での堆積を導いている。堆積域の両側では侵食をもたらしているが、その量は多くはない。

2003年: 砂州面積10,000 $m^2$

2006年: 砂州面積12,600 $m^2$

2008年: 砂州面積22,800 $m^2$

2011年: 砂州面積26,100 $m^2$

出典：JICA 調査団

**図 1.3.4 ラグーン内の砂州の変遷と堆積面積**

面積が増加した砂洲はサンゴ塊から出来ていることから、サンゴ塊を海岸の養浜や直立護岸前面の洗掘防止として活用することが出来ると考えられる。その際、採取量は堆積量以下、形状は現状を維持するようモニタリングし、事前の採取に伴う環境への影響を評価する必要がある。砂州は海岸漂砂の安定に寄与しているが、その形状が変化する場合においては、海浜の堆積、侵食をもたらす。また、採取に伴いラグーン内の生態系に影響を与える可能性がある。ラグーン内のサンゴ塊は貴重な資源であり、持続可能性を考慮して活用する必要がある。

当海岸の北側、Le Gouletにおいては Tombeau川が流入しており、河川の流出土砂および周辺の海岸から供給される鉱物質の砂が堆積している。洪水と波の影響により河口周辺では砂州形状が大きく変動している。河口にBaie du Tombeau とLe Gouletの海浜公園を結ぶ歩道橋があったが、2013年の洪水によりその橋台が洗掘を受けて流出した。歩行に危険なために、現在岸と接続する橋の両端部を取り壊し、その後撤去され、現在では通行できない。このため、Baie du Tombeauから海浜公園へのアクセスに支障が生じている。

2003年8月　河口及び海浜の状況

2012年5月　洪水後の河口変動

2012年7月　洪水後の河口砂州の回復

2013年3月　洪水による落橋

出典：JICA 調査団

図 1.3.5 Le Goulet における河口砂州と海浜の変動、2013 年 3 月に歩道橋橋台が損傷

## 1.4 海岸保全対策

### 1.4.1 概要

海岸侵食に関しては、海岸全体としては堆積しており、部分的な侵食は生じているがその規模はそれほど大きくない。短期的には海岸の一部で越波による護岸や樹木の倒壊がある。また、北側に位置する公共海浜公園へのアクセスとなっているLe Gouletを結ぶ歩道橋が2013年3月の洪水により倒壊している。したがって、これらの問題に関しては短期的、部分的に対応することが適当と考えられる。

これまでの状況が継続する場合には、南側海岸でのラグーン内の砂州の形成とそれに伴う波の遮蔽域での海浜の堆積と周辺の侵食が生じると考えられる。砂州の形成は全体としては堆積をもたらすが、一部では侵食となる可能性がある。この変動量に関しては、現時点では30mのセットバックの範囲内に入っており、大きな問題とはならないと考えられる。

サンゴ礁の北端では透視度は10m、サンゴの被度は60%であったが、中央から南にかけては透明度が悪く、全般的にラグーン内はシルト分の堆積も多いと予想される。1994年から1996年にはラグーンの北半分では海草またはサンゴが生息していたが、現在はその分布域はかなり減少している。これにより、将来、海浜へのサンゴ砂の供給と波浪減衰効果が低減する可能性がある。

将来の気候変動の影響に関しては、サンゴの劣化による海浜への供給砂量の減少と、それに伴う侵食が想定される。サンゴの劣化が直ちに侵食に結びつくとは考えられないが、長期的には影響が現れる。海面上昇やサイクロンの強度の増加による越波の問題に関しては、背後に台地を控えていることから、特に地盤の低い個所を除いては問題とはならない。ただ、現在地形に関する精度の良い地図が無いこと、及び地盤の低い地域を特定することが困難であることから、早急に精度の高い地図を整備してリスクマップを完成させ、土地利用の規制等を進める必要がある。

### 1.4.2　短期対策

短期的には海岸全体としては問題が少なく、一部の海岸の問題であるので、個別に対応するのが適切である。護岸の倒壊に関しては、直立護岸は前面に洗掘が生じやすいことから、緩傾斜護岸にするか、前面に根固めを設置する。樹木の倒壊に関しては、大きくなりすぎたか老齢化により根が本体を支えきれなくなった場合、切り倒すこととする。これは借地人が実施することになると考えられる。

当海岸におけるリーフ環境に関する短期的対策としては、富栄養化状態を詳細に把握するための分析精度の高い水質モニタリング調査を実施する必要がある。初めにサンゴ礁と海草の保全に関連した人間活動の影響を調査すべきである。また、サンゴ礁の水質に関する新たな調査結果を評価して、既存のガイドラインと規制を改定すべきである。これはMoFが実施することになると考えられる。

ラグーン内のサンゴ及び海草に関しては、影響の程度を調査し、地引網等の活動を制限し、規制を行う必要がある。これはMOESDDBMのICZMとしての調整のもと、関係機関がそれぞれ分担して実施することになると考えられる。

Le Goulet河口の橋梁に関しては、状況を見ると施設の計画自体が不適当であったと考えられる。すなわち、河口では波に作用及び河川の洪水により地形が大きく変動する。このため、橋梁の橋台はその影響を受けない位置に設けるのが基本である。また、これが出来ない場合には、洪水や波浪の作用に対して安全なものとする必要がある。

損傷を受けた既設の橋梁を見ると、橋台の位置が地形の変動範囲内にあり、その規模が大きく、洪水の時には周辺の洗掘と流れによる力を受ける状況にあった。このために橋台が損傷したものと考えられる。一般に洗掘は構造物と幅と同じ規模となり、実際に橋台の幅は5m程度であったことから、このような洗掘が生じると倒壊せざるを得なかった。したがって、新たに造る橋台の位置は、海浜の変動域を避ける必要がある。これはBAが実施することになると考えられる。

対策として、導流堤を設けて洪水の流れを制約することが提案されているが、川幅を十分広く取らなければ、洪水により導流堤自体が洗掘により倒壊すること、導流堤は漂砂の移動を阻害し、周辺海岸に侵食や堆積の影響を与えることから、適切でないと考えられる。河口では種々の現象が重なり、また各種の機能を有していることから、十分な調査と検討が必要である。

この海岸の前面にサンゴ礁が存在しないのは、Tombeau川からの淡水流出が主に影響していると考えられる。河口の砂州はその上流側に湿地を形成し、そこでのシルト分の沈殿は河口周辺のサンゴの生育に寄与すると考えられる。河口で船を航行させるなどのために広げるとこの機能が失われ、サンゴの生育を阻害する。したがって、河口改良のための施設を建設するときは、EIAを実施し、影響が無いようにする必要がある。

Le Goulletの海浜公園の排水に関して議論になったが、排水経路の視点は海浜公園背後の台地からの排水であることから、排水に係る地域全体の地形を測量し、滑らかに海岸まで水路を導くことで河口閉塞の問題は生じないと考えられる。

### 1.4.3　長期対策

中長期的対策の検討のためには、短期対策としてのラグーン内の砂州の変化状況と関連する海浜変形の関係やサンゴの状況をまずモニタリングすることが求められる。現状が継続すれば南の海岸では堆積が進むが、堆積する砂の高さは十分高くなく、将来海面上昇と異常波浪が来襲すれば越波の問題が生じる。したがって、現在のセットバック範囲を守り、低地での構造物

の建設を規制する必要がある。海浜やHWLが沖へ移動しても、構造物の高さが低ければ越波や浸水の問題を生じる可能性がある。

モニタリングはヘリコプターを用いた航空写真により行い、これらの状況をデジタイズしてGISデータとし、解析を行う。その際に特に着目すべき項目としては、(1)海岸線の変化、(2)ラグーン内の砂州の変化、(3)ラグーン内のサンゴ、海草の変化、(4)海岸域の構造物の建設である。

モニタリング結果を活用して、海岸域の管理を行う。その際に注目すべき項目としては、(1)セットバック内の構造物の規制、(2)沖の砂州の消長によるセットバック量の設定、(3)サンゴ、海草の変化に基づく移植等の対策がある。また、底質に細かい砂が少なく、濁りの発生が抑えられていることから、他の海岸でのサンゴ移植の種を採取できる可能性があり、この点に関しての検討を進める。

現在、水質環境がそれほど悪化しておらず、サンゴの被覆度も高いことから、モニタリング結果によっては、サンゴの移植も可能と考えられる。このためには、背後地の開発による水質汚濁が発生しないよう規制が必要である。また、Le Gouletからの洪水流出による濁りの発生が影響を与える可能性があり、河口部の開発により土砂の沈殿効果が減少しないようにする必要がある。

モニタリングの実施はICZMの観点からMOESDDBMが実施するのが適当であり、その資料を広く公開し、MoF、MOI、大学等がそれぞれの役割に応じて解析を行い、対策に関してはMOESDDBMのICZMコミッティー等で協議し、関係機関がそれぞれの担当項目を実施する。その際に住民の意見も含めて検討を行う。これらは継続的な活動とする。

リーフ環境に関する中長期対策として、水質モニタリング結果により富栄養化の状況が明らかになった場合には、下水道に接続していない民家等に対して下水道の接続を促進させること等が求められる。

## 1.5 海岸管理計画

### 1.5.1 維持管理計画

以下の項目に関しては、当該海岸の海岸維持管理計画として考慮すべきである。

- セットバック域での施設建設のモニタリングは、海岸への影響および災害リスクを低減するために必要である。
- 海岸のサンゴ片や礫片は取り除いてはならない。
- 海岸の変動域には、砂を保持するために砂草やつる草などを植える。
- 直立護岸前面の波による影響を低減するため、礫を活用することが可能である。
- ラグーンでの漁業活動（地引き網漁）を規制する。

### 1.5.2 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の侵長期的侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量に海面上昇による侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）+ 海面上昇による侵食量となる。

海面上昇に伴う侵食の機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると、侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

期間を50年、長期的海岸侵食量をこの海岸の0.1m/年、一時的侵食量としてサイクロンCarolによる最大値13mを採用すると、以下のように必要なセットバック量は20mとなる。(Vol.1 Ch.2参照) これは、設定されている現在のセットバック量30m以下である。

セットバック量=0.1*50+13+2=20m

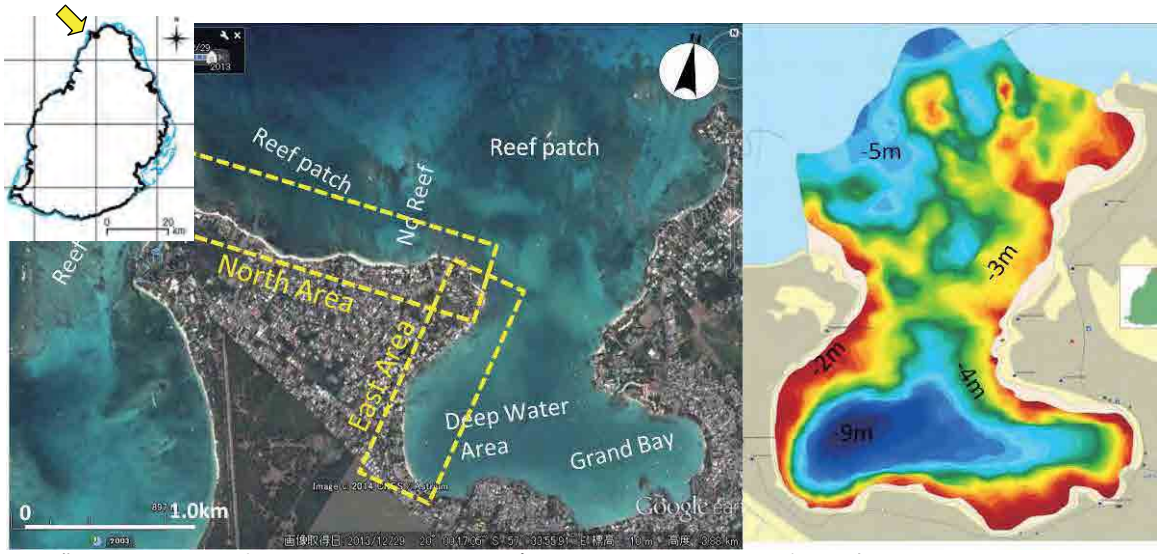
# Chapter 2

*Pte. aux Cannoniers*

# 2 Pte. aux Cannoniers

## 2.1 海岸概況

Pte. aux Cannoniers海岸は、北側に面した約2kmの東西方向の海岸線をもつエリア（北側エリア）、およびGrand Baie内に属する約1.4kmの南北方向の海岸線をもつエリア（東側エリア）の2つに分けられる（図 2.1.1）。




出典：Google マップおよび MOI からの入手データをベースに JICA 調査団で加工

図 2.1.1 Pte. aux Cannoniers 海岸

### a. 北側エリア

北側エリアの西側付近では、Mon Choisyから連続するサンゴ礁池が存在し、その幅は300m程度であるが急激に減少しており、消滅が懸念される。ただし沖にはサンゴ礁が存在している。一方Grand Baie湾口付近の東側ではサンゴ礁が無く、他のエリアに比べて水深が深くなっている。当エリアの西端付近はホテルエリアであるが、それ以外は主に住宅や別荘等の借地エリアとして利用されている。なお当海岸域の借地エリアは、グレードの異なる5段階のカテゴリー分けられ、その中でも最も高い、高級借地エリアとしての位置付けとなる。北側エリアにおける公共海浜公園は、西側の限られた1箇所のみに限られる。サンゴ起源の白砂海岸であるが、所々に見られる岩礁帯や沖のリーフ地形の影響により、海岸線は一様ではない。

### b. 東側エリア

東側エリアはGrand Baieの湾内に属し、北側付近に岩礁域が見られるが、湾奥に行くにしたがって岩礁域はほとんど見られなくなり、砂浜海岸となる。図 2.1.1の深浅図に示すように、湾内は湾口よりも水深が深く、特に湾の西側で深い水深エリアが広がる。当エリアは小規模なホテル、別荘および住宅等の借地エリアとして利用されている。なお、砂浜は南端の突堤を境に消滅し、湾奥部の海岸には砂浜は存在しない。

## 2.2 現況把握

### 2.2.1 現地踏査による現状把握

図 2.2.1に示す位置から、2014年5月に撮影された北側エリアの海岸写真を図 2.2.2に、東側エリアの写真を図 2.2.3に示す。

出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 2.2.1 撮影位置

**a. 北側エリア**

地点Aでの斜路を挟んだ両側の汀線変化、また地点B、Cでの岩礁付近の汀線形状より、西端から中央部付近にかけては東向きの沿岸漂砂であると推定される。地点B,Cあたりは比較的浜幅のある砂浜海岸が広がっている。海浜の砂はMon Choisy海岸と比べるとかなり粗く、多くのサンゴ塊が浜に打ち上がっている。またバーム高も高く、海浜勾配も1:5～1:7程度と急勾配である。このような海浜状況により、海岸付近の波は、Mon Choisy海岸と比べて相対的に高いと想定される。地点DおよびEでは直立護岸前面において砂浜は完全に消失している。東端に近い地点F付近では、岩礁や礫が目立つようになり、所々で砂止めを目的とした、各借地人による礫の集積が見られる。

**b. 東側エリア**

東側エリアは海岸状況から、Grand Baie湾口（北側）から湾奥（南）に向かう南向きの沿岸漂砂の存在が明らかである。北端付近は小規模なホテルが点在し（地点G,H）、各ホテルが個別に突堤を設置し、南向きの漂砂を止めることによるホテル前面の限られた範囲で砂浜を確保しようとしている。地点Iは、昨年公共海浜公園に新たに指定されたところであるが、前面に砂浜はなく、陸域の防護用の蛇籠が前面に設置されていたが、MOESDDBMにより蛇籠の外枠を取り除き、礫斜面とした。地点Jは、個人の住宅が立ち並ぶエリアであるが、海岸は砂浜がほとんどなく、当エリアの中でも最も海岸状況の悪い地点である。各借地者により、小規模な突堤や護岸等の対策が個別に行われ、南向きの沿岸漂砂のバランスが崩れ、その悪影響が南に伝播している。地点Kは南端の突堤の200m程手前であるが、このあたりから砂浜が現れ、南端突堤に向かって湾曲した海岸線を形成している。最南端の突堤地点である地点Lから先は、完全に砂浜は消失しており、この突堤が、当エリアに存在する南向き漂砂を完全に止めている最後の突堤である。

### 2.2.2 長期海岸変化および土砂収支

**a. 北側エリア**

図 2.2.4は、北側全体エリアにおける1967年と2008年の空中写真を示したものである。また、図 2.2.5は北側エリアの東に位置する侵食エリアについて拡大したものである。ここで1967年の汀線位置を青線で、2008年を赤線で示す。1967年から2012年までの6時期における各サブエリアの土砂収支および1967年からの土砂収支の総量変化を示したものが図 2.2.6である。土砂量への変換は、モーリシャスのサンゴ礁海岸における平均的な移動高として2.5mと設定し、地形判読結果から読み取った汀線変化量にこの移動高を乗じて算出した。これより、

- 東側の約200m区間（図 2.2.6のSub Cell-3）で顕著な汀線後退が生じており、45年間の汀線後退量は平均10m程度、最大18m程度である。図 2.2.6よりこの侵食は1975年から1997年の間で生じ、その後は大きな変化は見られない。これより、この間での大型サイクロンの襲来による高波浪が侵食要因の可能性として考えられる。

地点A（西端付近の斜路）

地点B

地点C

地点D（侵食域、東側を望む）

地点E（侵食域、西側を望む）

地点F（東端付近）

出典：JICA 調査団

図 2.2.2 Pte. aux Cannoniers 北側エリアの海岸状況（2014 年 5 月撮影）

地点G（小規模ホテル）

地点H（小規模ホテル）

地点I（公共海浜公園）

（蛇籠は既に2014年に撤去されている）

地点J（借地エリア）

地点K（南端突堤手前）

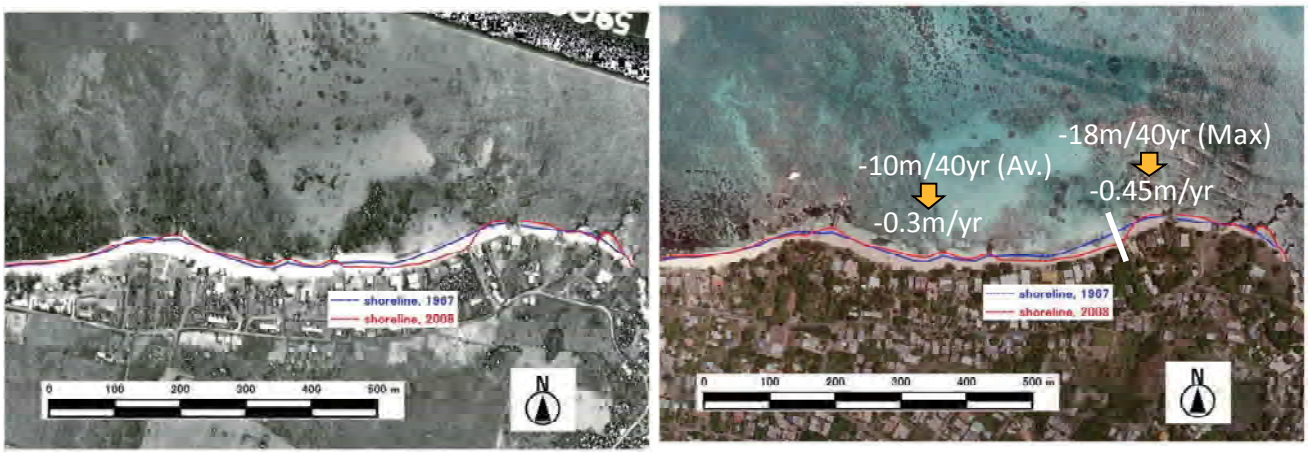
地点L（南端突堤から北を望む）

出典：JICA 調査団

図 2.2.3 Pte. aux Cannoniers 東側エリアの海岸状況（2014 年 5 月撮影）

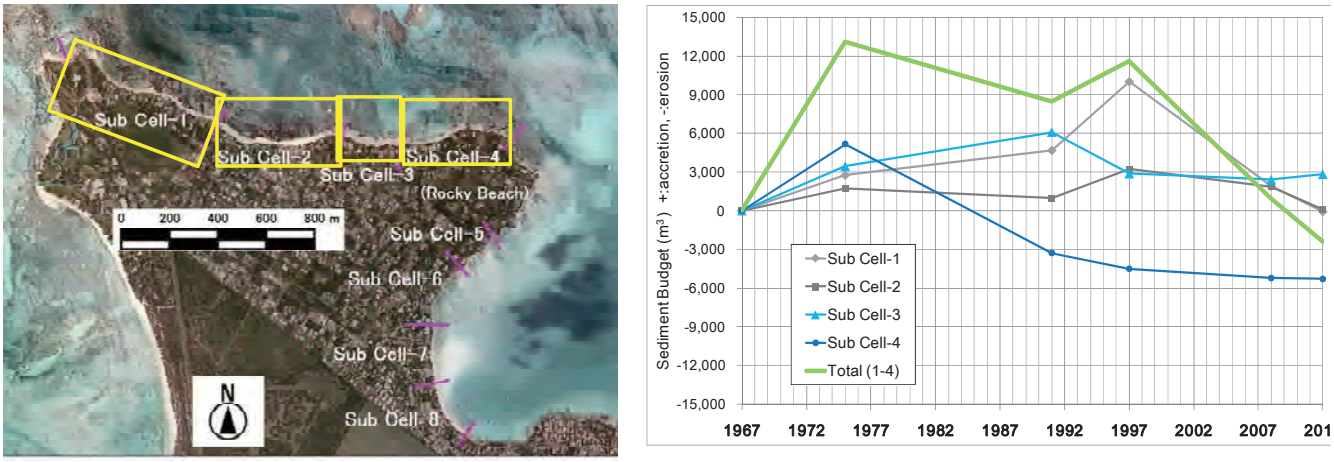
出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 2.2.4 空中写真の比較（北側全体エリア）（左:1967 年、右 2008 年）




出典：左) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、右)JICA 調査団

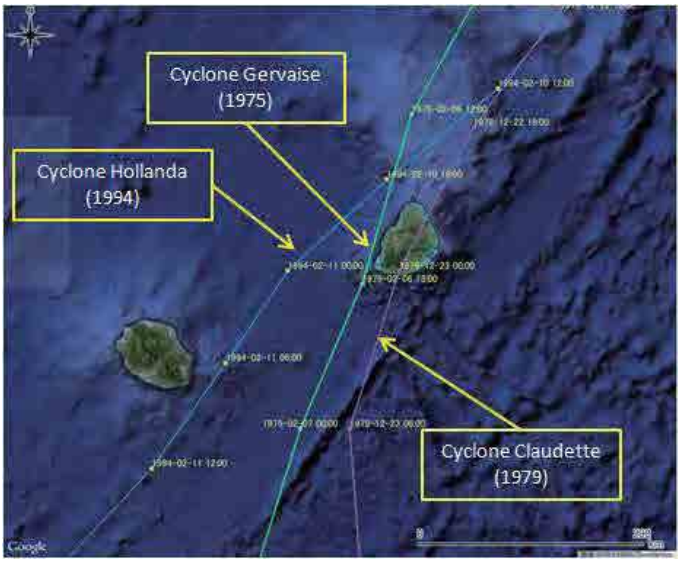
図 2.2.5 空中写真の比較（南側侵食エリア）（左:1967 年、右 2008 年）




出典：左) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、右)JICA 調査団

図 2.2.6 各エリアの土砂収支の比較

- 1975 年から 1997 年にかけて、モ国北部に高波浪をもたらしたと考えられる、大型サイクロンが襲来している。1975 年の Gervaise、1979 年の Claudette および 1994 年の Hollanda は、いずれも 10 年に 1 回程度の規模であった。これらのサイクロンは、図 2.2.7に示すようにモーリシャス本土を北からほぼ真っ直ぐ南に進んだため、特に北部海岸では高波浪が出現したと想定される。当海岸の北部の侵食エリアは前面にサンゴ礁が存在せず、他エリアに比べて波が直接海岸に進入したと考えられる。



出典：Joint Typhoon Warning Center

図 2.2.7 3 つのサイクロンの経路図

- 図 2.2.6より、この侵食域（Sub Cell-3）では 40 年間で約 5,000m$^3$ の土砂の減少が生じているが、顕著な減少が生じた 1975 年から 1991 年の間では、約 8,000m$^3$ の土砂損失となっている。一方他のエリアの土砂収支は安定していたが、西側の Sub Cell-1 では 1997 年以降、それ以前の増加傾向から一転して顕著な減少が生じている。1997 年から 2012 年までの減少量は約 10,000m$^3$ である。

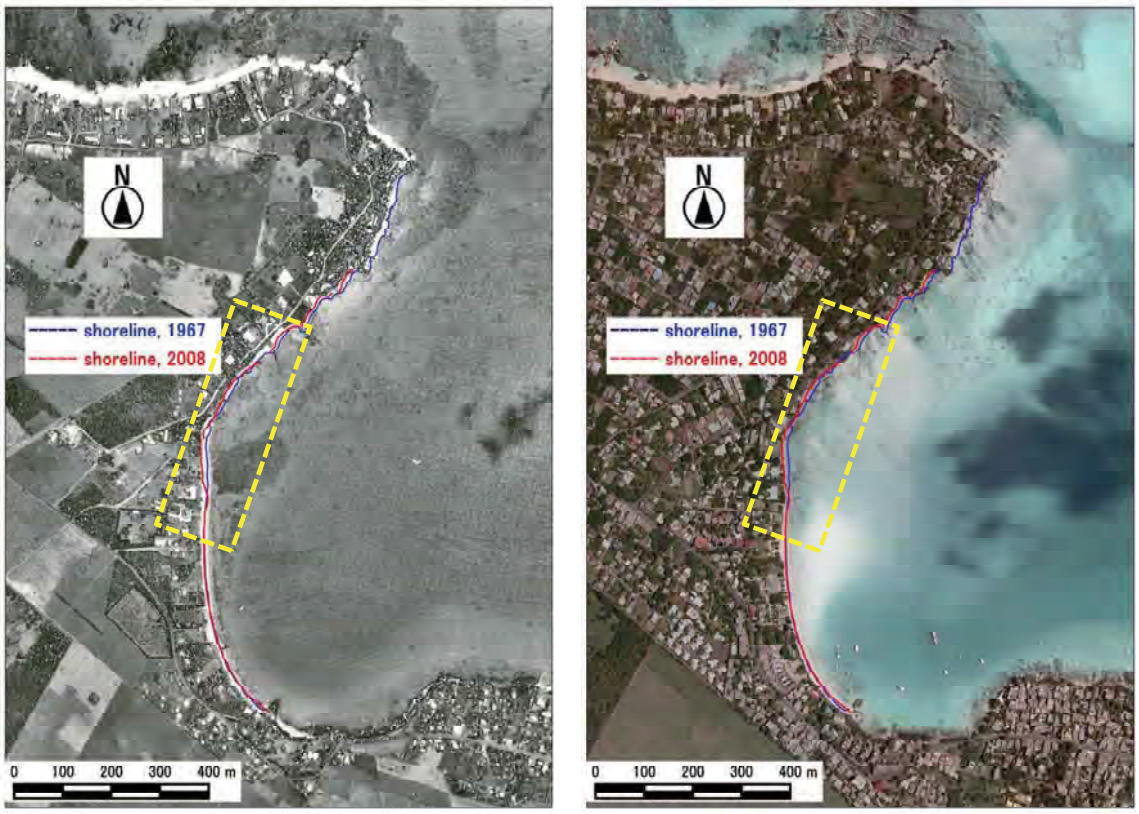
**b.　東側エリア**

東側エリア全体の1967年と2008年の空中写真の比較を示したものが図 2.2.8である。また、図 2.2.9は中央付近の最も侵食が顕著なエリアについて拡大したものである。ここで1967年の汀線位置を青線で、2008年を赤線で示す。1967年から2012年までの6時期における各サブエリアの土砂収支および1967年からの土砂収支の総量変化を示したものが図2.2.10である。これより、

- 北側の岩礁域では顕著な汀線変化は見られないが、中央部の湾曲部にかけて、顕著な汀線後退が生じている。最も侵食の顕著なエリアは図 2.2.10に示すSub Cell-6であり、ここでは45年間に最大で15mの汀線後退（0.3m/年）が生じた。このあたりでは既に砂浜のほとんどは消失し、最近10年間の変化は少ない。

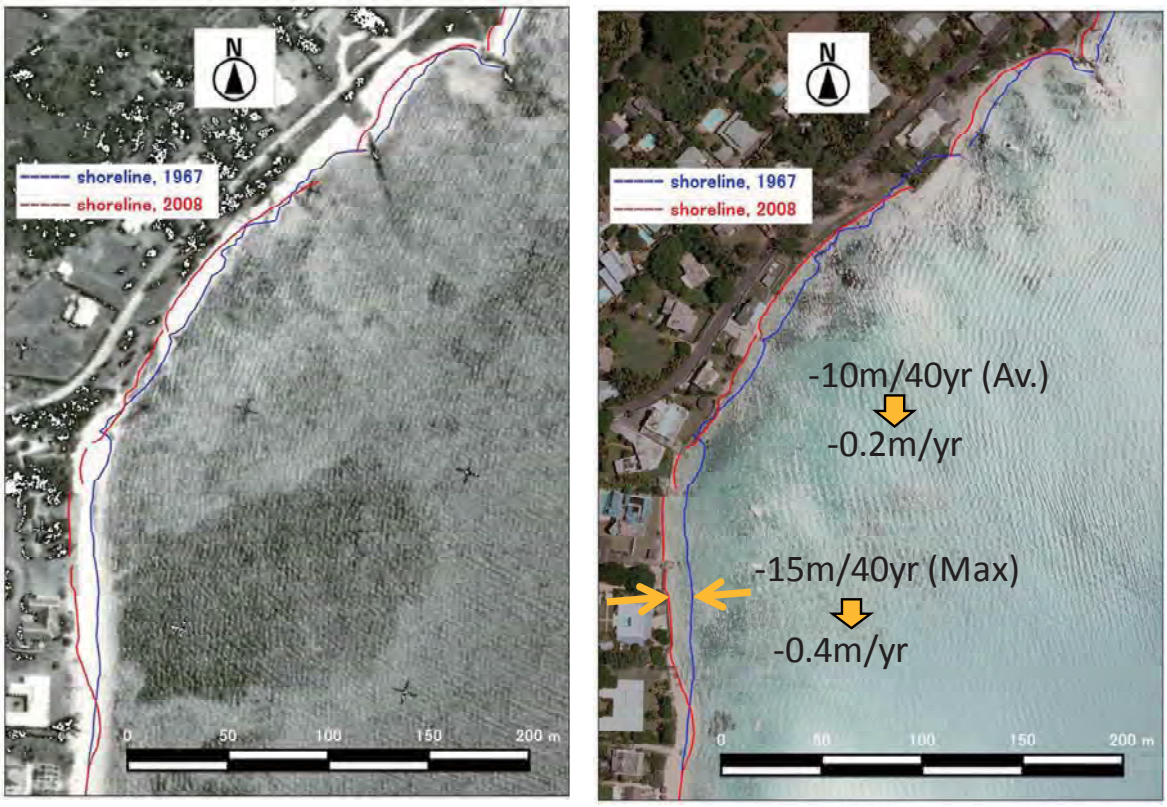
- 侵食域は徐々に南側に移動しつつあり、最近10年間では南側のSub Cell-7で侵食が進行しつつある。

- 図 2.2.10の土砂収支の変化より、Sub Cell-6で40年間に消失した土砂量は約5,000m$^3$（-125m$^3$/年）、東側エリア全体では約7,000m$^3$の土砂損失が生じたと見積もられた。



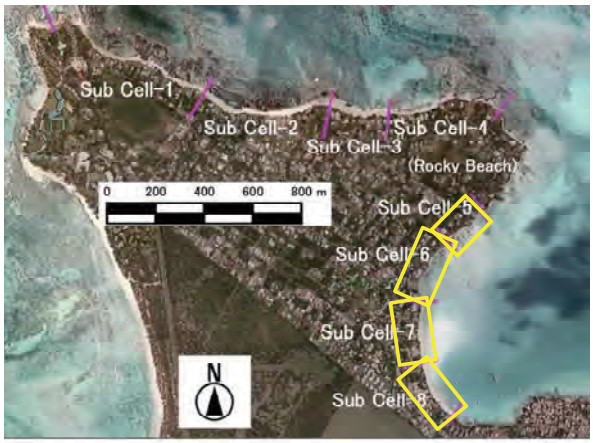

出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

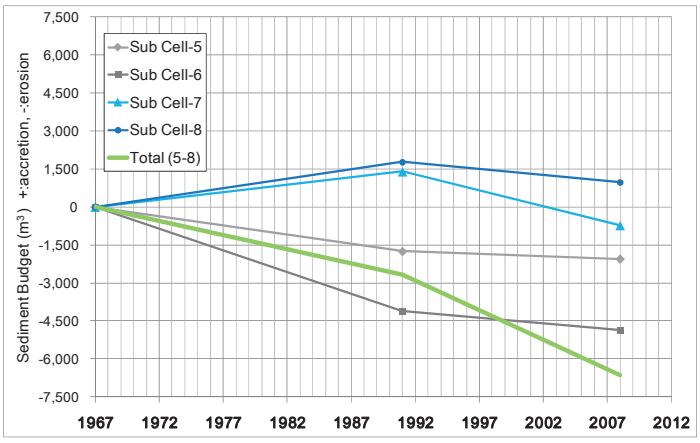
図 2.2.8 空中写真の比較（東側全体エリア）（左:1967 年、右 2008 年）




出典：左) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、右)JICA 調査団

図 2.2.9 空中写真の比較（東側侵食エリア）（左:1967 年、右 2008 年）




出典：左) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、右)JICA 調査団

図 2.2.10 各エリアの土砂収支の比較

### 2.2.3 短期海岸変化

当海岸は、本事業における継続的モニタリング海岸の対象外であり、海浜測量によるモニタリングは実施されていない。しかしながら、2012年の調査開始時からの定期的な海岸踏査結果からは、顕著な海岸線の変化、浜崖の新たな形成、等の変化は観察されていない。また長期的海岸変化からも、その変化量は例えば近隣のMon Choisy海岸と比べても極めて小さい。当海岸域は一様な連続した砂浜海岸ではなく、所々に存在する岩礁が漂砂のコントロールポイントとなっているため、他海岸に比べて変動量は小さいと考えられる。

### 2.2.4 海象、地形、底質、リーフ環境特性

#### a. 気象・海象

当海岸に襲来する高波浪は、Mon Choisyと同様、主には12月～3月のサイクロン襲来時に発生し、沖での卓越波向きとしてはW～NW方向と推定される。一方海岸に襲来する波浪は複雑なリーフ地形に大きく影響し、北側エリアでは場所的に波向は変化していると考えられる。また東側エリアはGrand Baieの湾内に属し、東端の岬の回折域となるため、波高は北側エリアに比べて数割程度に減少するとともに、沖からの伝播波の波向は、ほぼNE方向の一定になっていると想定される。なお東側エリアでは、湾内で発生する風波成分も漂砂移動に影響していると考えられる。

#### b. 地形・底質

上記で述べたように、北側エリアの海岸地形は複雑なリーフ地形の影響を受け、それに応答して汀線形状が一様となっていない。また、北側エリアおよび東側エリアの北端付近は所々に岩礁域が存在する。東側エリアの中央部から湾奥にかけて海岸線は湾曲し、砂浜海岸域となっている。

当海岸は白色系のサンゴ砂で構成されている。北側エリアの底質はMon Choisyと比べて粒径は粗く、サンゴ礫も多く打ち上がっている。また、バーム高も高く、前浜勾配も1:5～1:7程度と急勾配である。

一方東側エリアに存在する砂は細かく、前浜勾配も目視で1:10程度と緩い。

### c. リーフ環境・水質

北側エリアはリーフ幅も狭く、また沖合にサンゴ礁がないエリアも多いため、外海との海水交換性は他のサンゴ礁海岸と比べて高いと考えられる。しかしながら、2013年のスポット調査および2014年のグラスボートによる観察より、1996年の調査時には生きていた岸礁でも殆どが死滅し、被度はハナヤサイサンゴ属を中心に1%しか生息していないことが確認された。また、沖合の離礁ではハマサンゴ属を中心にサンゴの被度は30%程度であった。この被度は、モーリシャスの他のサンゴ礁海岸の平均的な被度（15%程度）に比べれば高い数値であるが1994年のAFRCの調査図や、1996年当時のサンゴの分布図と比べると面積的には減少している。海水交換性が高いにも関わらずこの20年間にサンゴの生息環境が悪化している。

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表 2.2.1に示す。海岸近くのクロロフィルa濃度は、0.86ug/Lと高く、サンゴの生息環境としてあまり適さないレベル（サンゴ被度として10～20%の範囲にある水質）である。北側エリアは、リーフ幅が狭く、直接外水が海岸に入り込むため、西側に位置するMon ChoisyやGrand Baieの湾内に位置する東側エリアに比べて高い透明度を保っている。しかしながら背後地では、近年急激な宅地開発に伴い、現在住宅密集エリアとなっているため、富栄養化が急激に進んでいる可能性が考えられる。特に、富栄養化の原因としては、下水道に接続していない、AP(Absorption pit)やST(Septic tank)を備えた家庭からの排水の影響が考えられる。東側エリアの水質は、湾内に属するため、透明度も悪く、衛星画像判読からも、以前からサンゴ礁および生息サンゴは見当たらない。ここでも近年の宅地開発に伴い、富栄養化が以前よりも進んでいる可能性がある。現在、Grand Baie 地区において、JICAによる下水道整備プロジェクトが2007年3月～2015年12月にかけて進行している。このプロジェクトは、下水道に接続していない地区を既設下水道に接続し、環境改善を図ることを目的としている。従って、Pte. aux Cannoniers近くの水質は、現在やや富栄養傾向にあるが、今後このプロジェクトにより改善されることが期待できると考えられる。

表 2.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions |
|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.86(*) |
| | Turbidity (NTU) | - |
| | $NO_3$-N (mg/L) | - |
| | $PO_4$-P (mg/L) | - |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | 794 |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Sewerage Systems (Trunk Sewer), Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Grand Baie VCA:<br>SS: 114, AP: 291,<br>ST: 974, PL: 8 |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants.<br>Restaurant uses septic tanks. |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | Sewerage System completed Phase 1 in Year 2010. |
| of pollution from sugarcan | Incidence of red-soil runoff from land side | None |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of | Yes.<br>Area: 678 Ha |

| | the field behind coast. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

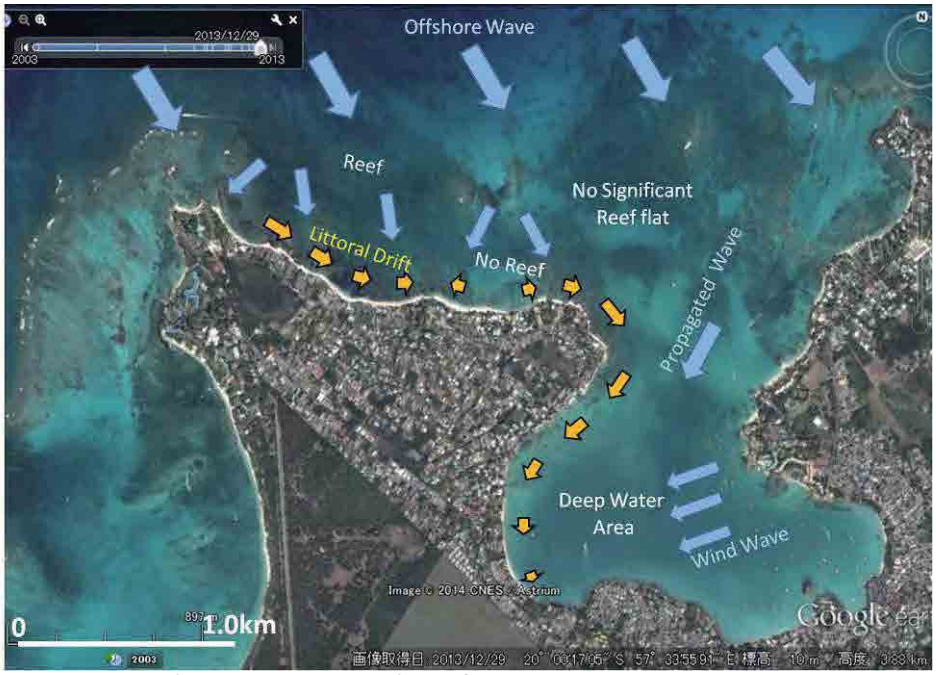
*: 水質調査は、海岸近くで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine

出典: JICA 調査団

## 2.3 想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因

### 2.3.1 漂砂特性

想定される当海岸の波浪および漂砂特性を示したものが図 2.3.1である。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 2.3.1 Pte. aux Cannoniers の波浪および漂砂パターン

- 当海岸の漂砂は、サンゴ礁から供給される砂が全体的には東向きの漂砂により移動していると考えられる。
- 北側エリアの波浪は東側エリアに比べて大きいものの、波向は汀線に対してそれほど斜め入射とはならないため、漂砂量そのものは小さいと考えられる。また、沖のサンゴ礁の地形やその存在の有無により、漂砂方向は局所的に変化している可能性がある。漂砂供給量そのものは全体としてはバランスしていたが、1997 年以降、漂砂の上手側の西側での土砂の減少が見られる。
- 東側エリアの砂の供給源は、北側エリアから回り込んだ漂砂が支配的と考えられる。これより、北側エリアの特に東側での侵食による供給土砂の減少が、東側エリアの侵食を助長している可能性がある。東側エリアに入射する波浪は、湾口部

からの回折波が主と考えられ、波浪は北側エリアに比べて小さい。しかし、汀線に対して斜め入射となるため、有意な南向き沿岸漂砂が存在する。湾奥に進むにしたがって波高が更に小さくなり、南向きの沿岸漂砂は減少していく。現在南端の突堤を越えての砂移動はほとんど生じていない。

- 北側および東側エリアを合わせた当海岸全体としては、40 年間に約 10,000m$^3$ 近い土砂が消失した。消失した土砂は、サンゴ礁のない水深の深いエリアを介して沖側へ、あるいは湾内の急峻部に流出している可能性がある。

### 2.3.2 当海岸の問題とその要因

上記の検討より、当海岸で想定される侵食要因を以下にまとめる。

**a.** サンゴ環境悪化に伴う土砂供給量の減少

北側エリアでは、特に西側のサンゴ礁池からの供給減少が近年顕著である。東側エリアでは以前存在していた北側エリアからの土砂供給量の減少が生じている。

**b.** 特殊イベント時（大型サイクロン襲来時）の急激な海岸侵食・回復機能の低下

北側エリアの特に西側でのサンゴ礁が存在しない地点での侵食は、前面水深が深く相対的に波高が大きいため侵食が顕著となっていることが考えられる。また侵食は徐々に進行しているのではなく、サイクロン等の特異な高波浪の作用で生じたと考えられる。またその後も浜の回復が見られない要因の1つとして、既存直立護岸による反射波、洗掘によることが考えられる。

**c.** 借地者による突堤等を用いた個別対策による漂砂下手側での侵食の助長

当海岸の大部分は、主に個人の借地エリアであり、海岸管理が各借地人に委ねられている。基本的にこれまで実施されてきた対策は、各個人の土地の防護、砂浜維持を目的とするものである。一方、当海岸は北側海岸から東海岸まで続く連続した一連の漂砂セルに属し、このような個々の対策が、漂砂の下手側、すなわち北側エリアの東端付近から東側エリアにかけての侵食を助長している可能性が高い。このような問題は、個人に海岸管理が委ねられている他の多くの借地エリア（例えばPte. d’ Esnyなど）で見られる問題である。

**d.** リーフ上でのボート航行用航路や引き網漁法による影響

ホテルCannoniers関係者からのヒアリング結果より、前面のリーフ上では1990年代にボート航行のための航路が開削され、それ以降場所的な海岸侵食が生じたとの情報が得られた。また当海岸では引き網を用いた漁業が過去に実施されていたとの情報がある。これらのリーフ上での人為的な改ざんや行為が、リーフ上の波や流れの変化、またサンゴや海草の減少を招いた可能性がある。

## 2.4 海岸保全対策の検討

### 2.4.1 概要

北側エリアの大部分は現在砂浜が維持され、誰もが利用できる海岸の公共領域（Public Domain、HWLとLWMの間）が大凡確保されているが、唯一東側付近の200m間で、前浜が消失し、沿岸方向の自由な行き来が妨げられている。また東側エリアにおいては既に半分以上のエリアで以前存在していた砂浜が消失するとともに、既存護岸や突堤等の林立により、海岸線を行き来することは困難な状態にある。

上記2)、3)については、数年オーダーでの短期的対策、1)については数十年以上のオーダーとしての長期対策としての計画策定が求められる。上記の海岸状況より、短期対策に対する重点エリアとして、北側侵食エリア（約200m間）、および東側中央部エリア（約500m間）での対策を策定する。なお、東側エリアの公共海浜公園では、応急的な海岸対策として、MOESDDBMにより前浜の復元を目指した既存Gabionの枠の撤去および構成材の礫の整形が実施された。

### 2.4.2 対策の基本方針

**a. 短期対策**

短期的対策の主な工法として、1) セットバック、2) 養浜、3)構造物対策（既存施設の改良含む）、これらの組み合わせ案が考えられる。それぞれの対策案の重点エリアでの適用性、評価を表 2.4.1にまとめる。これらの概略検討より、当海岸での重点2エリアでの対策の基本方針を以下に示す。

<u>北側侵食エリア</u>

北側エリアは外海に面し、サイクロンによる海岸変形の影響を受けやすい。近年土砂供給量の減少傾向が見られるものの、海岸にはフレッシュな砂が堆積している様子が観察される。海岸は借地エリアであるが、全体的な漂砂移動に影響を及ぼす個別の海岸施設は少なく、借地エリアでありながら自然景観や海岸環境が維持されている。これより北側侵食エリアでの保全対策を考える上で、今の良好な海岸環境を維持しつつの保全対策とすることが求められる。これより当エリアでは、以下に示す対策方針とする。

- 基本的には構造物を伴わない動的養浜により、以前存在していた前浜を回復する方針とする。ただし勢力の大きいサイクロン襲来等の特殊イベント時には、砂が流出する可能性が高いため、状況に応じた維持管理（定期的な砂の追加投入）は必要となる。
- 養浜後の安定性を高めるための既存直立護岸の撤去または透過型の緩傾斜護岸へ改良。
- 対象エリアは所々に存在する岩礁や岬の存在および沖でのリーフ地形の局所変化により、局所的な漂砂が存在している可能性がある。また前面水深が、他のエリアに比べて深くなっていることが示唆される。これより養浜砂の沖側への流出の低減を図ることを目的とした、景観に配慮した小規模な人工磯場を設けることも考えられる。ただしその必要性については、モニタリング結果等を踏まえた上で判断するものとする。

表 2.4.1 考えられる対策案および概略の比較

| 対策案 | セットバック案 | 養浜案 | 構造物（突堤、離岸堤、潜堤、護岸）案 |
|---|---|---|---|
| 当海岸での適用性 | ・当海岸のほとんどは、以前からの借地エリアであり、住宅は、東側エリアの一部の新規ホテルを除けば、1967年以降、前出しして作られたものはほとんどない。また背後の海岸道路の海側に建物が存在しており、空間的余裕が少ないため、30mセットバックルールを侵食域に適用することは現実的には困難である。<br>・一方既存の直立護岸の改良時に、現状の汀線位置を踏まえ、護岸設置位置を陸側にシフトすることは、自然の砂の回復力を高める上で有効であり、適用できる箇所は多い。また既存の不透過直立タイプの護岸から透過性傾斜堤への改良も同様の効果が期待できる。 | 北側海岸での現状の自然景観や海岸アクセスの維持を図る上で養浜案が推奨される。<br>・北側侵食エリアでは両側に存在する自然の岩礁が漂砂の制御機能を有する。また漂砂方向が局所的に変化していることから、養浜後の流出を低減するため離岸堤を配置しても、周辺海浜への影響は少ない。ただし景観上の配慮は必要。<br>・東側エリアは、南向き沿岸漂砂により、養浜のみによる海浜安定化を図ることは難しい。突堤を併用することによる静的安定化を図る工法を推奨する。<br>・当海岸域で顕著な砂の堆積域がなく、用いる養浜砂は外部から入手する必要がある。一方、流出した砂の相当量は、湾内の沖側に流出している可能性が高く、海岸に影響を及ぼさない範囲でこの流出砂を利用できる可能性がある。 | ・突堤や離岸堤、潜堤の海岸構造物のみによる対策は新たな侵食問題を引き起こす可能性があるため推奨できない。<br>・北側侵食エリアは漂砂が一様ではなく、両側の岩礁に囲まれているため、離岸堤により養浜砂の流出低減を図ることが考えられる。<br>・東側エリアでは養浜後の沿岸漂砂による移動・流出を低減するため、適切な間隔で突堤を配置し、静的安定化を図ることを提案する。<br>・既存の直立護岸に波が直接作用し、岸沖方向の砂移動による自然の砂浜回復機能を妨げている箇所がある。透過傾斜堤への改良および背後の建物までに余裕がある箇所については法線位置の陸側への変更を合わせて行うことにより、効果の向上が図れる。 |
| 評価 | 建物のセットバックは困難であるが、既存護岸法線の陸側変更は可能。 | 推奨案 | ・東側エリアでは養浜＋突堤との組み合わせによる静的安定化を図ることを推奨。<br>・養浜を実施しない場合、既存直立護岸の改良＋法線変更を推奨。 |

出典：JICA 調査団

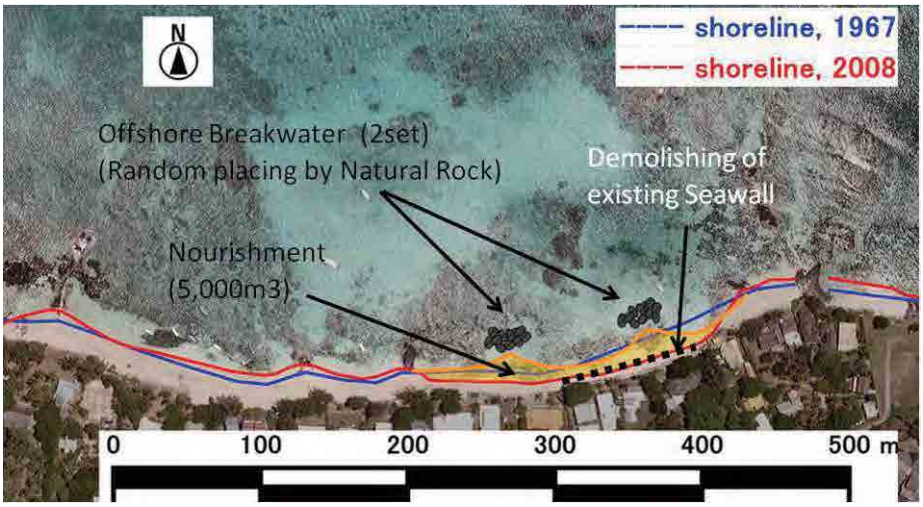
- 養浜：特に、サイクロンによる養浜砂の損失が生じた場合には、維持養浜が必要である。
- 離岸堤は景観を考慮して、沖への漂砂損失を防ぐ。
- 上記の対策に加え、既存の護岸を撤去する。

<u>東側侵食エリア</u>

当エリアは、北側エリアからの漂砂供給は現在ほとんど消滅する中で現在侵食域が南側に進行しつつある。北側から中央部付近では既に連続的な砂浜は消失し、各借地人が直立護岸や突堤等による防護を行っている。以前存在していた砂浜が既に消失し、回復の可能性がほとんどないこと、また各借地者により実施されてきた無秩序な護岸や突堤による構造物対策により、海岸アクセスは困難な状況にある。これより提案する保全対策は、借地エリアの防護および公共領域の確保を目指すものとし、以下の方針とする。

- 養浜による砂浜の回復を図る方針とする。ただ、湾内に向かう沿岸漂砂により、構造物なしでの養浜では、直ちに砂は湾奥へ移動し、湾内での急峻な海底勾配により沖側への流出が懸念される。そこで砂の移動を抑え、静的な安定化を高める

ための複数突堤を併用する方針とする。養浜砂は北側エリアと同様、現時点では陸上の採砂場からの調達と仮定する。




出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 2.4.1 北側侵食エリアの対策案

- 既存護岸の改良。（直立不透過堤から透過傾斜堤への改良および可能な限りの護岸法線位置の陸側への移動）

**b.** 長期対策

- サンゴ・海草生息環境を維持・向上するための水質改善を図る。
- 中長期的な砂浜維持管理の低減および将来的な気候変動に伴う水位上昇による居住エリアへの浸水リスクの低減を図るために、次期の借地契約更新時のセットバックを推奨する。

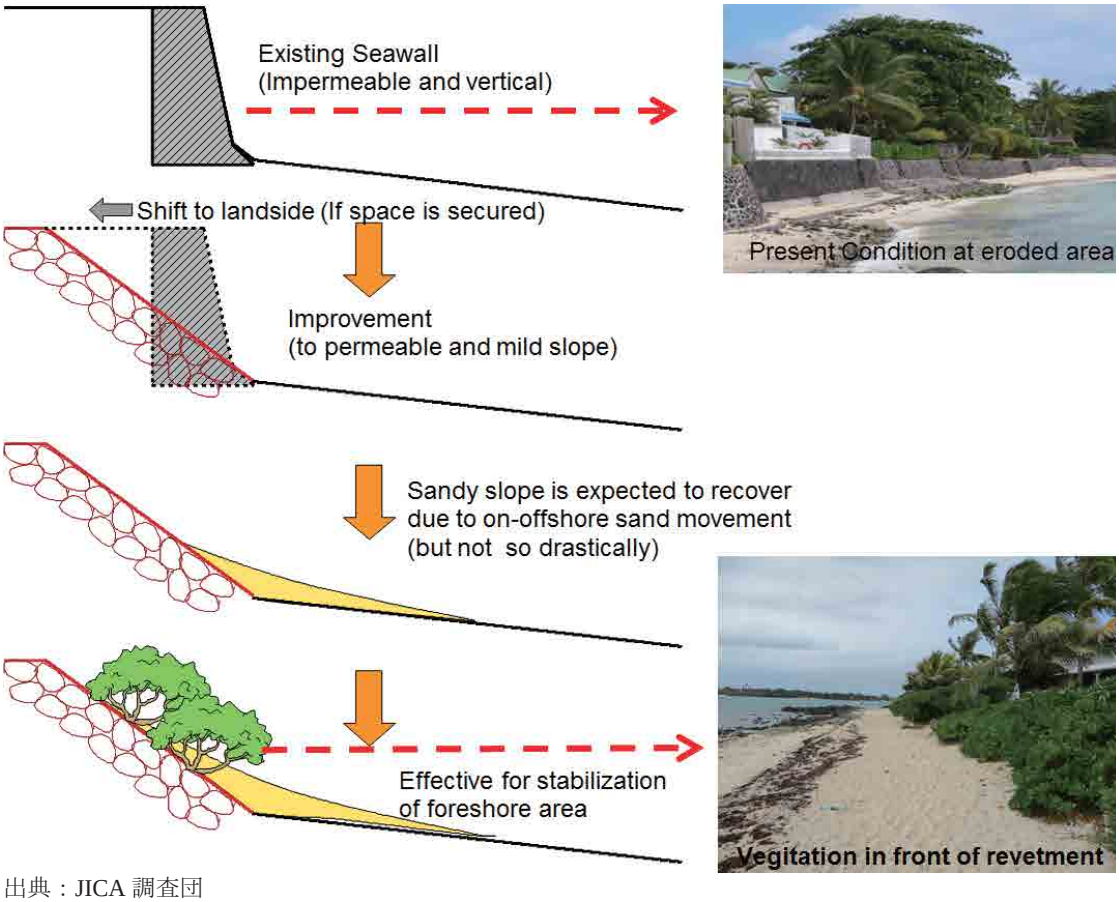
### 2.4.3 短期対策

**a.** 北側侵食エリア

北側侵食エリアでの短期対策の概要を図 2.4.1に示す。

**a.1** 適切な粒度、色彩を持つ砂を用いた養浜と定期的な砂の投入

北側エリアは、外洋からの波が作用するため、粒度も比較的粗く、海浜勾配も急である。基本的にはこの現況と同じかそれ以上の粒度を持つ砂を用い、勾配も現況の1/5～1/8程度に合わせる。養浜量は40年間の土砂損失量に相当する量として5,000m$^3$とする。養浜範囲は当エリアの岩礁間に囲まれた200m区間である。海岸測量を実施していないため、正確なバーム高は明らかではないが、現地踏査より2.5m～4m程度と見込まれる。これより、想定される浜幅としては6～10m程度となる。色彩の異なる砂を用いることは景観上、利用上避けなければいけない。特に当海岸のようなサンゴ礁の白砂が魅力のリゾートエリアでは、同じ色彩のサンゴ砂以外を用いることは許されない。




出典：JICA 調査団

図 2.4.2 各借地者レベルでの護岸改善

ここで提案する養浜は、突堤等の付帯構造物を伴わない動的養浜であるため、特にサイクロンの襲来等により、養浜砂の移動・流出が生じる可能性がある。当海岸は顕著な沿岸漂砂が存在しない。また、対策エリア前面の水深が深くなっている可能性があり、沖側への砂の流出も考えられる。詳細なデータが不足する中で、現時点で定期的な砂投入量を推定することは困難である。初期養浜後の海岸状況をモニタリングしつつ、順応的に判断していくことが求められる。

### a.2 既存の直立護岸の撤去または透過型の緩傾斜護岸へ改良

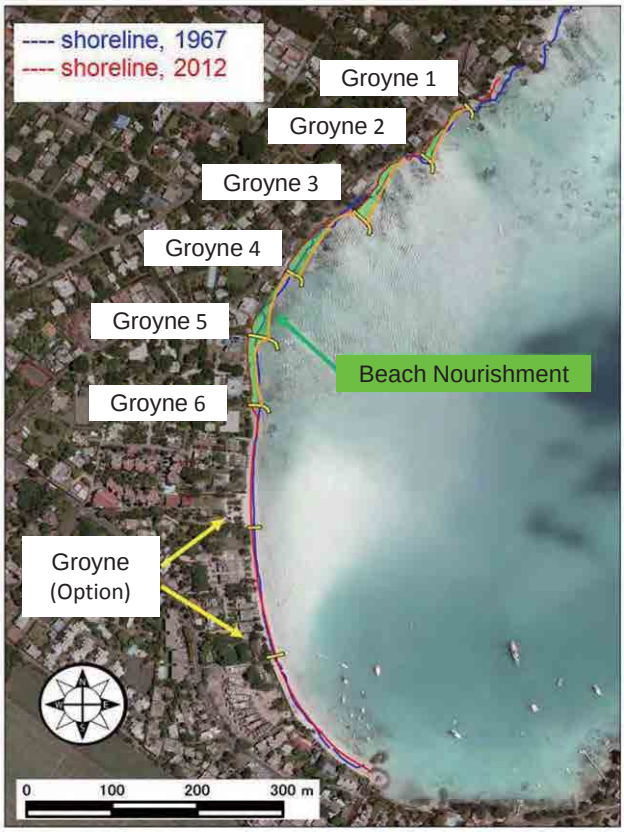
養浜の実施とその後の定期的な追加投入によって適切に海岸管理がなされる場合、砂浜の変動域の確保の上では、基本的には既存の直立護岸は撤去することが望ましい。一方で用いる砂の調達の問題もあり、当面提案するような保全対策の実施が困難な場合も想定される。その場合は、従来通りの各借地者レベルでの対策で、現在の海岸状況を改善していく必要がある。その可能性の1つとして、以下に示す既存護岸の改良が考えられる。

- 既存護岸の改良（直立不透過堤から透過傾斜堤への改良および可能な限りの護岸法線位置の陸側への移動）と後浜域の安定化を図るための植生の促進（図 2.4.2）。

- 必要に応じて護岸前面に礫を投入する。ただし当エリアの海岸景観に配慮し、礫を投入する場合は当海岸の砂と同様の白色系の礫が望ましい。また高波浪時には砂と同じように礫の移動・流出が生じる可能性があるため、定期的な追加投入は必要と考えられる。

### a.3　人工磯場について

人工磯場は当初から必須な対策案として提案するものではなく、養浜後のモニタリング結果より、沖側への砂の移動・流出が顕著であると判断された場合、改善策の1つとして提案されるものである。また必要と判断された場合は、詳細検討による設置効果の確認、住民意見等を踏まえて設置の有無およびその形状を最終的に判断する必要がある。この人工磯場は、当海岸の現状の自然景観を維持するため、周辺エリアの所々で見られる岩礁と調和するよう、できるだけ同じ素材（黒色の自然石）を用い、ランダムな形状とすることが望ましい。規模（諸元）については、大きいほど砂の捕捉効果は高くなる一方で、景観上の圧迫感を招く恐れがある。これらを総合的に評価した上で設定する必要がある。表 2.4.2の表中に１つの参考例を示す。被覆石の大きさは400～800kg/個と想定されるが、詳細設計における波浪解析結果を踏まえて最終化される。




出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 2.4.3 北側侵食エリアの対策案

沖への流出がそれほど顕著ではないものの、流出対策が望まれる場合、サンゴ移植を試験的に実施することも1つの案として考えられる。

### b.　東側侵食エリア

北側侵食エリアでの短期対策の概要を図 2.4.3に示す。北部侵食エリアで提案するのは、顕著な沿岸漂砂による砂の移動・流出を抑えるため、突堤・ヘッドランド等を併用した静的養浜工法である。

### b.1　養浜

養浜方法は北側エリアと同様、基本的には現状の現地における粒径と同程度かそれ以上、同じサンゴ系白砂を用いるものとする。初期養浜量は、40年間の砂消失量と同程度の10,000m$^3$と仮定する。この場合、対策範囲が約500m、バーム高として2.5mと仮定すると、約8m程度の浜幅となる。

現時点では養浜砂の調達は、北側エリアと同様、陸上からの購入砂を仮定する。しかし、コスト面やその後の維持管理での砂の調達の必要性を考えると、他の調達先を検討することが望まれる。可能性の1つとしては、湾内に落ち込んでいると思われる砂を再利用することが考えられ、そのための調査を行うことを推奨する。

部分的な施設防護対策として、限られたエリアに礫材（火成岩系の黒色の礫材）を投入する対策も可能性の1つとして挙げられるが、異なる組成の礫材を投入、散乱することによる環境や景観上への影響を十分調べる必要がある。

### b.2　突堤配置

突堤配置は、想定される養浜後の汀線形状を踏まえ、養浜砂が下手側に流出しないように配置する。養浜後の汀線形状は、現在既に突堤が存在し、それにより砂が保持されている地点における汀線角度を観察することにより、それとほぼ同じ角度で維持されると仮定した。突堤間隔は、景観への圧迫感および海岸利用への支障がないよう、ここでは100m程度の間隔を維持することを目安とした。これに対して養浜砂が下手側に流出しないよう、堤長を決めた。なお、図 2.4.4では漂砂下手側での汀線後退を多少でも緩和させる効果、および曲線を持たせることによる視覚的効果を期待して、突堤先端を漂砂下手側に湾曲させている。一方、養浜砂の下手側への流出を防止するための最適な突堤長については、実際に砂投入後の汀線形状をしばらく観察して初めて評価される。これより、モニタリング結果を踏まえて最終的な長さを決める（順応的管理）ことにより、最も適切な突堤長を決めることができる。その場合、まずは直線形状で突堤を構築し、その後のモニタリング結果を踏まえて最終的な突堤長とする段階施工を行うことが推奨される。またGroyne 6から南側エリアにおいては、上手側の突堤群の構築により、現在の海岸線より後退する可能性がある。これについては海岸状況を見ながら必要に応じて南側での突堤を追加するかどうかを判断する計画とする。

上記の考えに基づき、検討した突堤の堤長および間隔の一例を表 2.4.2に示す。但しこれらはあくまでも考え方を示すもので、今後詳細設計にて最終化する必要がある。

表 2.4.2　突堤間隔および堤長（参考）

| 突堤　No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 堤長(m) | 12 | 16 | 22 | 17 | 25 | 16 |

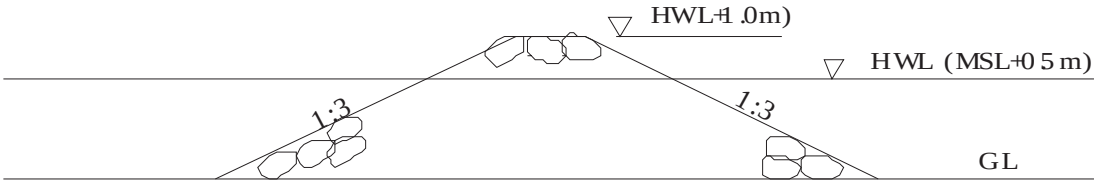
| 突堤間隔(m) | | 80 | 105 | 110 | 90 | 90 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

出典：JICA 調査団

十分な漂砂の捕捉機能を有するためには、突堤長、突堤間隔とともに、適切な天端高を設定する必要がある。ここでは、HWL（MSL＋0.5m）に想定される波高を考慮し、HWL＋1.0mと設定する。また突堤の法勾配は住民意見を踏まえた上での海岸利用面を考えて最終化する必要がある。ここでは海岸アクセスのための法面利用に支障がない勾配として1:3程度と設定する。

構造形式としては、下手側での汀線後退に対して砂の捕捉機能を持たせることで対処するとともに、海岸アクセスや景観上の支障がないよう、捨石傾斜堤タイプを用いることを推奨する。ここで表層の仕上げ方法により、乱積みタイプと整積みタイプに分けられる。ここでは、海岸のパブリックアクセスの支障を来さないものとし整積みタイプとしたが、それぞれのメリット、デメリットを考え、決定する必要がある。被覆石の大きさは、想定される波高を考慮し決定する。

上記の前提で検討した突堤の断面イメージを図 2.4.4に示す。




出典：JICA 調査団

図 2.4.4 突堤の断面イメージ（参考）

### b.3 既存護岸の改良について

養浜投入量を抑えるとともに、養浜後の海浜の安定化の向上を図るため、当エリアの海岸線の殆どで設置されている既存のコンクリート直立護岸を透過型捨石傾斜堤タイプに改良することを推奨する。建物と護岸の間に空間的余裕がある場合は、出来るだけ護岸法線位置を陸側に移すことは、砂浜の安定化を高める効果が期待される。

### c. 短期対策案のまとめおよび概算工事費

北側エリアおよび東側エリアで提案する短期対策およびその概算工事費を表 2.4.3および表 2.4.4にまとめる。

表 2.4.3 北側侵食エリアで提案する短期対策および概算工事費

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 対策範囲 | 北側侵食エリア（約200m区間） |
| 対策案 | 動的養浜＋定期的な砂投入、養浜エリアの既存護岸の改良<br>（沖側への流出が認められる場合は人工磯場等の追加） |
| 人工磯場諸元<br>（一例として） | 2箇所、堤体長10～15m程度、堤体幅3～5m程度、天端高（HWL＋1.0m） |
| 養浜諸元 | 幅養浜砂：D50=0.3～0.6mm　（現存の砂と同等かそれ以上）<br>組成および色：サンゴ系白砂（現存の砂と同じ） |
| 養浜数量 | 5,000m$^3$　（40年間の土砂消失量、8～10m程度の浜幅増） |
| 概算費用（参考） | 養浜：7.5百万MUR（1m$^3$当たり1,500MURを仮定）<br>（約30百万円、1MUR=4.0円を仮定）<br>磯場（2箇所）：0.4百万MUR (1基265m$^3$, 1m$^3$当たり800MURを仮定)<br>（約1.7百万円、1MUR=4.0円を仮定） |

出典：JICA 調査団

表 2.4.4 東側侵食エリアで提案する短期対策および概算工事費

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 対策範囲 | 北側侵食エリア（約480m区間） |
| 対策案 | 養浜＋突堤による静的安定化工法、養浜エリアの護岸改良 |
| 突堤諸元（参考） | 堤数6基、堤体長12～25m、堤体幅1m程度、天端高（HWL＋1.0m） |
| 養浜諸元 | 幅養浜砂：D50=0.3～0.6mm　（現存の海岸砂の粒径以上）<br>組成および色：サンゴ系白砂（現存の砂と同じ） |
| 養浜数量 | 10,000m$^3$　（ほぼ40年間の土砂消失量と同程度） |
| 概算費用（参考） | 養浜：15百万MUR（1m$^3$当たり1,500MURを仮定）<br>（約60百万円、1MUR=4.0円を仮定）<br>突堤(6基)：3.4百万MUR (総延長130m, 1m当たり26,000MURを仮定)<br>（約13.5百万円、1MUR=4.0円を仮定） |

出典：JICA 調査団

### 2.4.4 長期対策

**a.** 水質モニタリングに基づく水質改善対策の実施

沖合のリーフの発達が完全でないため、外洋水が接岸しやすく、サンゴの生育環境としては良好と考えられる。実際に沖合のパッチリーフでは*Porites*等塊状のサンゴを中心に被度は30%に上る。しかしながら、後背地には人口密集域があり、生活排水による富栄養化、それにより、今後サンゴの生息環境が悪化していくことが懸念される。これより、現在のサンゴの生息環境を維持するための水質改善対策として、背後地の下水道整備を更に促進していく必要がある。なお、富栄養化状態を定量的に把握できるデータが不足しているため、分析精度の高い水質モニタリング調査を現時点から実施していくことを推奨する。

**b.** 次期借地契約更新時におけるセットバックの推奨および土地利用計画の見直し

海岸侵食による汀線後退や、各借地者による海岸線の護岸の築造により、HWMから30mのセットバックゾーンが満たされていない箇所がある。特に東側エリアでは背後の海岸道路から海側の土地利用スペースが限られており、ほとんどの借地エリアで30mセットバックラインが確保されていない。既存の借地契約がある中でのセットバックは現実的には困難であるが、次期借地契約更新時に30mバッファーゾーンを確保するためのセットバックを行うことが推奨される。ただし、現状の借地エリアの中では物理的に30mバッファーゾーンを確保することが無理な土地もある。将来的な気候変動に伴う水位上昇による居住エリアへの浸水リスクの低減に対し、長期的には海岸エリアの土地利用計画を見直す必要性も可能性として考えられる。

## 2.5 海岸維持管理計画

### 2.5.1 現在の海岸管理の課題に対する改善案

当海岸の現状を踏まえて、海岸維持管理面、土地利用管理面および海岸利用管理面における個別の課題および改善案については、Volume1の5章の海岸維持管理計画の中で記載している。また、殆どの対象海岸に共通する制度や実施体制に関するソフト的な課題と改善案についてもVolume1の5章に記している。ここでは、現在の海岸管理の課題に対する改善案を以下に示す。

**a.** 海岸清掃に関する課題

- リーフレットなどを用いた借地者への海岸清掃に対する意識の高揚
- 地方行政による定期的な視察・指導
- 新たな海岸清掃体制の確立と適切な海岸清掃の実施義務に関する借地契約書への明記

**b.** 既存海岸施設に関する課題

- 直立護岸の形状から透過式傾斜護岸（植栽）等への改修
- 既存施設の効果の検証結果に基づく、突堤の撤去または改修

### 2.5.2 海岸保全計画に基づく海岸管理計画

ここでは、上記の海岸保全対策に対する管理運営面で考慮すべき事項を示す。当海岸の海岸保全計画では、北側侵食エリアでは動的養浜（状況に応じて沖側流出対策としての人工磯設置の検討）、東側エリアでは静的安定化を目指した養浜＋突堤の設置、護岸の改良が提案された。

当海岸から利用できる砂が現時点では存在しないため、陸上の2箇所の採砂場からの購入砂を利用する計画としている。海岸維持に必要な白砂をいかに安価に調達するかが今後の海岸維持管理における課題である。可能性としては、以下の3つが考えられる。

1) 堆積が問題となっている箇所での浚渫砂の問題海岸への利用

2) リーフ沖の海底砂の利用

3) ラグーン上の堆積砂の利用

1)については、例えば航路浚渫砂を利用することは、現在も一部で計画されている。浚渫砂を有効利用するためには、関連機関との連携、包括的視点での土砂管理を実施していく必要がある。

2)については、現在MOIを中心に、沖側のポテンシャルエリアの海底調査が開始された。今後、更なる詳細調査を行うとともに、それらの情報を共有する必要がある。また、一般にリーフ沖側の海底砂の取得には、特殊浚渫船を用いた海上施工、それに伴うコスト増の可能性がある。これら実施計画についても合わせて検討していく必要がある。

3)については、過去に実施されてきた商用目的のためのラグーンからの砂採取が2000年以降法律で禁じられ、現在は一切行われていない。一方で、現在大量の砂がラグーン上に存在していることがある程度分かっている。現象把握としての、砂のポテンシャル調査、環境影響検討を行うとともに、可能性が見いだせる場合、今後法律の改正等も含め、モ国政府内で更なる議論が必要となる。なお、これらの土砂管理についての詳細はVolume 1の5.3項以降に記載する。

当海岸は借地エリアであり、基本的に海岸維持管理は各借地者が担うことになる。一方で、特に東側侵食エリアで提案する対策は、漂砂の連続性を考慮した包括的視点での対策であり、これまで各個人個別に実施されてきた対策とは大きく異なる。これらの実施、費用負担をどうするかについて、今後官民双方で協議していく必要がある。

少なくとも護岸の改修については、個人の土地を防護する目的であるため、基本的には従来通り、借地者負担で実施されるべきである。ただし個別の取り組みによる改修計画では全体漂砂系への影響が大いに懸念される。現在は各個人が提案した対策計画をEIAにてMOESDDBMが評価し、実施の許可を判断するシステムとなっているが、その場合、海岸全体としての保全計画の視点が不十分となりかねない。政府主導による全体保全計画を策定し、その位置づけの中で、各借地人による提案を再評価するシステムが望ましい。策定される計画案を対象となる借地人に示し、その効果に対する理解を得た上で、改修に関わる費用負担、改修後の施設の維持管理に関する合意形成が必要になる。

突堤については、養浜後の海岸モニタリングをモ国政府主導で継続的に実施し、砂の歩留まり状況を継続的に把握していくことが求められる。その評価結果を踏まえ、必要に応じて順応的に追加策を検討していくことを提案する。

### 2.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）となる。

また、将来海面が上昇した場合に、海面上昇に伴う侵食が想定される。その機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量 ＋ 海面上昇により侵食量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

## 2.6 実施に向けた今後の課題

### 2.6.1 詳細設計および住民合意形成の必要性

ここで示した計画は、限られた情報・データを元に概略検討を行ったものである。平面配置および各諸元を決定するためには、海岸測量による現況海岸地形の把握と漂砂検討、また外力調査等の、更なる定量的データを踏まえた詳細検討（詳細設計）が必要である。また対象エリアが借地エリアであるため、住民参加型での計画作り・合意形成が不可欠である。

### 2.6.2 1つの漂砂系での包括的なEIAの必要性

Pte. aux Cannoniersのような借地エリアでの海岸問題の1つとして、対策が各借地者個別に実施される点にある。一方で、各海岸はその海象条件や地形条件から定まる連続した漂砂系を持つため、このような全体的な漂砂の視点なしでの個別の対策は、更なる海岸侵食を引き起こす可能性がある。これより、現在の海岸管理方法を当面維持するとしても、現在のような個別の対策を評価するEIAの視点ではなく、漂砂系全体的での包括的視点でのEIAを実施していく取り組みが必要である。

### 2.6.3 事業実施体制の確立

当海岸は借地エリアであるため、これまでの慣例に従えば、基本的には海岸管理は各借地者に委ねられる。一方、提案する養浜および人工磯場による保全対策は、各借地エリア個別の防護対策を目的とするものではなく、当侵食エリア全体の保全対策との位置づけである。また想定される工事費も、これまで各借地者が個々に対応していたものに比べて高くなる。誰が実施するかについては、官民連携での海岸管理の可能性を含めて今後更なる協議が必要である。これについては、実証事業の非物理対策事業として検討するPte. d’Esnyも同様の課題を抱えており、そこでの検討成果も踏まえて今後モ国側で検討すべき課題である。

### 2.6.4 養浜砂の確保

当海岸は、サンドリサイクル等に利用できる顕著な堆積域が存在しないため、外部からの砂の調達が必要となる。養浜量が北側、東側エリア合わせて15,000m$^3$と多く、また状況の変化に応じて、維持管理としての砂補給が必要となるため、この砂を如何に確保するかが課題である。一方、これまで消失した約12,000m$^3$の砂は、必ずどこかに存在しているはずであり、最も考えられる可能性としては、湾内の急深部に流出している可能性である。これより、求められる仕様に合う砂が海底に存在するとともに、取得による海浜

および海岸環境への影響が問題なければ、これを利用できる可能性がある。これについては、今後海底測量や環境調査を実施した上で判断されるものである。

### 2.6.5　海岸モニタリング結果を踏まえた順応的管理の必要性

外海に面している北側エリアでは、サイクロンの襲来により海浜挙動は大きく影響され、対策を実施しても常に安定した海浜が保証されるものではない。これより、状況に応じて海浜を維持していく順応的管理が求められる。その上で、継続的な海浜モニタリングを実施していくことが求められる。

東側エリアにおいては前述のように、最終的な安定形状、それを維持するための最適突堤長の決定する上でも、段階施工およびその結果をモニタリングしながら最終化を図っていく順応的管理が有効かつ重要と考えられる。

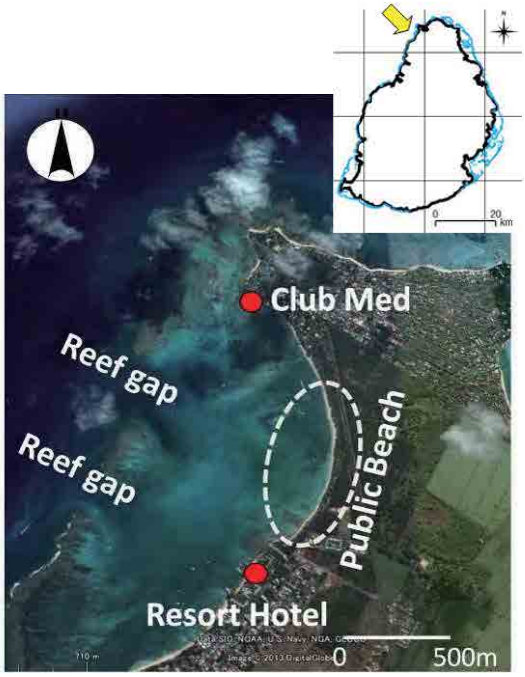
# Chapter 3

*Mon Choisy*

# 3 Mon Choisy

## 3.1 海岸概況

Mon Choisy海岸は、約1kmのリーフ幅、水深1～2ｍのサンゴ礁を有するサンゴ礁海岸であり、約2kmの緩やかに湾曲した海岸線をもつ、モーリシャス北部の代表的リゾート海岸の1つである（図 3.1.1）。南端には、リゾートホテルがあり、そこから北側約1.5kmの区間にわたり、モーリシャス北部エリアにおいて最大の公共海浜公園が存在する。海岸背後は広大なキャンプ地として整備されており、地元住民や外国人観光客で賑わっている。なお、この海浜公園エリアでは、海岸構造物は一切存在せず、自然の砂浜が維持されている。海浜公園から北側は、大型リゾートホテル（Club Med）のプライベートエリアとなっている。凹型の曲線をもつ海岸線はここまでであり、ここから海岸線は大きく凸型に変化する。この辺りの海岸では黒色の岩や礫が見られるようになる。



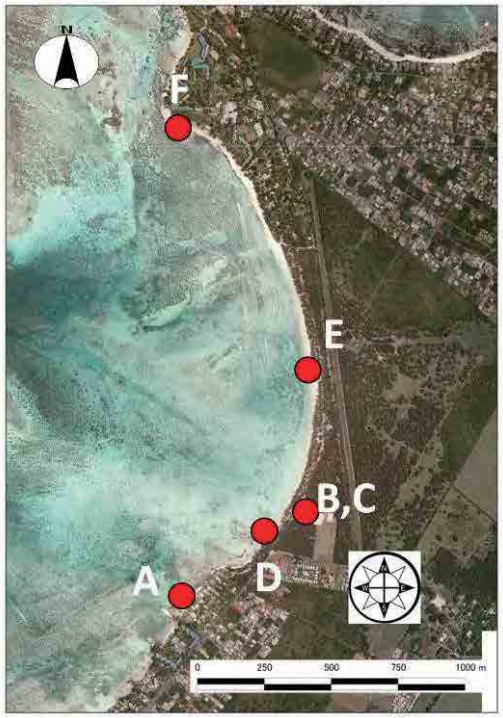

出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 3.1.1 Mon Choisy 海岸

## 3.2 現況把握

### 3.2.1 現地踏査による現状把握

図 3.2.1に示す位置から2013年1月に撮影された海岸写真を図 3.2.2に示す。南端のリゾートホテルの前面には、1975年~91年の間に建設されたと見られる護岸と突堤が見られる（図 3.2.2の地点A）。そこから北側の公共海浜公園における背後地の様子を示したものが図 3.2.2の地点B、Cである。海浜公園前面のビーチの南側では、約350m間にわたって浜崖が存在し（図 3.2.2の地点D）、その高さは最大2m程度である。この浜崖は、北側に行くにつれて徐々に消滅し、更に北側に行くと緩やかな海浜勾配を持つ砂浜海岸となる（図 3.2.2の地点E）。海岸は多くの地元住民や観光客で賑わっている。図 3.2.2の地点Fは、海浜公園から更に北側の大型リゾートホテル（Club Med）のプライベートエリアを示す。ここでは、直立護岸が1991年~97年の間に設置された。またこの護岸北側に小突堤が設置されており、1967年の空中写真においても確認されている。




出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 3.2.1 海岸写真撮影位置

地点A（南側のホテル前の突堤）

地点B（海浜公園背後）

地点C（海浜公園背後のキャンプ場）

地点D（会遺品公園の浜崖）

地点E（海浜公園北側）

地点E（砂浜利用状況）

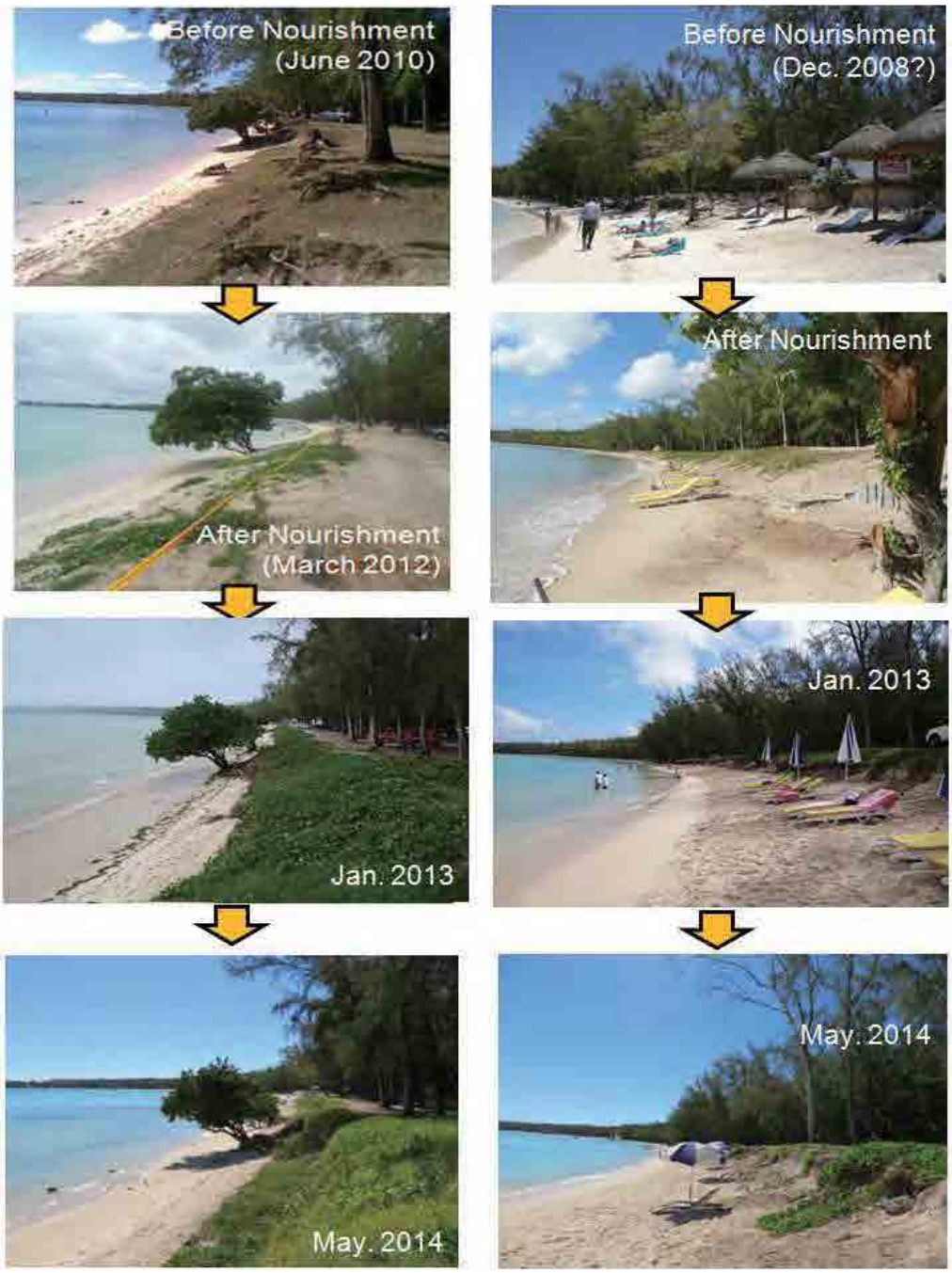
地点E（海岸利用状況）

地点F（北側エリアのClub Med）

出典：JICA 調査団

図 3.2.2 Mon Choisy の海岸状況（2013 年 1 月撮影）

当海岸における問題箇所は南側の公共海浜公園エリアである。ここでは近年、顕著な浜崖が生じており（平均-0.3m/年）、海岸利用上の支障を来している。2010年~2011年にかけて、MOESDDBMにより、公共海岸の約600m間において、約3,800m$^3$の砂の投入が実施されるとともに、汀線際の75本の切り株の撤去が実施された。しかしながら2012年のサイクロン時期の高波の襲来により、投入された砂の大部分は消失し、砂投入前の海岸状況とほぼ同じ状態に戻ってしまった（図 3.2.3）。なお当海岸は、AFBのプロジェクトサイトの１つに選定されており、海浜公園の侵食対策を目的とした海岸保全対策事業が2015年より実施される予定である。



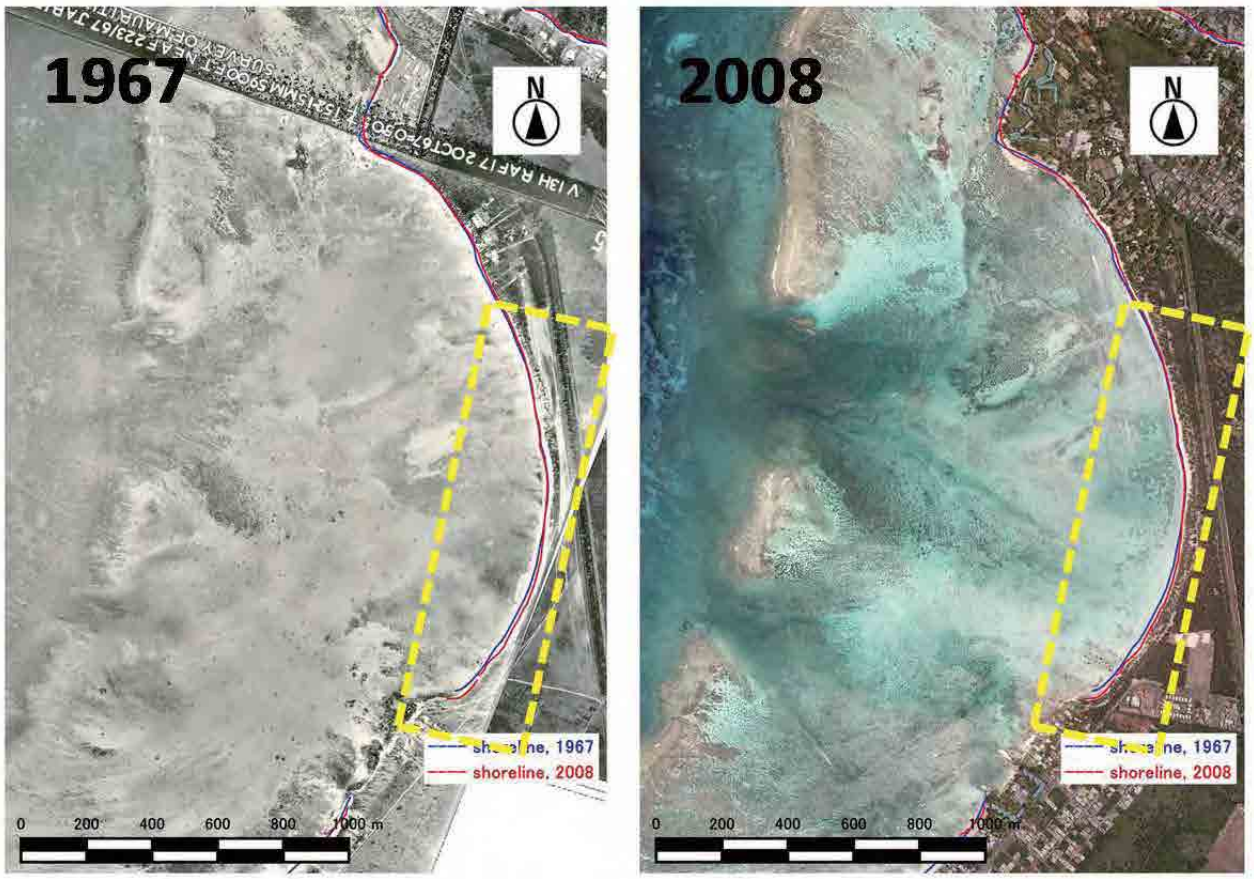

出典：JICA 調査団

図 3.2.3 公共海岸南側の海浜断面変化
（左:図 3.2.2 の D 地点付近、右:更に 200m 程度北側）

### 3.2.2 長期海岸変化および土砂収支

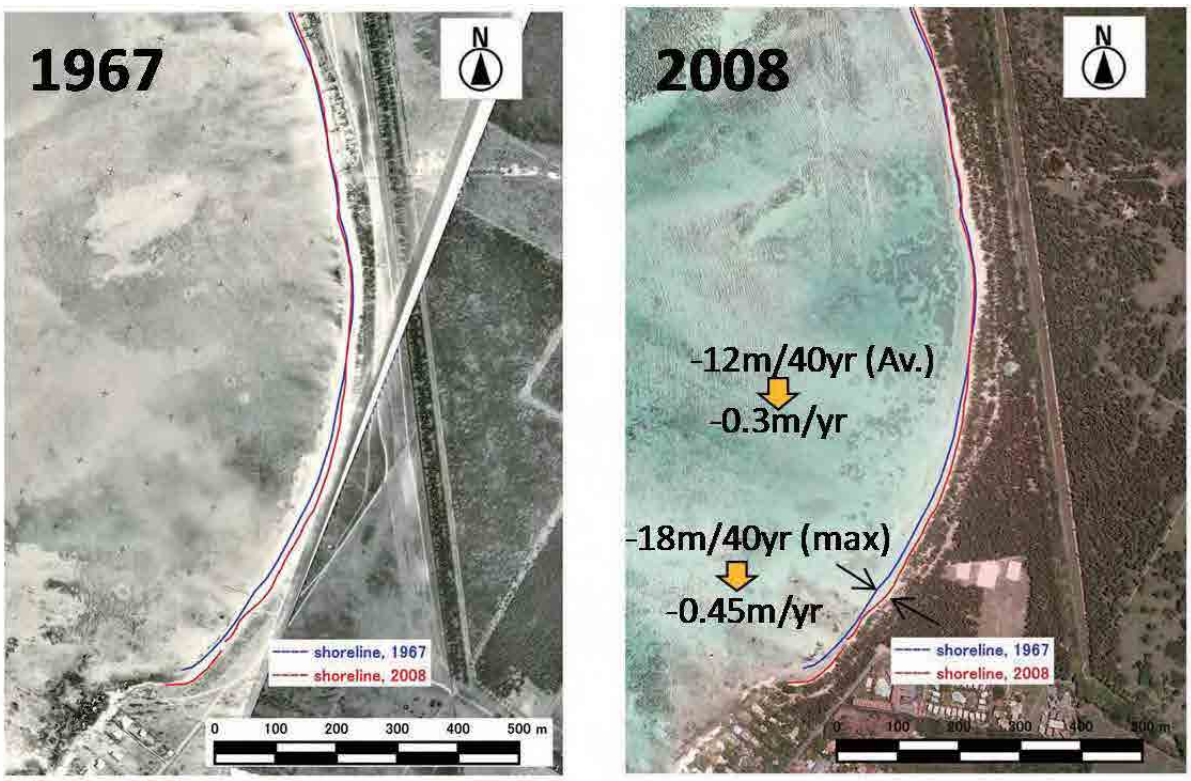
図 3.2.4は、1967年と2008年の空中写真を示したものである。また図 3.2.5は南側の公共海浜公園の侵食エリアについて拡大したものである。ここでは、1967年の汀線位置を青線で、2008年を赤線で示す。また、この2時期を含め、1967年から2012年までの6時期における各サブエリアの土砂収支および1967年からの土砂収支の総量変化を示したものが図 3.2.6である。ここで土砂量への変換は、モーリシャスのサンゴ礁海岸における平均的な移動高として2.5mと設定し、地形判読結果から読み取った汀線変化量にこの移動高を乗じて算出した。

- 南側の海浜公園（Sub Cell-7）で汀線後退が生じており、このエリアでの 40 年間の汀線後退量は平均 12m 程度（年平均-0.3m/年程度）、最大 18m 程度（年平均-0.45m/年程度）である。この侵食は現在も続いている様子である。Sub Cell-7 の土砂収支は 40 年間で約 2 万 $m^3$（500$m^3$/年）減少している。
- 北側の Sub Cell-5 では顕著な変化は見られない。また Sub Cell-6 では、変動はあるものの、若干の堆積傾向である。その結果、全体エリアでは 40 年間で約 2 万 $m^3$ 程度の減少が生じており、侵食海岸に分類される。



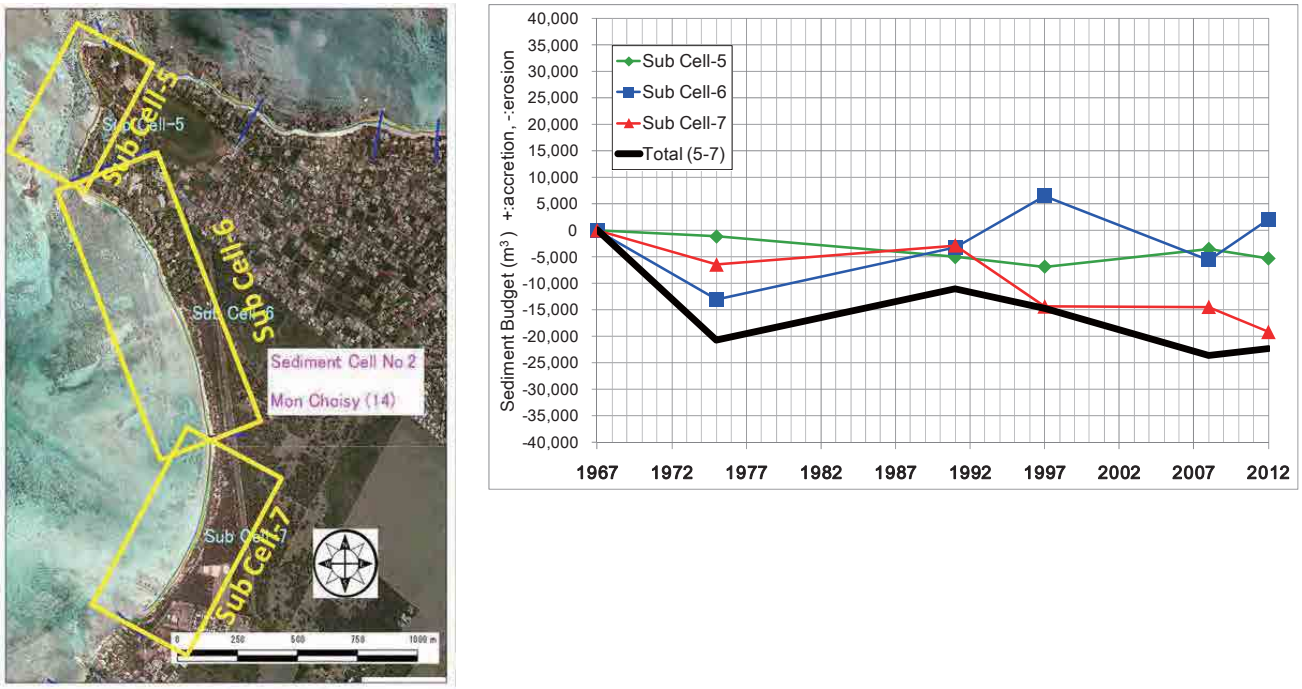

出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 3.2.4 空中写真の比較（広域）（左:1967 年、右 2008 年）




出典：左) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、右)JICA 調査団

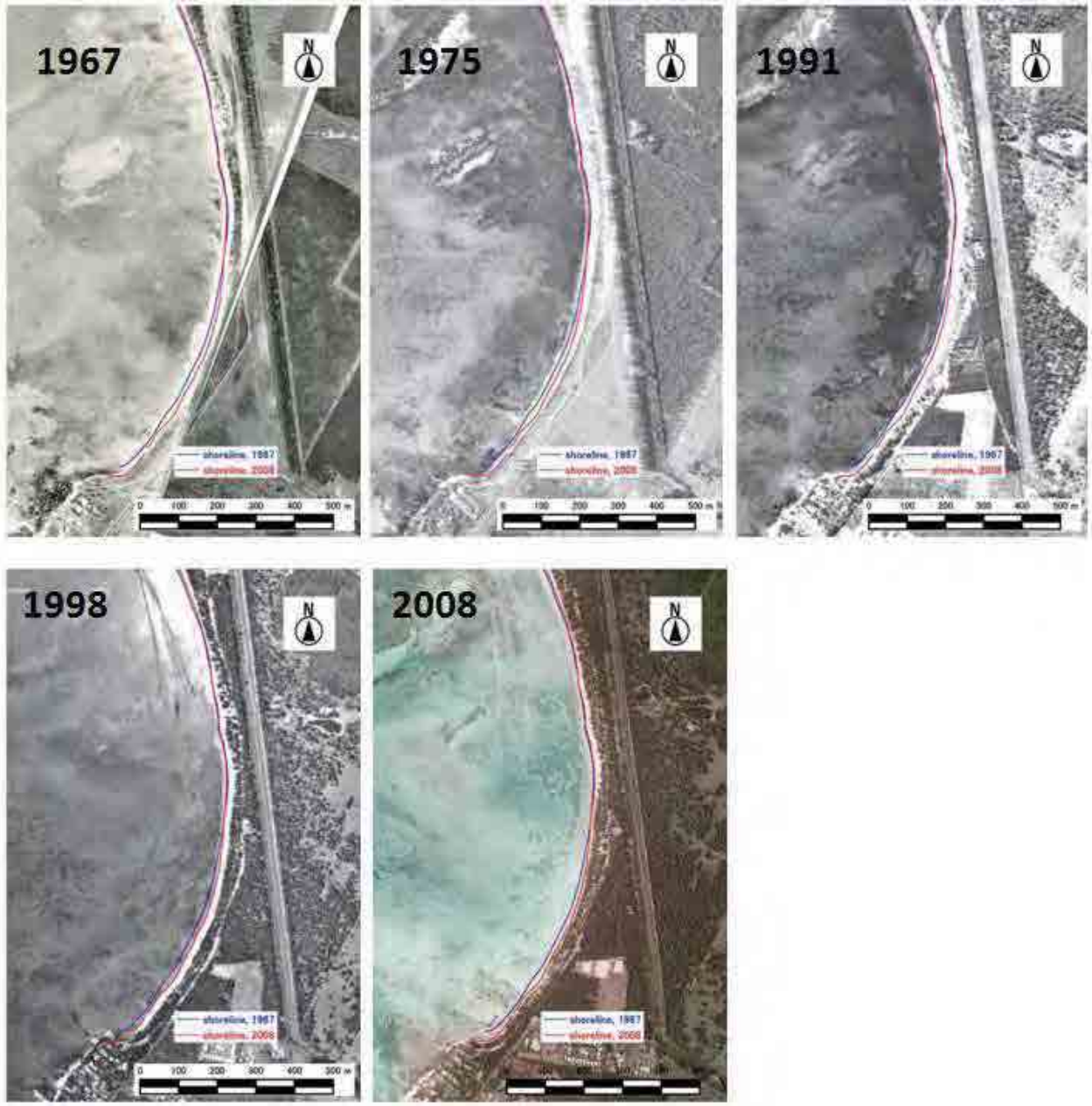
図 3.2.5 空中写真の比較（南側侵食エリア）（左:1967 年、右 2008 年）




出典：左) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、右)JICA 調査団

図 3.2.6 各エリアの土砂収支の比較

図 3.2.7は、1967年から2008年までの5時期のリーフ変化を示したものである。特に1998年から2008年にかけては、リーフ上の濃淡が急激に減少している様子が分かる。汀線近傍の濃い部分は海草藻場であることが、過去の資料より確認されている。




出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 3.2.7 1967 年から 2008 年の 5 時期のリーフ変化

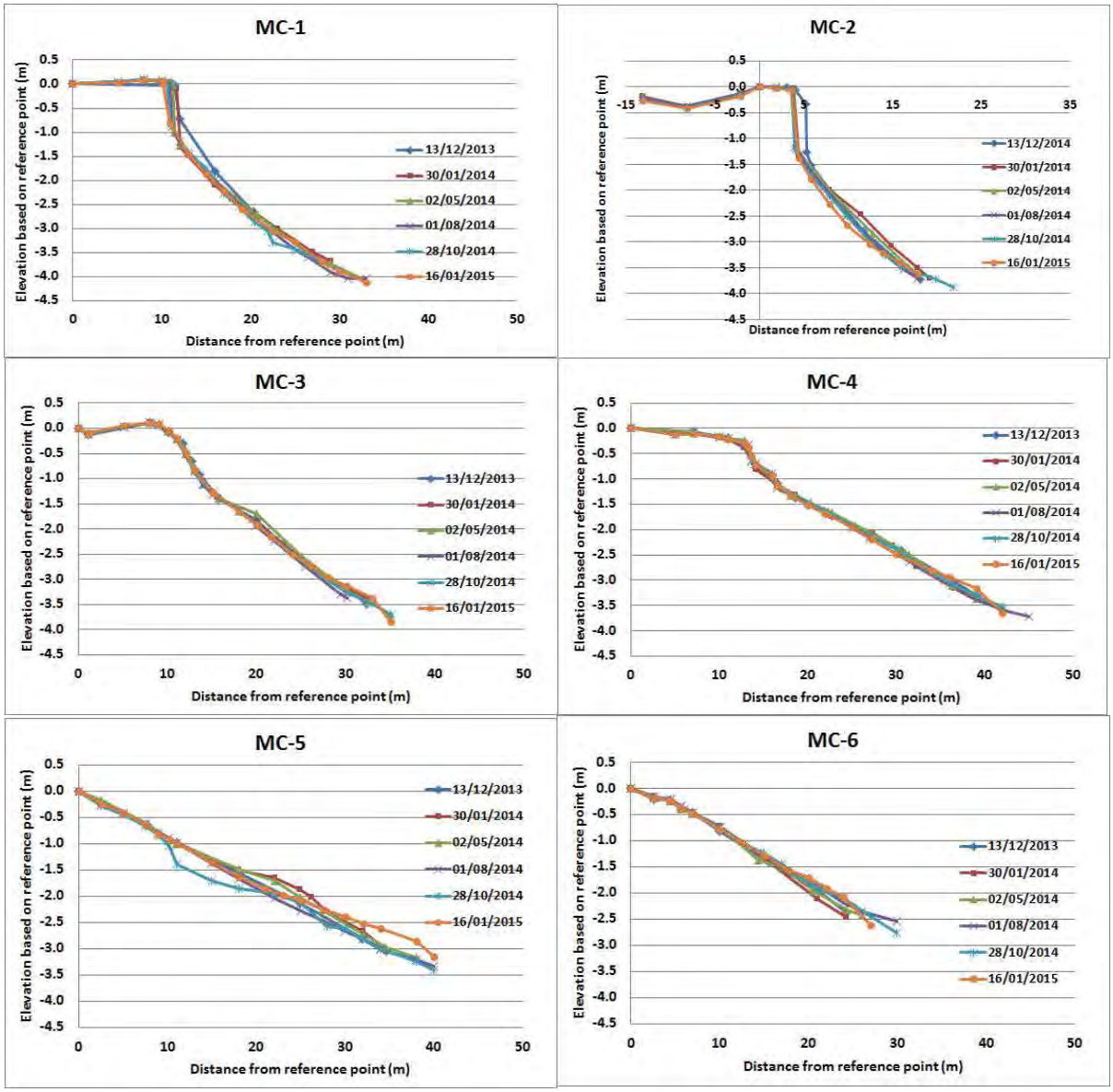
### 3.2.3 短期海岸変化（継続的モニタリング結果）

これまでモ国では、継続的かつ系統的な海岸モニタリングは実施されておらず、短期海岸変化についての定量的に示されるデータはほとんどなかった。当海岸は、本事業で提案された継続的モニタリングの実施海岸の１つであり、今後データの蓄積に伴って、当海岸の短期海岸変化の定量データが蓄積されていくことになる。約2km区間に8測線を設け、2013年12月よりほぼ3カ月毎に海岸モニタリング測量を実施中である。約1年間のモニタリング結果より、図 3.2.8に示す代表6地点の結果を示したものが図3.2.9である（すべてのモニタリング結果はサポーテイングレポートに示す）。これより、

出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 3.2.8 海岸測量位置図

- 恒常的に浜崖が存在する南側の L1、L2 地点では、それほど顕著な変動は見なれないが、1 年間で 1m 程度の浜崖の後退が生じている。浜崖の高さは約 1.5m 程度である。
- L5 地点では各観測時期での変動が他の地点に比べて顕著である。この地点は海岸線の方向が変化する地点であり、図 3.2.8 より若干凸型形状（堆積傾向）となっている。波の入射方向の季節的変動により、堆積域の位置が変動しているのではないかと推測される。
- それ以外の地点での顕著な汀線変化は見られない。




出典：MOESDDBM and JICA 調査団

図 3.2.9 代表6地点における継続的海岸モニタリング測量結果

### 3.2.4 海象、地形、底質、リーフ環境特性

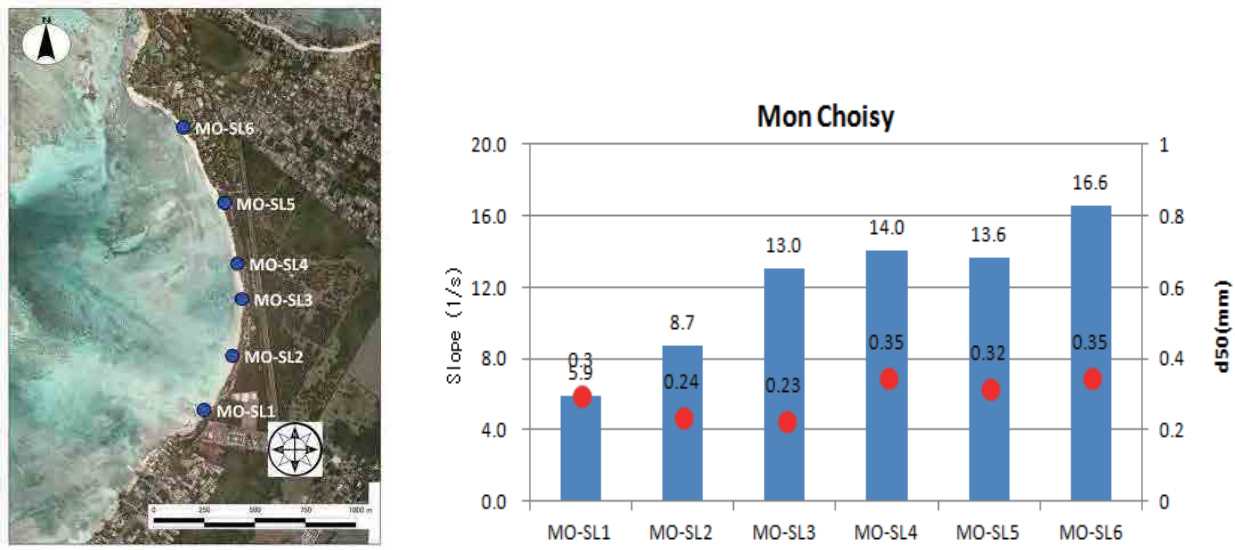
#### a. 気象・海象

当海岸に襲来する高波浪は、主には12月～3月のサイクロン襲来時に発生する。波向はサイクロンの経路に依存するが、卓越波向きとしてはW～NW方向と推定される。ただし約1km幅を持つリーフ上での波の減衰作用により、海岸に到達する波高は大きく低下する。海岸到達波高は、リーフ外の沖波波浪特性とともに、潮位条件に大きく左右され、海岸地形変化に影響を及ぼす海象条件としては、沖波波高が高く、かつ高い潮位の時である。現地での情報収集結果からも、公共海浜公園エリアの汀線後退と浜崖の形成は、サイクロン時期に生じることが分かっている。

### b. 地形・底質

当海岸沖側のリーフには2つの顕著なリーフギャップが存在し、海岸地形はこのリーフギャップの存在が大きく影響していると考えられる。特に公共海浜公園から北側にかけての凹型に湾曲した海岸線の形成には、北側のリーフギャップの存在によるリーフ上の波高、波向変化が大きく関係しているものと考えられる（図 3.1.1）。

当海岸は白色系のサンゴ砂で構成されており、サンゴが当海岸の砂の供給源であることは明らかである。図 3.2.10に底質および前浜勾配の沿岸方向分布を示すが、海浜砂の平均粒径（D50）は0.24mm～0.36mmの間に分布している。前浜勾配は、海浜公園南側では1:6～1:8程度と急勾配であるが、北に行くにつれて1:14～1:16程度にまで緩くなっていき、明らかな沿岸方向特性が見られる。




出典：左) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、右)JICA 調査団

図 3.2.10 底質および前浜勾配

### c. リーフ環境・水質

公共海浜公園の海岸線近くは全て *Syringodium* よりなる海草藻場となっており、以前からサンゴの分布は見られない。部分的に砂底の裸地がみられる。シルト分が多く、透視度は1m程度と非常に低い。2014年9月29日に行ったグラスボートでの現地調査では、以前は北部エリアに分布していたと見られるサンゴ群落の多くは死滅し、遺骸上にはサンゴに替わって大型海藻やソフトコーラルがみられた。1996年の航空写真及びその解析チャートをみると、Mon Choisy の南端からTrou aux Biches にかけてのラグーンには、岸礁及びバックリーフにより広い範囲でサンゴ生息域が広がり、現在生きたサンゴが殆どみられない岸礁でも、当時はより多くのサンゴが生息していたものと推察される。当時と比べると現在のサンゴの生息域は減少しており、分布域のサンゴでも一部が死滅していることからも、被度も同様に減少していると推察される。Trou aux Bichesでは2011年から2012年にかけてオニヒトデの大発生が記録されている。これより、隣接するMon Choisyでも同時期に被害を受けた可能性がある。また、一部は白化現象により死亡した可能性もある。ラグーン内では、地引網漁も行われており、サンゴ特に稚サンゴへの影響が憂慮される。

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果は、表 3.2.1に示す。海岸近くのクロロフィルa濃度は、1.6 ug/Lと高く、サンゴの生息として適さないレベル（サンゴ被度:10%以下）であり、富栄養化が著しい。当海岸は、下水道整備地区であるが、当海岸に入る家庭排水は主に吸収ピット（AP）やセプティックタンク（ST）からのものである。当海岸の富栄養化の要因としては、下水道に接続にしていないこれら民家やVilla、ホテル等からの排水の影響が大きいと考えられる。現在、AFRCによる水質モニタリングは実施されているが、水質分析の精度が低いため、ラグーンの詳細な富栄養化状態は明らかとなっていない。

表 3.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 1.60(*) | | | |
| | Turbidity (NTU) | - | | | |
| | $NO_3$-N (mg/L) | - | | | |
| | $PO_4$-P (mg/L) | - | | | |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | 794 | | | |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Sewerage Systems (Trunk Sewer), Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Grand Baie VCA:<br>SS: 114, AP: 291,<br>ST: 974, PL: 8 | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants.<br>Restaurant uses septic tanks. | | | |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | In pipeline for development, Study stage | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | None | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | Yes.<br>Area: 678 Ha | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

*: 水質調査は、海岸近くで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団

## 3.3 想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因

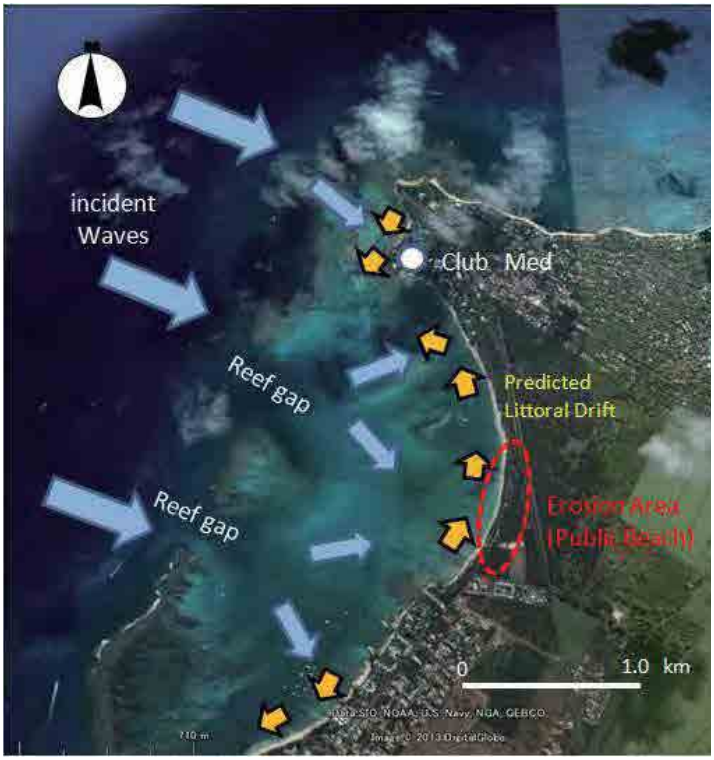
### 3.3.1 漂砂特性

基礎調査で実施した海浜勾配調査結果より、海浜勾配の明らかな沿岸方向特性が見られた。これより、全体的な漂砂移動方向として、南側から北側への漂砂移動の存在が示唆される。長期汀線変化解析より、南側エリアでの侵食傾向が確認されているが、一方でそれに見合った北側の堆積変化は見られない。当海岸のClub Medの北側で海岸線が急

激に変化し、凸形状の岩礁域が存在する。またここに位置するホテル関係者からのヒアリング結果より、維持管理用に投入した砂は南側に移動・堆積したことが確認されている。これより北側の岬付近では、リーフ地形の急変やリーフギャップにより、沿岸漂砂は北から南に反転している可能性がある。

これらの結果より総合的に判断した当海岸の漂砂特性として、下記に示すように推定される（図 3.3.1）。

- 北に行くほど海底勾配は緩くなる傾向が見られる。また南側では常に顕著な浜崖が見られることから、当海岸では、全体的には北向き漂砂が卓越していると推定される。ただしその漂砂量は小さい。
- 南側の侵食量に相当する堆積域が北側に存在しない。これより砂移動は単純に漂砂による沿岸方向移動だけではなく、特に細砂は岸沖方向移動を繰り返しながら沖側に流出し、その一部はリーフ上の深掘部あるいはリーフギャップを通じてリーフ外に流出している可能性がある。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 3.3.1 Mon Choisy の波浪および漂砂パターン

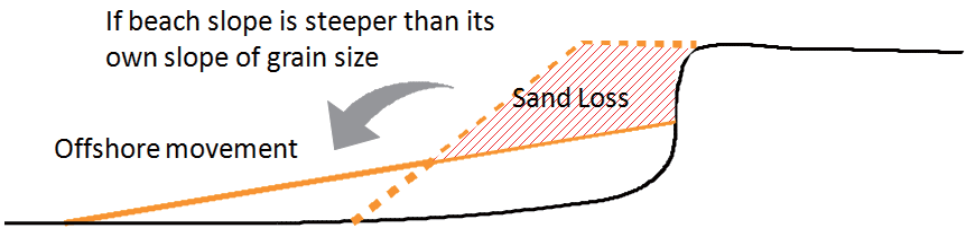
- 当海岸の砂の流入源として、1)リーフ上で生成される砂、および 2)他のエリアからの流入砂の 2 つの可能性がある。1)については、当海岸におけるリーフ上のサンゴ環境が悪いことから現在はほとんどこれによる流入は期待できないと考えられる。2)については、当海岸の南側では漂砂を遮断する明確な岬等が存在しないため、以前の南側エリアでの海岸施設が存在していない時期においては南側から砂が流入していた可能性もある。しかし、2 本の突堤が 1975 年～91 年の間に建設された以降は、この南側からの砂の流入はないと推定される。すなわち現在の海岸状況において、砂の流入の可能性は極めて低いと想定される。

### 3.3.2 当海岸の問題とその要因

当海岸における問題は、公共海浜公園南側エリアにおけるほぼ一定した海岸侵食である。また、侵食対策として実施された海岸整形（砂の投入）の効果がほとんど見られなかったことも挙げられる。その要因として、当エリアは緩やかな北向き漂砂が存在するが、以前は漂砂による流出量に見合った南側およびリーフ上からの砂の供給があった。しかし、近年の水質およびリーフ環境の悪化等に起因すると考えられる砂の供給量の減少が生じ、現在はほとんど供給がない中で、東向き漂砂は存在するため、トータルとして土砂損失が生じたと考えられる。更に、以前は汀線付近には波浪減衰効果が期待できる海草藻場が存在し、これが砂移動を緩和する効果があった可能性がある。しかし、現在海草藻場は著しく減少し、これにより砂移動は以前よりも加速している可能性がある。

また、対策として2011年に実施した砂投入は、ヒアリング結果より陸域の掘削土砂を用いたことが確認されており、その粒径は前浜部を構成する砂の粒径に比べて細かい可能性がある。また養浜後の写真より、整形時の海浜勾配は粒径に見合った勾配でなかった可能性が高く、これより投入した砂の大半は沖側に移動、流出したと考えられる。

また海岸侵食対策として、MOESDDBMが2011年に実施した海岸整形（3,800m$^3$の砂投入）は、近隣海岸（Point Pimente）における海岸沿いのホテル開発による掘削土砂（約3200m$^3$）および当海岸の陸域の砂（約300m$^3$）が使用された。これにより投入された砂は、現存する海岸砂に比べて細かい粒径であったことが想定され、投入された砂の粒径に対する安定勾配に対して急勾配であったために、その勾配が維持できず、沖側に移動した可能性がある（図 3.3.2）。




出典：JICA 調査団

図 3.3.2 粒径に応じた砂の沖移動

## 3.4 海岸保全対策の検討

### 3.4.1 概要

現在の海岸状況において、短期的に自然のサンゴ起源の砂供給量を増やすことは期待できない。これより公共海浜公園南側の侵食エリアに対する短期的対策としては、養浜やセットバック、場合によっては海岸施設を併用した物理的対策に頼らざるを得ない。ただし当海岸の最大の魅力である自然海浜の景観や、北部の一大リゾートエリアとしての海岸利用に十分配慮する必要がある。

一方、当海岸における海岸侵食の根本要因としてはリーフ環境悪化による供給源の減少や漂砂の加速が考えられる。これより長期的対策として、リーフ環境改善による砂供給量の回復を考えていく必要がある。

出典：JICA 調査団

図 3.4.1 対策範囲

### 3.4.2 対策の基本方針

短期対策

短期的対策としては、1)養浜、2)セットバック、3)構造物による対策、これらの組み合わせ案が考えられる。それぞれの対策の概要、および当海岸での適用性、評価を下表にまとめる。これらを踏まえ、提案する短期対策の基本方針を以下に示す。

表 3.4.1 南側の公共海浜公園における対策案の概要および比較

| 対策案 | セットバック案 | 養浜案 | 人工構造物案<br>（突堤、離岸堤、潜堤、等） |
|---|---|---|---|
| 当海岸での適用性 | 侵食域の殆どは海浜公園エリアであり、土地利用上、政府管轄下にある。また背後域には十分なスペースがあり、特に重要施設や構造物はない。これよりセットバックが可能な場所である。セットバックを実施することにより、海岸に構造物がない自然の景観を保持することは可能。ただし海岸線位置は徐々に後退することが予想され、背後のスペースが減少する。 | ・当海岸の海岸利用や現在の自然景観を維持する上では、構造物なしでの養浜、すなわち動的対策が望ましい。一方、構造物なしでの動的養浜の場合、投入後の砂の流出を如何に抑えるかが課題である。<br>・当海岸は、顕著な砂の堆積域が存在しないため、海岸内の砂を調達するサンドリサイクルの可能性はない。このため、養浜に用いる砂は、現在においては陸上からの購入砂に頼らざるを得ない。それによるコスト増が課題である。 | ・当海岸の海岸利用と現在の自然景観上、人工構造物の設置は極力避けることが望まれる。<br>・人工構造物のみによる対策は、単に短期的な陸域防護と、漂砂バランスを変えることにより堆積・侵食場所を変えるだけの機能であり、プラス効果（海岸線の前進）が生じた分、マイナス効果（海岸線の後退）が必ず生じ、周辺海岸への影響が生じる。<br>・養浜との組み合わせで、流出低減対策として構造物を配置することはありうる。ただし、海岸利用や景観に十分配慮する必要がある。 |
| 評価 | 適応可 | 適応可 | 推奨できない |

出典：JICA 調査団

- 当海岸の海岸利用と自然景観を維持するため、本調査団としては構造物なしでの定期的な砂投入による海岸維持を図ることを基本とする。
- 対策エリアが政府管轄下の海浜公園であることから、背後域の海岸利用に支障を来さない程度でのセットバックの可能性も合わせて考える。
- ただしその場合、動的状態を保ちつつの海岸維持となり、投入後の砂のある程度の移動、流出は免れられない。これを極力低減するとともに、コスト減に繋がるような提案を考える。

海岸保全の基本方針を考慮すると、定期的な養浜を行い、構造物の無い自然の景観を維持することを提案する。

長期対策

長期的な砂供給源の向上を図るため、長期対策としてはサンゴ・海草生息環境を向上するための水質改善、およびリーフ上の利用改善を図るものとする。また、リーフ上のゾーニングによるリーフ環境保全も今後観光省と連携しながら考えていく必要がある。

### 3.4.3 短期対策

#### a. 前提条件

提案する定期的な海岸整形を検討する上での前提条件を以下に示す。

- 対策範囲は公共海浜公園南側の約 450m 区間とする（図 3.4.1）。
- 過去 40 年間の汀線後退量は平均-12m 程度、最大-18m 程度である。また現在も緩やかではあるが、少しずつ汀線後退が生じていると考えられる。これは、言い換

えれば現在の海岸に対して安定化に向かおうとするための変形（汀線後退）が生じているものとも言える。これより、過度に現在の海岸線を前進させることは、更なる不安定化を招き、養浜後の流出も顕著となる恐れがある。これより、基本的に今の汀線位置を維持することを前提し、浜幅を増すことは考えない。

- 初期投入量として、現在の浜崖を解消する程度の量を投入するものとする。海岸モニタリング結果より浜崖部の平均勾配として 1/5、また当エリアでの安定海浜勾配として 1:8、海浜高として 4m と仮定する。これより、浜崖を解消するための必要投入量は 450m 区間で約 11,000$m^3$ となる。
- 長期の土砂収支解析結果より、当侵食域での土砂損失は 500$m^3$/年程度と算定された。これより、海岸維持のための定期的な砂投入は 2 年に 1 回程度とし、投入量として 1,000$m^3$/2 年と仮定する。
- 投入する砂は陸上採掘場からの購入砂とする（1,500MUR/$m^3$ と仮定）。

### b. 断面整形方法

提案する短期対策は、砂投入後の移動、流出をある程度許容し、定期的に砂投入を行うことにより海浜を維持する動的工法である。しかしながら、維持管理費の低減を目指す上で、養浜砂の流出を出来るだけ低減する方策が望まれる。その方策を以下に示す。

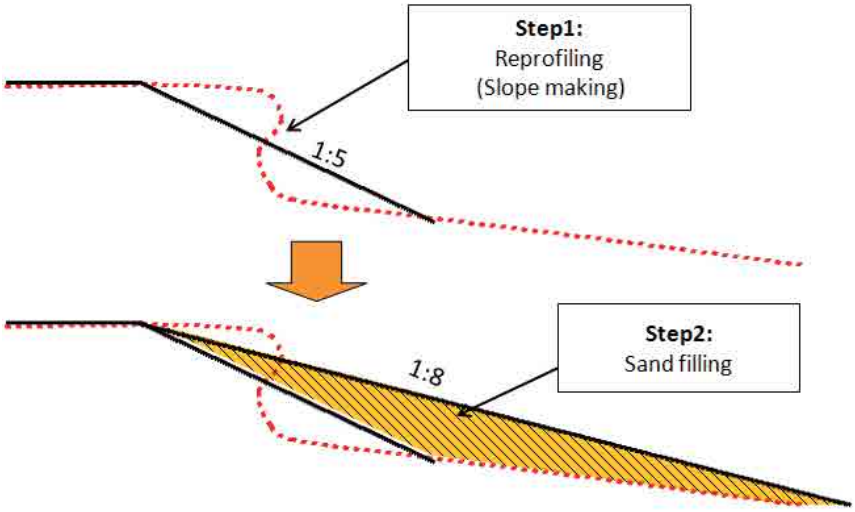
#### b.1 適切な粒径を持つ養浜砂の使用および粒径に応じた適切な海浜勾配の設定

砂は、高波浪時には沖側に移動し、その後の静穏時期に岸が側に移動するといった岸沖方向移動をしながら徐々に沿岸方向に移動していく。これより流出を低減する1つの方策として、投入した砂の沖方向への移動を極力抑えることが挙げられる。

海浜勾配は、海岸の砂の粒径に対応した安定勾配をもち、一般的には粒径が細かいほど海浜勾配は緩くなる。問題となっているパブリックエリア南側での海浜勾配は1:5～1:8で、砂の平均粒径は0.25mm程度である。これより、投入する砂は現在の海浜の砂の粒径と同等かそれ以上とし、その粒径に見合った勾配で投入する。場合によっては、安定化を高めることを期待し、意図的に粒径を大きくすることもあり得る。ただし粒径の違いは単に安定化だけでなく、海岸利用・快適性にも大きく左右するため、粒径の選択には海岸利用面に十分配慮する必要がある。また決して色彩の異なる砂を用いることは景観上、利用上避けなければいけない。特に当海岸のようなサンゴ礁の白砂が魅力のリゾートエリアでは、同じ色彩のサンゴ砂以外を用いることは許されない。

#### b.2 浜崖解消のための法面整形

当侵食エリアは恒常的に浜崖が存在し、浜崖高は高いところで1.5mを超える。浜崖の存在は、海岸を訪れる人々のアクセスに支障を来すとともに、浜崖面が固い土壌で形成されている場合は一種の直立護岸的機能を有することになり、波による変動域としての十分なバッファーゾーンが得られない。これより、養浜を実施する際に、現在恒常的に存在する浜崖を一度均し（Step1）、その上で砂を投入する（Step2）ことが望ましい（図3.4.2）。ただしその効果については、実施後のモニタリング結果を踏まえて検証する必要がある。




出典：JICA 調査団

図 3.4.2 断面整形

### c. 海浜変動域にある植林の一部伐採

南側の侵食エリアの一部前波浜部では、以前植林した木々（Casuarina Tree）の根元がむき出しとなり、恒常的に浜崖が見られる（図 3.4.3）。Casuarina Treeは強固な根を持つため、これも一種の壁的作用を持ち、海浜変動域での岸沖方向の砂移動、これによる静穏時の砂の回復を妨げる可能性がある。これより、支障を来すと考えられる一部木々の伐採、他品種への交換を促すことは、砂浜の安定化に寄与すると考えられる。

### d. 人工構造物対策の下手側への影響

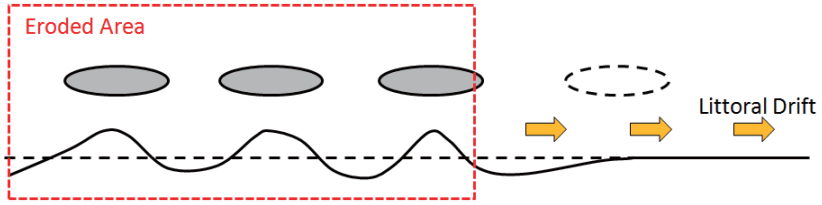
養浜した砂の流出低減を図る方策の1つとして、突堤や離岸堤（潜堤）等の海岸保全施設を併用し、海浜の静的安定化を図る方法が考えられる。この場合、

- 対象となる南側の侵食エリアの砂浜安定化を図る上で、北側での突堤の設置、または離岸堤、潜堤（人工リーフ）等の海岸施設の設置は有効であるが、基本的に海岸全体の砂の供給量は変わらない（図 3.4.4）。これにより侵食域での安定化が図れる一方で、漂砂の下手側で新たな侵食が生じる可能性がある。このため、海岸施設による静的安定化を図るためには 1 つの漂砂セル全体での配置計画が必要である。
- 上記の観点より、当海岸で一度構造物を設置すると北側への影響が生じ、これを解消するために、連続的に突堤等を設置していく必要が生じ、これによる当海岸の自然景観、海岸利用面に対する魅力の低下を引き起こす。

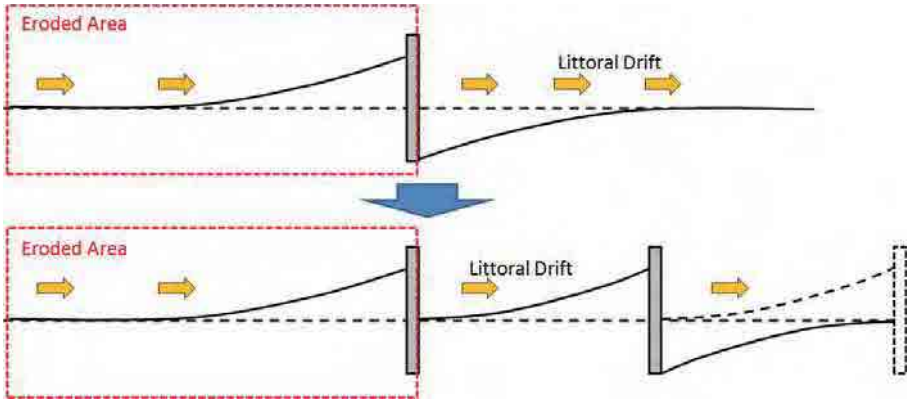
これより、当海岸での人工構造物の設置は極力避けるべきである。

出典：JICA 調査団

図 3.4.3 前浜部における木々の状況




(1) 離岸堤（人工リーフ）の場合




(2) 突堤の場合

出典：JICA 調査団

図 3.4.4 構造物対策による漂砂下手側への影響

### e. 短期対策案のまとめおよび概算工事費

提案する短期対策およびその概算工事費を表 3.4.2にまとめる。

表 3.4.2 Mon Choisy における提案する短期対策･概算工事費

| 項目 | 内容 |
|---|---|
| 対策範囲 | 南側の公共海浜公園エリア（約450m区間） |
| 対策案 | 適切な粒径を持つ砂を用いた動的養浜（定期的な砂投入＋海岸整形） |
| 砂の仕様 | D50=0.25mm以上　（現況の海岸砂以上）<br>組成および色：サンゴ系白砂（海岸利用・景観重視） |
| 投入量 | 初期投入：約11,000m$^3$<br>2回目以降（定期投入）：約1,000m$^3$/2年 |
| 概算費用（参考）<br>（注：直工費のみ、VAT含まず） | 初期投入：16.5百万MUR（1m$^3$当たり1,500MURを仮定）<br>（約66百万円、1MUR=4.0円を仮定）<br>2回目以降（定期投入）：1.5百万MUR/2年<br>（約6百万円） |

出典：JICA 調査団

## 3.4.4 長期対策

### a. 水質モニタリングに基づく水質改善対策の実施

当海岸における富栄養化状態の実態が明らかとはなっておらず、リーフ環境変化との因果関係に関する定量データが不足している。これより分析精度の高い水質モニタリング調査の実施、および地下水を通して海岸に流入する汚濁負荷の実態を把握するための調査を実施する必要がある。これらの調査結果を踏まえ、下水道に整備されていない民家やVillaに対し、下水道整備の促進していくことを長期対策として提案する。

### b. バックリーフでのサンゴ移植と保護区の設定

岸寄りの礁湖内の3分の1は*Syringodium* の藻場であるが（Daby, 2003）、透視度が悪く、シルト分が海底に堆積し、Claの値も高く、水質が悪く、サンゴの生育環境としては適さない。一方沖合のバックリーフでは、かつてサンゴが生育していたことがわかっている。これより砂の供給源であるサンゴの回復を目指すことを目的とし、所定の水質環境を維持した上でのバックリーフでのサンゴの移植は可能と考えられる。礁湖が南側に連続して続いているTrou aux Biches沖には、礁湖内には卓状及び枝状の*Acropora*を中心としたサンゴ群集が存在する。この群集内の、折れたサンゴや群体の一部をドナーとして、沖合のバックリーフへの移植を行うことを提案する。また移植後は、付近を保護海域または任意の保護海域に指定するとともに、移植群体の生存、生育状況についてモニタリングを行うことも必要である（図 3.4.5）。

### c. 岸側近くでの利用規制による海草藻場の保護

海岸近くでの波浪低減の促進、これによる漂砂の低減を目的とした海草藻場の保護を提案する。そのためには、現在海岸近くでのレジャーボートの利用、アンカーリングを含めたリーフ上での利用規制が必要と考えられる。但しその効果を明らかにするために、まずはパイロット的な取り組みから始める必要がある。

出典：JICA 調査団

図 3.4.5 Mon Choisy 礁湖でのサンゴと海草藻場の保護海域の提案

## 3.5 海岸維持管理計画

### 3.5.1 現在の海岸管理の課題に対する改善案

当海岸の現状を踏まえて、海岸維持管理面、土地利用管理面および海岸利用管理面における個別の課題および改善案については、Volume1の5章の海岸維持管理計画の中で記載している。また、殆どの対象海岸に共通する制度や実施体制に関するソフト的な課題

と改善案についてもVolume1の5章に記している。ここでは、現在の海岸管理の課題に対する改善案を以下に示す。

**a. 海岸上の植栽に関する課題**

- 海岸植栽に関する適切な配置および構成
- 樹種の適切な選定（可能な限り在来種の選定）

**b. 浜崖形成に関する課題**

- 関係機関連携によるモニタリング体制の強化
- 海岸域での植栽に関する適切な管理

**c. 公共海浜公園内への車両進入に関する課題**

- モーリシャス全国での段階的な駐車場の整備
- 標識や案内板の設置、低木や花木の配置による海岸域と駐車スペースの境界の明確化

**d. 海岸清掃に関する課題**

- リーフレットなどを用いた借地者への海岸清掃に対する意識の高揚
- 地方行政による定期的な視察・指導
- 新たな海岸清掃体制の確立と適切な海岸清掃の実施義務に関する借地契約書への明記

**e. 既存海岸施設に関する課題**

- 直立護岸の形状から透過式傾斜護岸（植栽）等への改修
- 既存施設の効果の検証結果に基づく、突堤の撤去または改修

### 3.5.2 海岸保全計画に基づく海岸管理計画

ここでは、上記の海岸保全対策に対する管理運営面で考慮すべき事項を示す。当海岸の海岸保全計画では、養浜（適切な粒径）＋海浜整形の対策が示された。

当海岸では全体的に侵食傾向にあり著しく砂が堆積している箇所が存在しないことから、現時点では陸上の2箇所の採砂場からの購入砂を利用する以外に選択肢はなく、その場合、多大なコストがかかり、提案する保全対策そのものの妥当性も問われる。対象エリアは公共海浜公園であるため、モ国政府が対策を実施していくことになるが、海岸維持に必要な白砂をいかに安価に調達するかが今後の海岸維持管理における最大の課題である。可能性としては、以下の3つが考えられる。

1) 堆積が問題となっている箇所での浚渫砂の問題海岸への利用

2) リーフ沖の海底砂の利用

3) ラグーン上の堆積砂の利用

1)については、例えば航路浚渫砂を利用することは、現在も一部で計画されている。浚渫砂を有効利用するためには、関連機関との連携、包括的視点での土砂管理を実施していく必要がある。

2)については、現在MOIを中心に、沖側のポテンシャルエリアの海底調査が開始された。今後、更なる詳細調査を行うとともに、それらの情報を共有する必要がある。また一般

にリーフ沖側の海底砂の取得には、特殊浚渫船を用いた海上施工、それに伴うコスト増の可能性がある。これら実施計画についても合わせて検討していく必要がある。

3)については、過去に実施されてきた商用目的のためのラグーンからの砂採取が2000年以降法律で禁じられ、現在は一切行われていない。一方で、現在大量の砂がラグーン上に存在していることがある程度分かっている。現象把握としての、砂のポテンシャル調査、環境影響検討を行うとともに、可能性が見いだせる場合、今後法律の改正等も含め、モ国政府内で更なる議論が必要となる。

なお、これらの土砂管理についての詳細はVolume 1の5.3項以降に記載する。

### 3.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）となる。

また、将来海面が上昇した場合に、海面上昇に伴う侵食が想定される。その機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量 ＋ 海面上昇により侵食量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

## 3.6 実施に向けた今後の課題

### 3.6.1 養浜砂の確保

当海岸には顕著な堆積域が存在せず、海岸部からサンドリサイクル用の砂を調達することは不可能であるため、外部からの調達が必要である。現時点でサンゴ起源の白砂が得られるのは南西部Lemone南側に位置するMacondeおよび南部のSt. Felix の2箇所の採砂場に限られ（但しSt. Felixは2014年現在稼働停止中）、生産量も少ないため、新たなポテンシャルエリアを早急に探す必要がある。Mon Choisyでは、移動した砂の一部がリーフギャップから沖に流出している可能性があり、MOIが2013年に実施したリーフギャップ周辺での海底調査より砂の堆積エリアが存在することが確認されている。今後この海底砂の特性や堆積量を把握するための詳細調査が必要であるが、このような沖の堆積砂を養浜砂として利用していくことは、モ国として養浜砂を今後確保していく１つの案として挙げられる。

### 3.6.2 継続的な海岸モニタリングの実施およびその結果を踏まえた順応的管理

当海岸で提案する保全対策は構造物を伴わない動的養浜対策であるため、波による移動・流出は避けられず、特にサイクロン襲来時には顕著な移動が生ずる可能性がある。これより、継続的な海岸モニタリング結果を踏まえ、状況に応じて実施時期や投入量を順応的に管理していく必要がある。そのシステムの構築と運用体制の確立が求められる。

### 3.6.3 水質・サンゴ環境モニタリングの実施とサンゴ移植・海草藻場再生のパイロット事業の実施

長期対策として提案するサンゴ移植や海草藻場の保護については、現状では実施レベルまで至っていない。また、その根拠となる水質変化やサンゴ生息状況を定量的に評価できる定期的なモニタリングが絶対的に不足している。水質やサンゴの継続的なモニタリングの実施が求められるとともに、事業としての確実な実施を目指す上で、まずは効果を明らかにするための試験施工（パイロット事業）の実施が必要である。

# Chapter 4

*Bras d'Eau*

# 4 Bras d'Eau

## 4.1 概要

本海岸は本島の北東、岬に挟まれた湾に位置する。波はサイクロンにより北東及び東から、また貿易風により東及び南東から来襲する。海浜は湾の北側にあり、溶岩で形成された岬で分断されている。湾口ではサンゴ礁が形成されているが、湾奥では淡水が流入するためサンゴ礁は発達していない。

海岸にはホテル、別荘、公共海浜公園が位置している。侵食・堆積による変化が比較的大きく、漂砂機構の解明は重要であるが、背後地に重要な施設や構造物は存在せず、対策の緊急性や重要性は低くいため被災等の問題は少ない。

## 4.2 現況把握

### 4.2.1 海象特性

海岸はモーリシャス本島の東、湾の北側に位置し、東及び南東からの波を受ける。主要な波は南東貿易風と一部サイクロンにより発生する波である。大潮時の潮位範囲はBlue Bay 等での観測から0.86mと推定される。なお、ラグーン内の水位は、潮位に加え高潮と波によるセットアップを考慮しなければならない。

### 4.2.2 海岸状況

海岸は東に開口部を有する湾の北側に位置し、前面には幅2㎞におよぶサンゴ礁が存在している。（図 4.2.1を参照) 湾奥では淡水が流入するために、サンゴは生育せず、マングローブが存在する。海岸はいくつかの岬により分断され、岬は玄武岩、岬間の海浜はサンゴ砂で形成されている。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団が加工

図 4.2.1 Bras d'Eau の海岸状況と写真位置

東側にはホテルが位置しており、砂浜が広がっている。いくつかの岬が並び、西側の一部ではほとんど砂浜が無く、直立護岸があり、背後は借地となっている。それより西は小型の玉石で形成された自然の突堤があり、その背後には公衆便所が位置している。また、西側では沖にマングローブの島があり、その背後の海浜で砂が堆積している。（図4.2.2を参照）

写真A 東側ホテル前面の海浜と護岸

写真B 東側借地前面の海浜と護岸

写真C マングローブの侵食による倒壊

写真D 公衆便所

写真E 公衆便所前の海浜

写真F 西側堆積域と前面のマングローブ

出典：JICA 調査団

図 4.2.2 Bras d'Eau の海岸状況

### 4.2.3 リーフ環境

現地調査では、湾奥でのサンゴ被度はゼロで、*Halodule*の海草藻場が広がっていることが確認された。（図 4.2.3を参照） また、稚サンゴ*Acropora*が確認されないため、天然更新は望めない。海岸付近に緑藻が見られ、透視度は2mで、シルト分は少ない。湾奥には

マングローブおよびその枯木が見られる。1976年の航空写真では海草藻場と推察される藻場が見られ、これらは現在も広がっている。

出典：JICA 調査団

図 4.2.3 Bras d'Eau でのスポットチェック法による調査結果

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表 4.2.1に示す。Bras d'Eau は、湾奥にある河川の影響を受け、海岸付近は塩分濃度が低い。また、海岸付近のクロロフィルaは、0.86 ug/Lであり、サンゴの生息としてあまり適さないレベル（サンゴ被度：10～20%）であるが、濁度は1.13 NTUで、概ね良好なレベル（サンゴ被度:20～50%）にある。クロロフィルaがやや高い要因としては、湾奥の河川からの河川水の流入の影響が考えられる。当海岸は、下水道未整備地区であり、排水の大半が吸収ピット（AP: Absorption Pit）を通して海岸へ流入されている。

表 4.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions |
|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.86(*) |
| | Turbidity (NTU) | 1.13(*) |
| | $NO_3$-N (mg/L) | |
| | $PO_4$-P (mg/L) | |
| Population density behind coast(per km$^2$) | | 299 |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | P. de Flacq VCA<br>SS: NIL, AP: 2389,<br>ST: 21, PL:119 |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants.<br>Restaurant uses septic tanks. |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | NIL |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | None | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | None | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

*: 水質調査は、海岸近くで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団

### a. 海岸利用

海岸には湾口では別荘やホテルが位置している。また、湾奥には公共海浜公園があり、駐車場や公衆便所が整備されている。

海岸の特性を表 4.2.2にまとめて示す。

表 4.2.2 Bras d' Eauの海岸特性と課題

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 基礎調査番号 | | No. 7 (Sediment Cell No.4) | PB番号 | No.35 |
| 海岸名称 | | Bras d'Eau | | |
| 自然・地形特性 | 海象条件 | 東側からの波浪が来襲する場所に位置する。 | | |
| | 地形条件 | 前面に幅1km から2kmのリーフを有する砂浜海岸であり、湾奥に位置する。 | | |
| 環境特性 | サンゴ礁 | 湾奥は河川（淡水）の影響があり、マングローブが生育し、サンゴが生息し難い環境にあり、海藻が繁茂している。海岸近くのサンゴ被度は0%である。リーフエッジ周辺では被度30%程度である。 | | |
| | 水質特性 | 透明度は湾奥で2m、リーフエッジ付近は20m程度ある。湾奥の水質は背後の河川の影響を受け、富栄養化の傾向にあるが、沖合の水質は比較的良好である。 | | |
| 海岸変形特性 | 災害・構造物 | 浜崖の発生があり、海浜整形が実施されている。また、一部直立護岸が存在している。 | | |
| | 海岸変形 | 航空写真による地形判読結果によれば、最大0.3m/yearの侵食、0.8m/yearの堆積が生じている。沿岸漂砂だけではなく、岸沖漂砂による汀線の前進・堆積もみられる。 | | |
| 海岸利用特性 | 海浜利用 | 湾奥には公共海浜公園があり、背後に海岸林が存在する。公園には駐車場と公衆便所が位置している。 | | |
| 課題 | | 海浜公園の公衆便所前面で浜崖の発生及び長期的な侵食が見られ、施設の維持管理に問題を生じる可能性がある。 | | |

出典：JICA 調査団

## 4.3 海浜変形と漂砂特性

### 4.3.1 海浜変形

#### a. 汀線変化

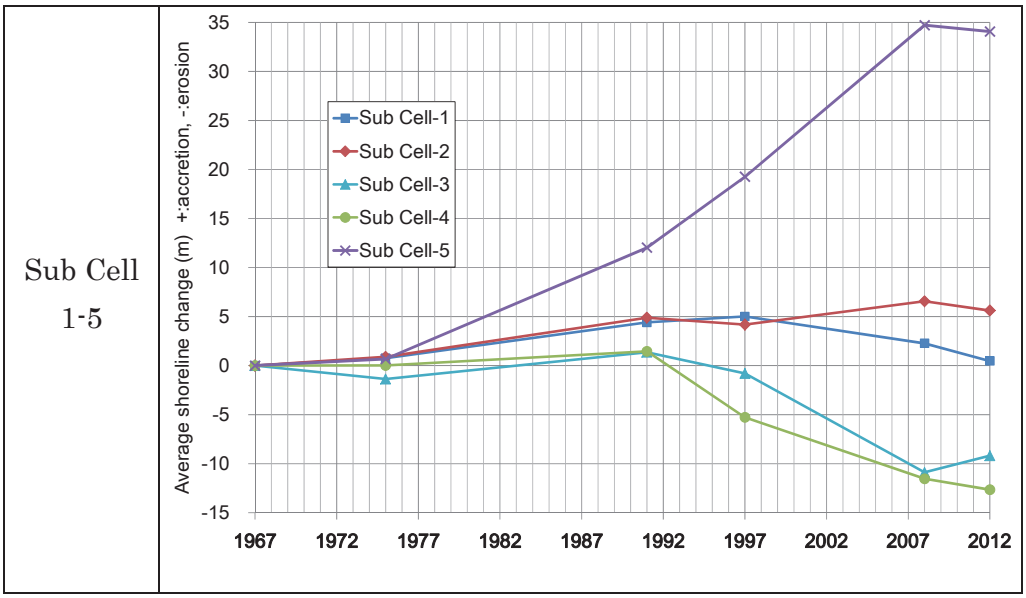
当海岸の汀線の変化及びサブセルに分割して航空写真より検討した範囲を図 4.3.1に、侵食堆積の状況を図 4.3.2示す。長期的変化は、湾口のサブセルNo.1では安定、サブセルNo.2では堆積、サブセルNo.3とNo.4では侵食、湾奥のサブセルNo.5では堆積となっている。

各サブセルの時系列変化は、湾奥のサブセルNo.5では継続的に堆積しており、1967年から2012年の45年間で35mの前進、堆積量としては10,000m$^3$以上となっており、その変化は1991年以後で顕著である。サブセルNo.3とNo.4では、1991年以後で約10mの侵食を示している。すなわち、1991年以降、サブセルNo.3とNo.4 の侵食と、No.5 の堆積が対応し、侵食量と堆積量はほぼ一致している。なお、海浜全体の土砂収支は大きな変化を示していない。

サブセルNo.4に公衆便所が位置し、侵食の影響を受ける可能性のあることから問題となっている。2014年1月のサイクロンにより浜崖の発生が見られた。海浜モニタリングの2013年11月と2014年1月の結果を比較すると、公衆便所前で侵食、湾奥で堆積となっている。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団が加工

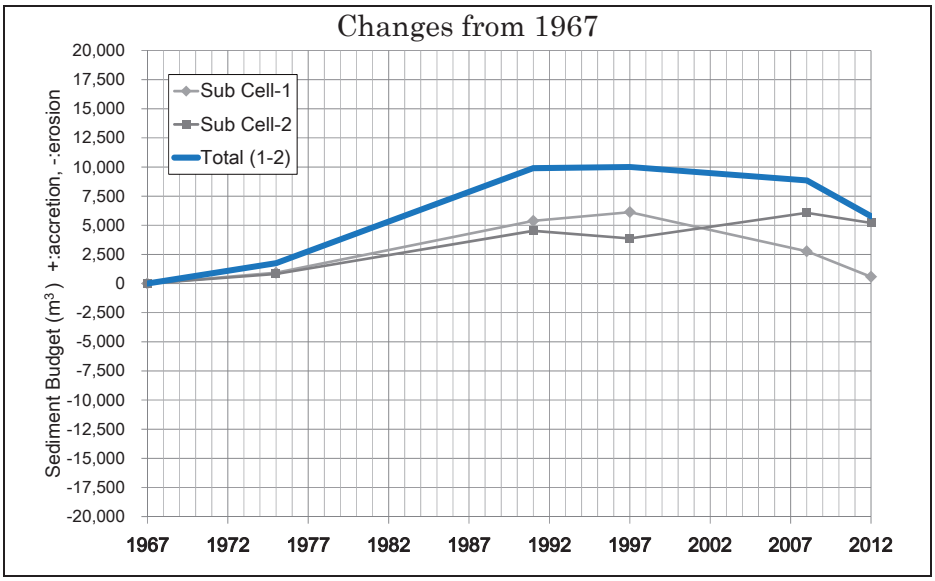
図 4.3.1 Bras d‘Eau の検討範囲と汀線変化状況




出典：JICA 調査団

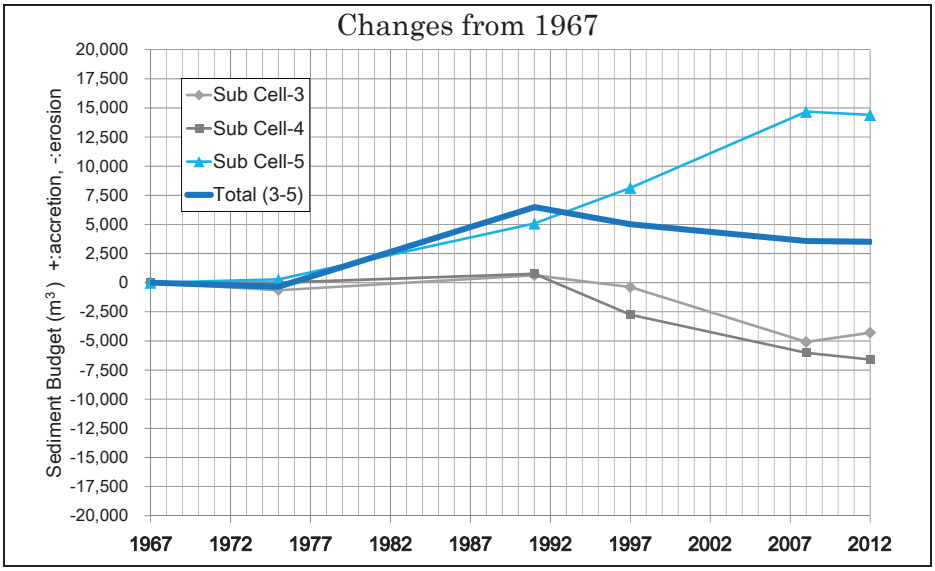
図 4.3.2 Bras d'Eau における汀線変化

海岸の各サブセルにおける土砂収支を図 4.3.3と図 4.3.4に示す。全体としては1967年以来、1万$m^3$弱の堆積となっている。1967年から1991年までは増加の傾向を示していたが、それ以後は安定、または侵食の傾向を示すが変化は大きくない。ここで顕著なのは、サブセルNo.3とNo.4の侵食がサブセルNo.5の堆積とほぼ一致していることである。




出典：JICA 調査団

図 4.3.3 土砂収支 (Sediment Cell No.4, Sub Cell-1-2)




出典：JICA 調査団

図 4.3.4 土砂収支 (Sediment Cell No.4, Sub Cell-3-5)

### b. 海浜モニタリング

海浜の横断形状変化を定期的に把握するために海浜モニタリングが行われてきた。この海岸では、西から東へ、BD-1、BD-2、BD-3、BD-4の4測線を図 4.3.5に示すように設け、約3か月間隔で測定を行った。

出典：JICA 調査団

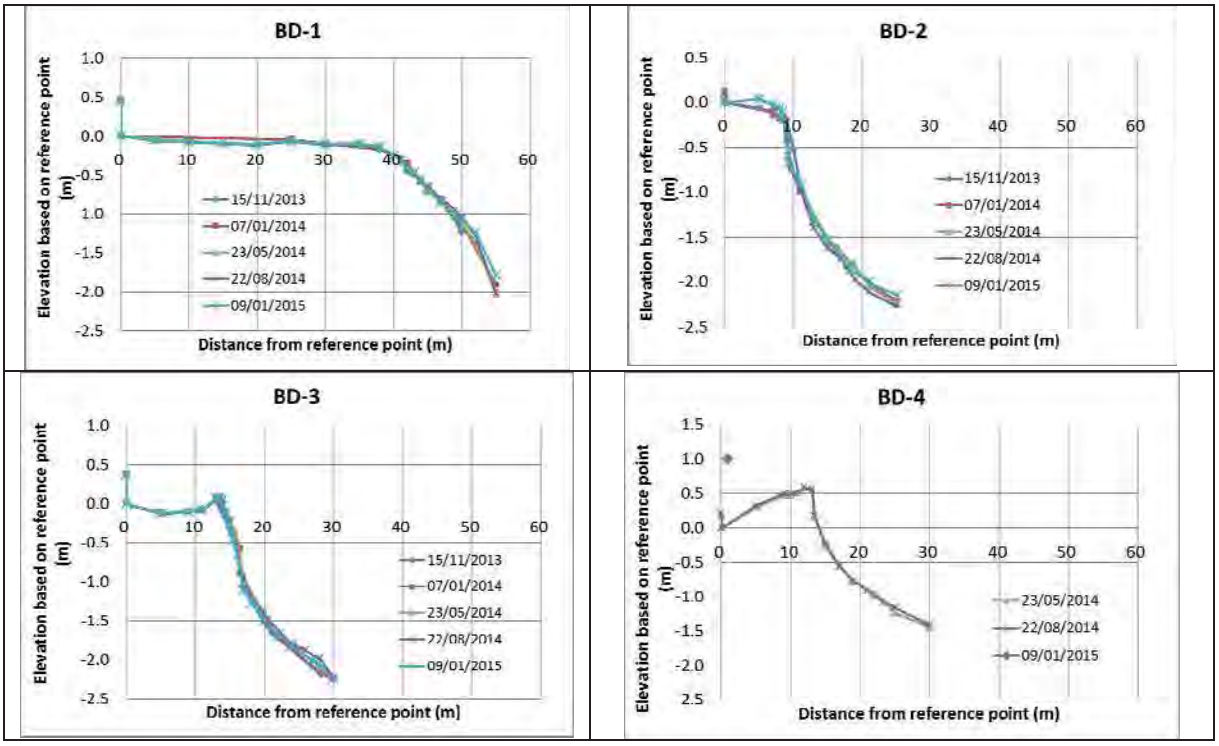
図 4.3.5 海浜モニタリングの測線配置図

海浜形状について、2013年11月から2015年1月までの5回にわたり測量した結果を図4.3.6に示す。ここで、測線BD-1は長期的には堆積域、BD-2、BD-3、BD-4は侵食域に位置している。堆積域では海浜勾配が緩く、侵食域ではきつくなっている。なお、地盤高は相対的なものであり、絶対高とはなっていない。

2013年11月の横断形状を基準としては、それからの断面積の変化を時系列として図4.3.7に示した。特徴としては、季節的変化があることと、長期的変化と最近の変化が異なることである。測線BD-1とBD-3では2013年11月から2014年9月にかけて堆積を、その後2015年1月までには侵食を示し、1月には2013年11月の断面積まで回復している。一方、

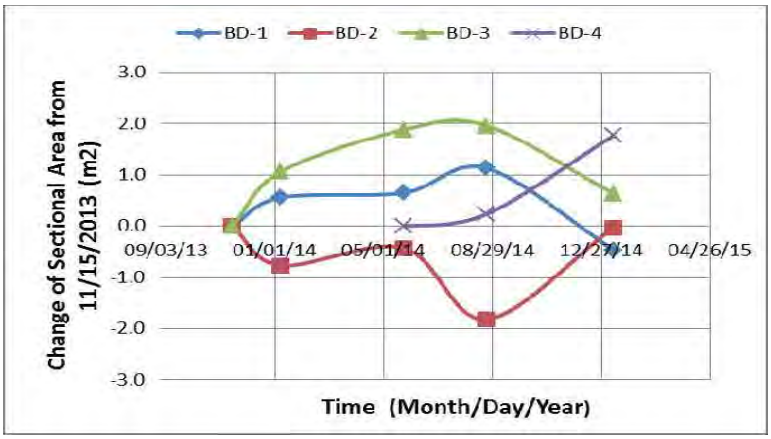
BD-2ではこれとは反対に、2014年9月までは侵食を示し、2015年1月には回復している。また、BD-3では長期的には侵食となっていたが、この期間では堆積となっている。

これらの変化は、季節的な波浪条件の変化および海浜前面のマングローブや海草の変化が関係していると考えられる。観測期間が短いことからさらに観測を継続することが必要と考えられる。




出典：JICA 調査団

図 4.3.6 Bras d'Eau の海浜モニタリング結果




出典：JICA 調査団

図 4.3.7 Bras d'Eau の海浜断面積変化

### 4.3.2 漂砂特性

この海岸では地形特性から、湾口から湾奥に向かう西向きの漂砂が生じていると考えられる。海浜の前面には溶岩による岩礁、サンゴや海草による浅瀬、湾奥ではマングローブが存在している。侵食、堆積が部分的であることから、影響の考えられるものとして、海浜前面の状況を調べた。

リーフ内の1975年以後の状況を図 4.3.8から図 4.3.11に示す。2008年の衛星写真と比較して、それ以前の航空写真では、海浜前面はマングローブや海草藻場が広い範囲で存在している。特に侵食が問題となっているサブセルNo.4 の前面では、2008年の衛星写真では一部岩礁と思われる影が見られるが、沖では滑らかで特に海草等が存在していることは確認されていない。一方、それ以前の航空写真では、リーフ内に岩礁、マングローブまたは海草藻場と想定される影が見られる。これらの影が示すものについて情報が不足しており特定することはできなかった。ただ、現在の状況から、岸近くはマングローブ、沖は海草藻場と想定される。これらの影は1991年の最も広範囲に存在し、それ以後は徐々に消失している。

マングローブおよび海草は波浪や流れを減衰させ、漂砂量を減少させる機能を有することから、その消失により漂砂量が増加し侵食が生じたものと推定される。また、沿岸漂砂が卓越することから、侵食された底質が沿岸漂砂の下手に移動し、湾奥のサブセルNo.5 に堆積したものと考えられる。

沿岸漂砂の卓越する海岸で、沖からの漂砂の供給が減少すると、最も沖の海浜で侵食が生じる。しかし、この海岸ではサブセルのNo.1とNo.2ではほぼ安定で、漂砂の下手であるNo.3とNo.4で侵食が生じ、No.5で堆積となっている。このことから、No.3とNo.4の前面での海草藻場等の消失が侵食をもたらしたものと考えられる。

来襲波の時期的な変動によりこのような状況が生じることも想定される。しかし、対象海岸は湾の奥に位置しており、来襲波の波向きの変動の影響は受け難く、このような状況は生じていない。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団が加工

図 4.3.8 1975 年の航空写真による Bras d'Eau の海浜及びリーフの状況

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団が加工

図 4.3.9 1991 年の航空写真による Bras d'Eau の海浜及びリーフの状況

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団が加工

図 4.3.10 1997 年の航空写真による Bras d'Eau の海浜及びリーフの状況

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団が加工

図 4.3.11 2008 年の衛星写真による Bras d'Eau の海浜及びリーフの状況

## 4.4 海岸保全対策

### 4.4.1 海岸保全の課題

海浜全体としては堆積の傾向にある。しかし、公衆便所の前の海浜が侵食され、また低平地での浸水の危険がある。侵食の原因となったのは、海浜前面のマングローブや海草藻場の消失であり、その保存、再生が求められる。そのほか、海浜の維持管理も課題である。

**a. 海浜公園前の侵食**

2004年に建設された公衆便所の前浜が侵食の傾向を示し、サイクロンにより浜崖が生じ、海浜の利用に支障を来している。なお、海岸の一部では直立護岸が建設されており、その前面の洗掘や周辺海岸への影響も懸念される。現状で対策を実施しない場合には、公共海浜公園と公衆便所がサイクロンによる被害を受ける可能性がある。

**b. 低平地の浸水**

湾の西での波の作用が小さいことから堆積海浜の地盤高が低いため、高潮や豪雨の際には、道路や海浜公園の浸水が問題となる。また、降雨の際に、海浜背後の湿地から地下水が流出し、これがサイクロンの波浪作用と組み合わさり、侵食が助長されるのではないかとの懸念がMOESDDBMより表明されている。

**c. マングローブ、海草、サンゴの劣化**

海岸の侵食、堆積はマングローブや海草藻場の生成、消失が主な原因と考えられ、その対策が求められる。長期的には、現在存在するマングローブや海草藻場の消失、海面上昇による浸水の激化、海水温の上昇の伴うサンゴの劣化などによる影響が想定される。

サンゴの劣化は海浜砂の供給源の減少と消波機能の低下をもたらす。これらへの対応は短期的には困難なことから、現在から準備する必要がある。

**d.　海浜の維持管理**

これら課題への対策については、短期対策として浜崖の発生時に海浜整形や養浜を実施する維持管理事業で対応する案、長期的には公衆便所の移転案、マングローブや海草の移植案が考えられる。

### 4.4.2　短期対策

海浜整形や砂のリサイクリングは費用がかからないが、モニタリングも含めた維持管理を必要とする。公衆便所の駐車場については、高潮やサイクロンにより公衆便所前が侵食されていることによるリスクを避け、安全性を確保するために、道路の反対側への移転を提案する。なお、堆積域の現在駐車場となっている場所に公衆便所を移転することは利用者には便利になると考えられる。これらの状況から、当面はモニタリングと海浜整形等で対応し、長期的には公衆便所の移転を必要に応じて進めることが妥当と考えられる。これらは公共海浜公園を管理しているBeach Authorityが実施することが適当である。

養浜地点は、公衆便所前の侵食域、約100mの区間とする。養浜は平均として5年間に侵食される量、年間約2m$^2$/m*5年*100m=1,000 m$^3$とする。養浜砂は、沿岸漂砂の下手の堆積域、約200m離れた地点より採取する。なお、この量はサイクロンによる一時的な侵食や長期的な侵食の状況を海浜モニタリングの結果を基に調整する。

一部、この海岸では直立護岸が存在し、前面の洗掘を助長することから、この直立護岸を撤去または緩傾斜護岸に改築することを提案する。これらは、借地人が実施するのが適当である。将来にリスクを軽減する意味で、護岸を撤去することが望ましい。

地下水の海岸侵食への影響に関しては、基本的な状況、すなわち地下水の変動と侵食の関係が明確になっていないこと、地下水の低下対策を図ることによる関連する湿地環境への影響が想定されることから、観測や調査が必要と考えらえる。これらの調査は湿地を管理している機関が実施するのが適切である。現在、地下水低下による侵食対策の試みがなされているが、その効果に関しては明確な結論は得られていない。（出典：http://www.coastalconference.com/2013/papers2013/Alessio%20Mariani.pdf）なお、地下水の影響は、侵食域、堆積域の両者に現れると考えられることから、現在の侵食に関してはその主要な原因ではないと推定される。

地盤が低いことによる排水処理や浸水に関しては、通常の道路や駐車場の排水に関しては排水施設を整備し、異常時の浸水に関しては、利用の規制で対応することが効果的と考えられる。排水施設は堆積域の背後から、地形を利用して排水することが適切である。このためには地形測量を実施する必要がある。これらの対策は、道路排水を管理しているMPIが実施することが適切である。

海浜の変化はラグーン内のサンゴ、海草、マングローブの影響を受けていると考えられる。グランド・トルースと衛星データで状況をモニターし、海浜変化の原因を解析する。これは海岸域の管理に管理に関係することより、MOESDDBM、BA、MoFが実施できると考えられる。MoFはマングローブの変化の解析と関連する活動を実施するのに適している。

モニタリングはヘリコプターによる写真でも実施できる。着目点は(1)汀線の変化、ラグーン内のマングローブの変化、(3)ラグーン内のサンゴと海草の状況、(4)海岸に沿った構造物である。これらの条件は継続的にモニターする。

### 4.4.3 長期対策

この海岸の変形はサンゴ礁内のサンゴ、海草、マングローブの影響を受けていると考えられ、これらの状況を今後、たとえば衛星画像でモニタリングするとともに、対応する現地の状況を調査し、現象の解明と対策の検討に役立たせることが求められる。これらは海浜全体の管理に関連することからMOESDDBMおよびマングローブについてはMoFが実施することが適切である。

長期対策のためには、まず、短期的には海浜モニタリングとリーフのサンゴ、海草、マングローブの状況把握をヘリコプターによる航空写真により行うことが適当である。実施するに当たって特に着目すべき項目としては、(1)海浜の変化、(2)マングローブの状況、(3)海草の状況があり、これらについて時系列変化を把握することである。

地形的に低く、波の打ち上げや降雨による浸水の可能性、また、地下水の海浜変形の影響等をモニタリングにより把握する。実施に当たっては、これらの現象がサイクロンや豪雨時に発生することを考慮することが重要である。まず、はじめに地盤高5m以下の範囲を測量し、地図を作成することが重要となる。これをもとにサイクロンや豪雨後に、現地住民からのヒヤリングや直接測定により浸水域や越波範囲を推定する。これらの資料を集積することにより、リスクの軽減のための地図や土地利用計画を策定することが可能となる。

地下水については、干潮時の海浜での水の滲み出しが数回見られる場合には、海浜を横断し、数か所に井戸を設けて、地下水位の観測を開始することが良い。また、合わせて、海浜背後の湿地の水位も観測する。これらの資料により地下水の動きを把握することが出来る。ただ、地下水の制御は一般に困難である。

現在、長期的に想定される対策としては、侵食域前面のマングローブや海草の再生がある。マングローブに関しては、すでにMoFが他の海岸で再生事業を実施中であり、その成果をここに適用する。海草に関しては、現在の生育種とその生態環境をモニタリングすべきである。これにより、適した種と区域を選定し、移植を行うことになろう。移植地点としては、1991年の航空写真を参考にすると、海浜前面が想定される。なお、海草は現在東側で生育している。マングローブ及び海草の移植は、試行錯誤を行う必要があると考えられる。

これらの対策の効果を見極めて、公衆便所を侵食が問題とならない地点に移設する。短期の保全対策の位置と項目を図 4.4.1に示す。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団が加工

図 4.4.1 Bras d'Eau の保全対策配置図

## 4.5 維持管理計画

### 4.5.1 維持管理の課題

公共海浜公園の一部では、浜崖が形成され、マングローブの倒木などが見られる。これらは海浜利用の支障となる場合がある。また、海岸では沖合に多くの海藻／海草が存在し、海岸への漂着が著しい。Beach Authorityによる日々の清掃が行われている。清掃活動が海浜砂の損失に幾分寄与している考えられる。これにより長期的に貴重な砂が失われることが課題である。

公共海浜公園に形成された浜崖

海岸上に大量に漂着した海藻・海藻

海藻・海草に混じった砂

出典：JICA 調査団

図 4.5.1 浜崖と海藻・海草の清掃状況

### 4.5.2 維持管理

当海岸の維持管理計画として以下の示す項目を考慮する必要がある。

- 漂着物はHWM上の海岸上に集める。その後、それらを数日間天日干しまたは浜崖や海岸林の根元に埋め戻す。そこから栄養分を取り入れ、海岸林や海岸砂草の生育を促進させる。

- 集められた海草などは、砂中に埋め戻すことにより腐植形成を促進し、土壌の改良に寄与する。腐植は土壌の湿潤状態や栄養分を改善し、植物の生長を促進させる。

- 清掃中は海岸砂草を取り除かない、傷つけないように十分に配慮する。露出した海岸林の根の部分はできるだけ砂や海草などで覆うように心掛ける。

- 定期的な海岸縦断測量とその結果の解析を行うための体制を整える。

### 4.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の侵長期的侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量に海面上昇による侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）+ 海面上昇により侵食量となる。

海面上昇に伴う侵食の機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

期間を50年、長期的海岸侵食量をこの海岸の0.3m/年、一時的侵食量としてサイクロンCarolによる最大値13mを採用すると、以下のように必要なセットバック量は30mとなる。(Vol.1 Ch.2参照) これは設定されている現在のセットバック量30mと同じである。したがって、海浜のモニタリングを継続し、必要に応じてセットバック量を改正することが求められる。

セットバック量=0.3*50+13+2=30m

# Chapter 5

*Q.Cocos Vegおよび*
*T.d'Eau Douce*

# 5 Q. Cocos Vge および T. d'Eau Douce

## 5.1 概要

岬に挟まれた湾の北側に位置する海浜で、波が東から入射し、前面のリーフから供給される砂が沿岸漂砂により西側に移動し、東、湾口での侵食、西、湾奥での堆積を生じる条件にある。侵食対策として、直立護岸や突堤が建設されている箇所では、局所的に汀線の後退が生じる可能性がある。海岸の背後にホテルや公共海岸等の施設が整備されている。なお、湾奥では淡水が流れ込んでいるためサンゴ礁の発達が悪い。

## 5.2 現況把握

### a. 海象特性

海岸はモーリシャス本島の北、東海岸、湾の北側に位置し、東および東南からの波を受ける。主要な波は、南東貿易風と一部サイクロンにより発生する波である。大潮時の潮位範囲はBlue Bay 等での観測から0.86mと推定される。なお、ラグーン内の水位は、潮位に加え高潮と波によるセットアップを考慮しなければならない。

### b. 海岸現況

海岸は湾奥にT. d'Eau Douceの町を控える湾の北側に位置しており、湾奥では淡水が流入することからサンゴ礁の発達は悪いが、湾口に約幅800mのサンゴ礁が存在する。海岸は玄武岩からなる岬で分断され、岬間の海浜はサンゴ砂で形成されている。

対象とする海岸の検討範囲と、海岸の状況を示す写真撮影位置を図 5.2.1に、関連する写真を図 5.2.2に示す。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団が加工

図 5.2.1 T. d'Eau Douce の検討範囲と写真撮影位置

この海岸は、サブセルNo.11からNo.15に分割された湾口から西に広がる約2kmを対象としている。サブセルNo.11とNo.12は砂浜海岸で、背後はホテルが位置している。岬を挟んでサブセルNo.13では、もともと砂浜幅が狭い個所で侵食が生じ、写真A及び写真Bに示すように護岸、離岸堤が設置されている。離岸提から西に向けては写真Cに示すように、岬間の海浜の間に短い突堤がいくつか設置されている。西に位置する公共海浜公園およびその周辺は堆積域となっている。

写真A：東側岩礁の西、侵食状況 (2012/6)

写真B : 東側ホテルの護岸と離岸堤(2012/6)

写真C：突堤の設置状況

写真D：西側海浜の堆積状況

出典：JICA 調査団

図 5.2.2 T. d'Eau Douce の海岸状況

Trou d'Eau Douce、Quatre Cocos Vgeの海浜公園では侵食が生じている。調査団が実施した2013年および2014年の測量によると、この場所が侵食されていることが明らかである。本調査の長期的な汀線変化の解析でも、ここでは侵食が生じていることが確認された。

MOESDDBMは、2012年11月に海浜整形をQuatre Cocos Vgeで実施した。しかし、2013年のサイクロンDumileの期間に、投入した砂は失われた。したがって、環境省は2013年11月に径15~25mmの砕石を投入した。2014年の1月と2月のサイクロンの来襲後でも砕石はその場所にとどまっていた。この過程を図 5.2.3に示す。

工事のフォローアップとして、2014年11月に以下の工事が実施された。

・海浜公園の境界から延長50m、高さ2m、海側に幅10m、勾配1：5の範囲で砕石が設置された。径32~40mmの砕石を用い、15~25mmの砕石を覆うようにした。

・車が公共空間を横断しないように、延長80mの木製柵が設置された。これは非常事態の場合に2mの空間を確保するように提案された。また、木製の柵の近くに標識を設置することが提案された。

・樹木として100本のブーゲンビリア、30本のベルティエ・ダルジャン、30本のセントマリー、15本のポンガミエが公共空間の高潮位線と柵の間に植えられた。

・砂丘を安定するよう、公共空間を横断して草が生えることが期待される。

砂による海浜整形前の状況(2012 年/2 月)

砂による海浜整形の状況(2012 年 11 月)

砕石による海浜整形前(2013 年 12 月 20 日)

砕石による海浜整形後(2013 年 12 月 27 日)

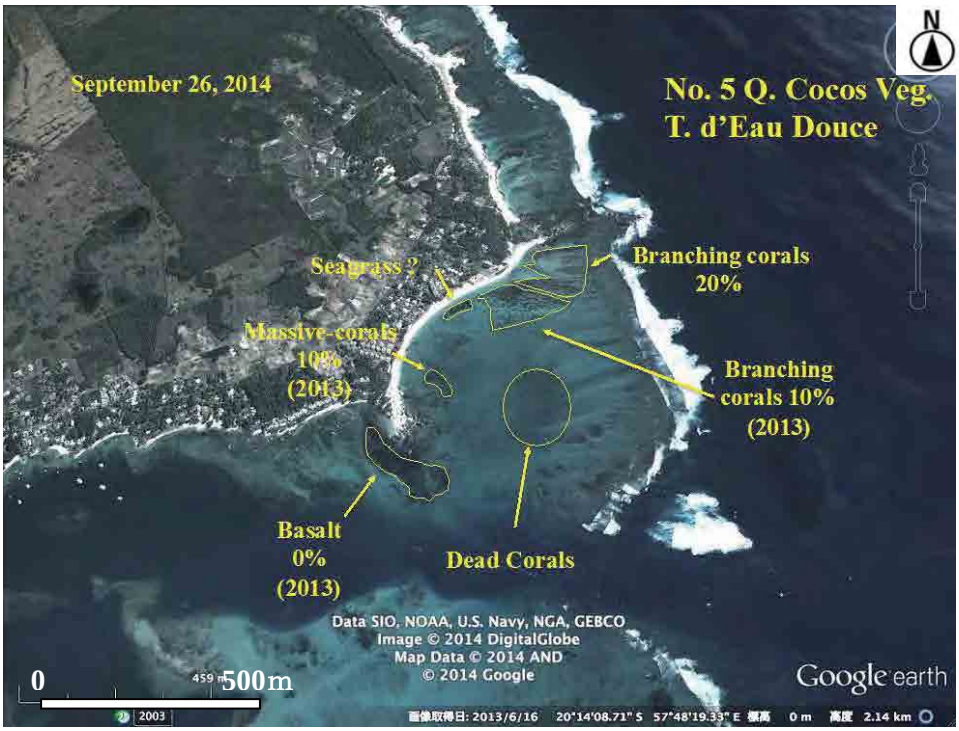
2015 年 1 月の状況

海浜の変動域への車の乗り入れを禁止する柵

図 5.2.3 海浜公園での海浜整形

### 5.2.2 リーフ環境

現地調査によると、公共海浜公園前の礁湖北側に枝状のミドリイシが優占するサンゴ群落がみられるが、生きたサンゴは少なく、サンゴの被度は10～20%、砂底にパッチリーフ状に広がる。1996年当時の航空写真やその解析結果からほぼ同じ範囲にパッチが広がっていると考えられる。岬に近い岸礁では塊状のサンゴを中心とするサンゴ群集が確認された。被度は10%であり、稚サンゴは見られない。砂底には *Halophila*がみられる。また一部サンゴ遺骸上に*Padina*がみられる。透視度は10mで、シルト分の堆積はみられない。礁湖の中央部には卓状、枝状のサンゴの遺骸が堆積している。




出典：JICA 調査団

図 5.2.4 Trau d'Eau Douce でのグラスボートによる調査結果

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表5.2.1に示す。透明度は5～10m、シルテーションは低い。海岸近くの塩分は、湾奥にある湿地帯の影響を受け、沖合いの塩分（34-35‰）に比べて28-34‰と低い。クロロフィルa、濁度および栄養塩類の$PO_4$は、それぞれ、平均で0.5ug/L、1.06 NTU、0.015mg/Lであり、サンゴの生息として概ね良好なレベル（サンゴ被度として20～50%の範囲にある水質レベル）にある。一方、栄養塩類の$NO_3$は、平均で0.08mg/Lであり、サンゴの生息としてあまり適さないレベル（サンゴ被度：10～20%）にある。当海岸は、下水道の未整備地区であり、排水は大半が吸収ピット（AP:Absorption Pit）を通して海岸へ流入している。また、湾奥の背後地には湿地帯（沼）があり、その影響により湾奥は塩分が低い。

表 5.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions |
|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.22-0.97(#) (Ave. 0.50) |
| | Turbidity (NTU) | 0.40-3.37(#) (Ave. 1.06) |
| | $NO_3$-N (mg/L) | <0.03-0.17(#) (Ave. 0.08) |
| | $PO_4$-P (mg/L) | <0.005-0.04(#) (Ave. 0.015) |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | 552 |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | T. D' Douce VCA<br>SS: NIL, AP: 1470,<br>ST: 115, PL: 28 |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants. |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | etc.) | Restaurant uses septic tanks. | | | |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | Septic tanks,<br>Absorption pits | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | Yes. River Mouth<br>Lagoon Width: 2.4 km | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | Yes.<br>Area: 10,854 Ha | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

#： 水質調査は、海岸からリーフエッジまで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団

### 5.2.3 海岸利用

海岸には湾口では別荘やホテルが位置しており、湾に入口及び湾奥には公共海浜公園がある。

海岸特性を表 5.2.2にまとめて示す。

表 5.2.2 Trou d'Eau Douceの海岸特性と課題

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 基礎調査番号 | | No. 8 (Sediment Cell No.5) | PB番号 | No.44-46 |
| 海岸名称 | | Q. Cocos Vge &Trou d'Eau Douce | | |
| 自然・地形特性 | 海象条件 | 東側からの波浪が来襲する場所に位置する。 | | |
| | 地形条件 | 前面に幅800m程度のリーフを有する砂浜海岸である。 | | |
| 環境特性 | サンゴ礁 | T.d'Eau Douceではサンゴ被度は場所により大きく変化し、1～99%の範囲にある。北に隣接するBelle Mare/Palmarではサンゴ被度が60%である。AFRCによるサンゴのモニタリング結果によると、2000年から2010年にかけてリーフエッジ周辺のサンゴ被度は両海岸とも安定しているが、T.d'Eau Douceの海岸近くは70～15%まで減少している。 | | |
| | 水質特性 | T.d'Eau Douceは、透明度が3～5m、シルテーションはサンゴ被度が高いほど低くなっている。本調査で行った水質調査によると、湾奥は背後の湿地帯からの淡水の影響を受け、栄養塩類（$NO_3$、$PO_4$）は他のラグーンに比べ高く、湾奥からの汚濁負荷の影響が考えられる。北に隣接するBelle Mare/Palmarは、透明度が5～10m、シルテーションは低い。栄養塩類は他のラグーンに比べ高く、地下水を通して背後地（畑地等）からの汚濁負荷の影響が考えられる。 | | |
| 海岸変形特性 | 災害・構造物 | 海浜整形（2006年、1km）の実施、突堤の存在、La Tropicalでは蛇籠と消波工を整備している。 | | |
| | 海岸変形 | 航空写真による地形判読結果によれば、北側のBelle Mareは比較的安定した海岸である。T.d'Eau Douceでは沿岸漂砂が卓越しており、侵食域（0.4m/year）と堆積域（1.1m/year）が顕著となっている。 | | |
| 海岸利用特性 | 海浜利用 | 公共海浜公園として利用されている。背後にはホテル、住宅が存在し、地元住民および観光客による利用頻度が高い。 | | |
| 課題 | | 突堤など漂砂を制御する構造物が設置されてきた経緯があり、沿岸漂砂の卓越する海岸で、侵食域と堆積域が顕著である。背後地は、ホテルなど高度に利用されており、浜崖が生じることが問題となっている海岸である。現象解明とそれを踏まえた海岸保全計画の立案、対策の策定が必要である。 | | |

出典：JICA 調査団

## 5.3 海浜変形と漂砂特性

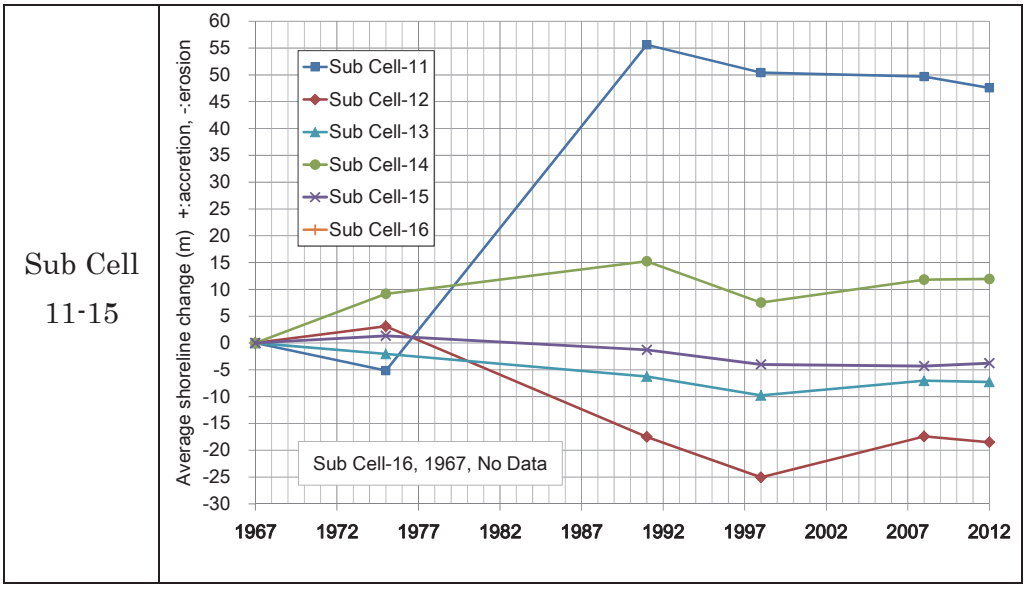
### 5.3.1 海浜変形

#### a. 汀線変化

湾口から湾奥に向かい、先に示した図 5.2.1のようにサブセルNo.11からNo.15に分割され、それぞれの汀線の変化を見ると図 5.3.2に示すようになる。また、図 5.3.3と図 5.3.4には土砂量変化を示す。湾口のサブセルNo.11では1975年から1991年の間で約50mの前進、量で約40,000$m^3$の堆積が生じており、それ以後はほぼ変化のない状況である。一方その西側であるサブセルNo.12では1975年から1997年にかけて20mの侵食、侵食量は約20,000$m^3$であり、それ以後はほぼ安定である。サブセルNo.13は侵食の傾向、No.14では変動があるものの堆積の傾向を示している。また、全体としては約20,000$m^3$の堆積となっている。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団が加工

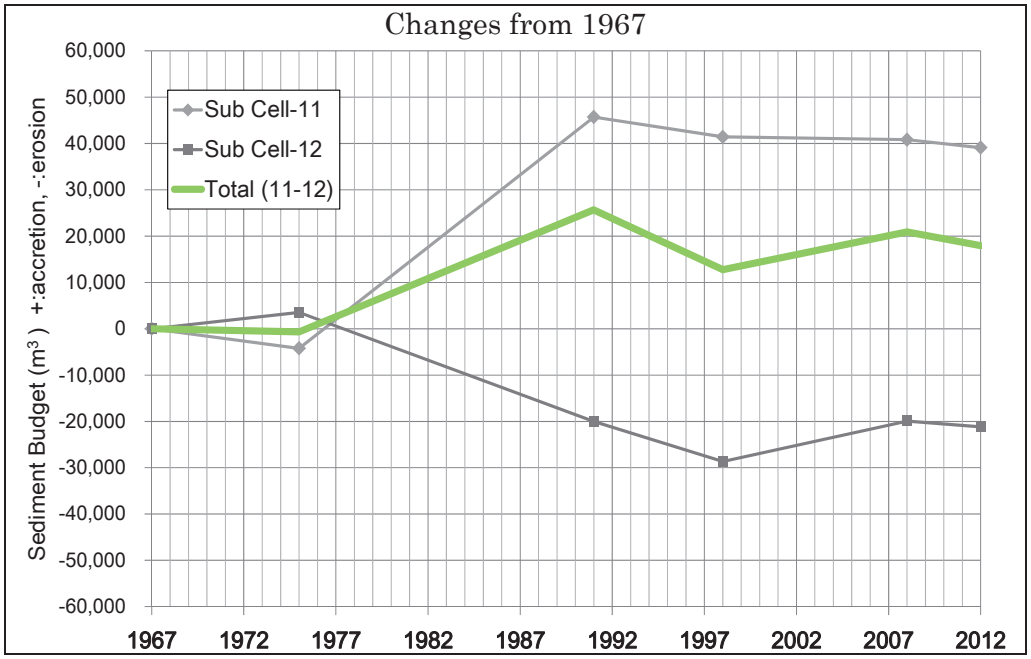
図 5.3.1 T. d'Eau Douce における検討範囲と汀線変化状況




出典：JICA 調査団

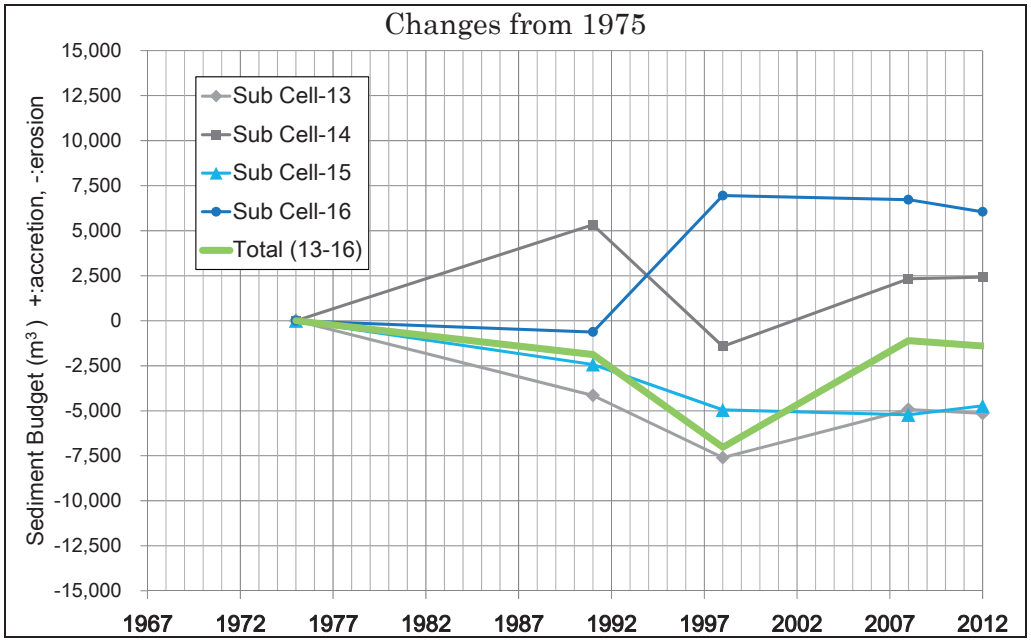
図 5.3.2 T. d'Eau Douce における汀線変化

サブセルNo.11の堆積量と、No12の侵食量の差を図 5.3.3に示すが、約2万$m^3$の堆積となっている。またNo.12と図 5.3.4に示すようにそれに続くNo.13では1998年以後侵食から堆積になる傾向を示している。この傾向はNo.14でも同様で、1991年までは堆積であるが、それ以後1997年までは侵食、次いで堆積に転じている。No.15では1997年まで侵食で、それ以後は安定となっている。最西端のNo.16では1991年から1997年にかけて堆積を示し、それ以後の変化は大きくない。この状況は沿岸方向の漂砂により変化が生じている可能性を示している。




出典：JICA 調査団

図 5.3.3 土砂収支 (Sediment Cell No.5, Sub Cell-11-12)




出典：JICA 調査団

図 5.3.4 土砂収支 (Sediment Cell No.5, Sub Cell-13-16)

### b. 海浜モニタリング

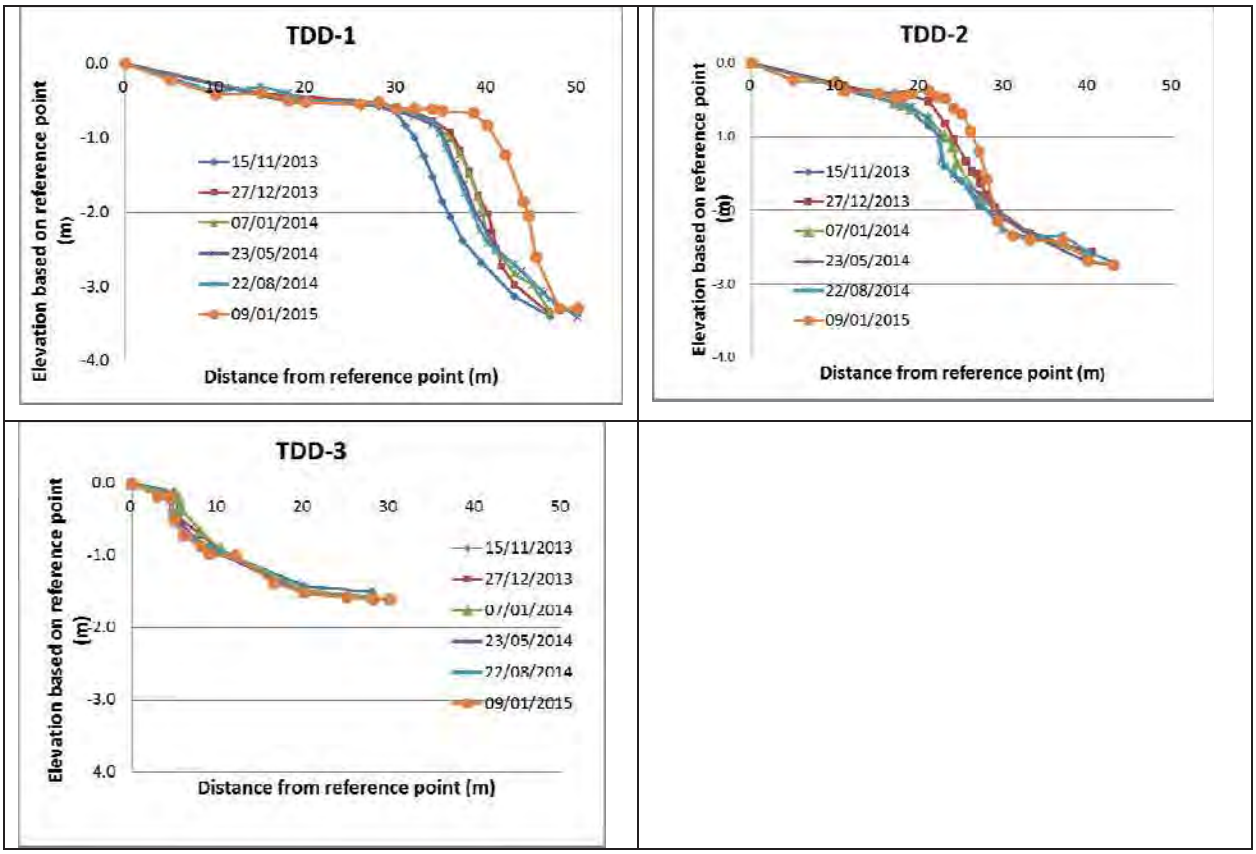
海浜の横断形状変化を定期的に把握するために海浜モニタリングが行われてきた。この海岸では、岬の西側に北東から南西に向かい、TDD-1、TDD-2、TDD-3の3測線を図 5.3.5に示すように設け、約3か月間隔で測定を行った。この海岸では、2013年と2014年の11月の2回にわたり、測線TDD-1とTDD-2で侵食対策としてMOESDDBMにより礫が養浜されている。

出典：JICA 調査団

図 5.3.5 海浜モニタリングの測線配置図

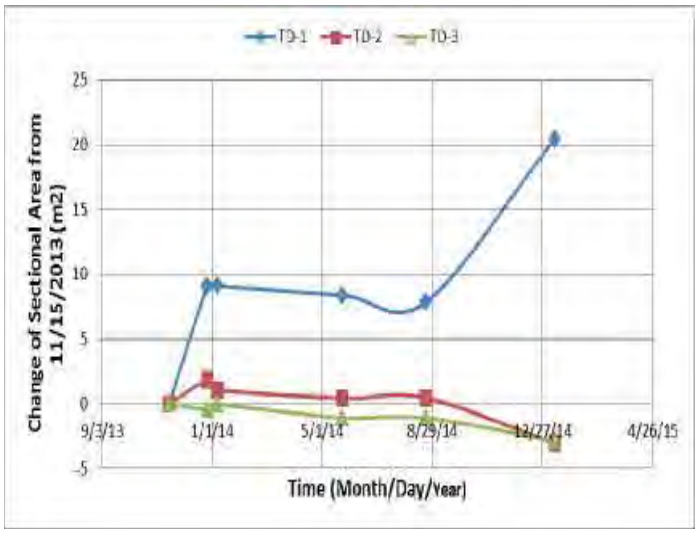
海浜形状について2013年11月から2015年1月までの6回にわたり測量した結果を図5.3.6に示す。なお、地盤高は相対的なものであり、絶対高さとはなっていない。

海浜断面の2013年11月からの時系列変化を図 5.3.7に示すが、礫養浜による断面積の増加が表れている。養浜後、礫は移動しているがその量は少ない。礫の損失量を推定するには、数年にわたるモニタリングが必要である。




出典：JICA 調査団

図 5.3.6 T. d'Eau Douce の海浜モニタリング結果




出典：JICA 調査団

図 5.3.7 T. d'Eau Douce の海浜断面積変化

### 5.3.2 漂砂特性

当海岸は湾口から波が入射し、湾奥に向かう沿岸漂砂が生じる特性を有する。また、岩礁が点在し、突堤と同様に沿岸漂砂を止める機能を有し、岩礁間では砂が堆積している。湾口から湾奥にかけて、全体としての土砂収支は堆積となっているが、Q. Cocos Vge の公共海浜公園に位置する岩礁の周辺では侵食が発生している。また、湾奥では沿岸漂砂により供給があることから、長期的な堆積の傾向を示す。

堆積が生じた湾口のサブセルNo.11周辺のサンゴ礁の状況を見ると、図 5.3.8と図 5.3.9に示すように1991年にはリーフにサンゴは存在しなかったが、1997年には堆積域の沖にサンゴが生成され大きな群落となっている。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 5.3.8 T. d'Eau Douce における 1975 年の海浜状況

この影響によりその背後での堆積と、沿岸漂砂の下手に位置するサブセルNo.12及びNo.13で侵食が生じたものと考えられる。また、その下手のサブセルNo.14およびNo.15でもこの影響が及んでいることがうかがわれる。終端に位置するサブセルNo.16では沿岸漂砂の供給があることから、遅れて変化が生じている。また、全体としては堆積の状況にある。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 5.3.9 T. d'Eau Douce におけるサンゴの発生による堆積と侵食 (2008 年衛星写真)

## 5.4 海岸保全対策

### 5.4.1 海岸保全の課題

波浪条件の変動による侵食・堆積に加えて、サンゴの発生による影響が重なり、大きな海浜変動、すなわち侵食と堆積が生じている。

侵食域ではホテルが建設され、侵食により汀線が後退しており、30mのセットバック内施設の見直しが求められる。また、侵食対策として護岸、突堤、離岸堤等の構造物がすでに作られているが、これは漂砂移動やその下手の侵食を助長する場合もあることから見直す必要がある。

当海岸は漂砂の供給があり、ホテルや海浜公園が位置し、砂浜な貴重な観光資源であることから、自然の砂浜を維持することを方針とする。対策案としては表 5.4.1に示すように、自然の変動を許容するセットバック案、侵食域に砂を供給する海浜整形案、侵食の原因となっている沿岸漂砂を制御する突堤案がある。沖にリーフが存在し、そこから砂の供給があること、長期的には海岸全体は堆積の傾向があること、自然の砂浜はホテルの貴重な観光資源であることから、砂浜を維持し、自然の変動を許容するセットバック案が適している。

侵食が問題となっている海浜にはホテルが位置し、堆積域は住宅地となっている。すなわち、もともと変動のある海浜であった可能性があることから、変動域には施設を造らず、変動を許容することが求められる。突堤等の建設は漂砂の下手の侵食を発生させることから、規模の小さいもの、漂砂の下手で十分な砂浜のある場合を除いては望ましくない。

### 5.4.2 短期対策

保全対策としてのセットバックとしては、一般的に現時点ではその量を30mとしている。単純に考えるとこの海岸では30mでは不十分に見えるが、ここでの長期的な侵食量0.4m/yearは一時的なものと考えられ、将来は堆積に転じる可能性もあり、モニタリングにより状況を見て、必要に応じてセットバック量を改定することが良いと考えられる。

表 5.4.1 T. d'Eau Douceの海岸保全対策案

| 対策案 | セットバック | 海浜整形 | 突堤 |
|---|---|---|---|
| 概要 | 基本的に沖に連続したリーフが存在することから、東からの供給があり、これが突堤の機能を有する岩礁で止められており、侵食が大きく進むということは考えにくくセットバック案も有力な対策である。 | 西の海岸での堆積土砂を、湾口、東にサンドバイパスする案、一時的に侵食が生じた場合に、砂を養浜する案が考えられる。 | 沿岸漂砂を制御するために、突堤を建設する案である。突堤の漂砂の下手、西側の侵食を助長する可能性がある。しかし、それがこれまでの堆積域であれば許容できると考えられる。 |
| 長所 | セットバックを実施することにより、海岸に構造物がない自然の景観を保持することが可能である。 | 特に東側の顕著な堆積域（+1.34m/y）の砂を西側の侵食域に砂を移動する対策であり、砂の移動範囲および距離が限られており、対策を講じやすい。 | 構造物の建設により、侵食域での改善に即効性がある。 |
| 短所 | 海岸背後に民家や別荘が林立しており、海岸と家屋の距離が限られることから、セットバックの合意形成が困難であると予想される。 | 定期的な砂の移動が必要であり、その費用は借地人が負担することになり、これに関する合意形成に時間を要する可能性がある。また、陸上での砂の運搬の場合、アクセス確保のための検討が必要である。 | 突堤設置後に下手側で汀線後退を促進させる可能性があり、突堤の設置箇所およびその影響に関して、関係者間での合意形成が必要である。この合意形成に時間を要する可能性がある。 |

出典：JICA 調査団

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 5.4.1 T. d'Eau Douce の保全対策配置図

基本的な方針は、サンゴ礁の管理とセットバックの保持とする。海浜全体としては堆積しており、サンゴ群落の生成により堆積が生じ、またその影響による沿岸漂砂下手の侵食は回復する傾向のあること、サンゴは劣化の兆候を示すことより、自然の状況を保つようにする。一時的な侵食については、海浜整形で対応する。

既存の海岸構造物については、直立護岸は前面の洗掘を助長することから、緩傾斜護岸に作り替えること、突堤や離岸堤は下手の侵食を生じる可能性があることから、モニタリングにより明確に影響がある場合には撤去を行う。これらの対策は借地人が実施することになろう。

サンゴの状況が、被度10%と良い条件ではない。ラグーン条件をモニタリングすべきである。これには、ラグーン内の汀線、サンゴ、海草、水質、人的活動をヘリコプターによる航空写真と現地調査によるモニターすることが含まれる。

### 5.4.3 長期対策

現時点では全体として堆積しており、また侵食域の回復の兆しが見られることからセットバックで良いと考えられる。しかし、堆積、侵食は近年のサンゴの生成により生じており、その被度は10%から20%であり、良好とはいえない。サンゴが消失すると堆積域では侵食が生じ、海浜は元に戻ると想定される。なお、その侵食量は、堆積量に対応する50mに達する。したがって、これらを想定した対策を検討しておく必要がある。

まず、第1としてはすでにサンゴが存在することから、その消失を避けるため、サンゴの生育条件を良好に保つことである。特に、人為的活動の規制や保護区の設定、富栄養化の防止などが考えられる。この前提としてはリーフ環境のモニタリングがある。また、将来リスクの増加を避けるために、堆積域の借地範囲をサンゴ生成以前の状況に保つことが求められる。

海水温の上昇によるサンゴの劣化に積極的に対応する方法としては、サンゴの移植がある。水質環境が良好であれば、この方法の採用も可能と考えられる。そのためには、モニタリングによる基礎資料の集積をおこなう必要がある。

中長期対策としては、海岸背後の下水道整備や効率の高い浄化システムへの転換の推進である。

## 5.5 維持管理計画

### 5.5.1 維持管理の課題

借地の海岸の一部では、著しい漂着ごみや海草が堆積している。これは常時生活していない別荘などの前面で生じているものと推測される。（図 5.5.1を参照）

海岸に多量の海藻やごみが堆積している。長期間清掃が行われていない可能性がある。

別荘などでは定期的な清掃が行われておらず、海岸に海藻やごみが堆積している。

図 5.5.1 海岸のごみ堆積状況

### 5.5.2 維持管理

南部のLe Morneのホテル前面での海岸では、毎朝清掃職員が漂着海草を砂浜の中に埋め、良好な景観および衛生面を確保している。さらに埋めた海草は砂中の微生物や海生生物の餌となることから、生態系の維持にも有効である。そのため、これらの取り組みを他の海岸でも適用し、徹底することで、良好な景観かつ衛生な連続した海岸を維持することが出来る。

このような良い事例を特に民間の借地人に対して、リーフレットなどを用いてLocal AuthorityまたはDistrict CouncilやVillage Councilの地方政府を通じて、海岸清掃の周知徹底を行うことが重要である。また、月に１回程度はBeach AuthorityまたはLocal Authorityで定期巡回を行い、海岸清掃の状況を確認し、ゴミ・海草の堆積が著しい箇所においては、海岸環境改善の一環として、借地人に対して注意勧告するなど、連続した海岸の環境維持に努めることが望ましい。

この海岸の侵食および堆積の一部は、サンゴの生成により生じている。サンゴが健全であれば、この状況を保つことができると考えられる。しかし、サンゴは劣化しており、サンゴの消失は堆積域での侵食、侵食域での堆積をもたらす可能性がある。したがって、堆積域であっても、現況のセットバック範囲の変更は十分な確認が必要である。

ここでは、現在の海岸管理の課題に対する改善案を以下に示す。

**a. 既存海岸施設に関する課題**

- 直立護岸の形状から透過式傾斜護岸（植栽）等への改修
- 既存施設の効果の検証結果に基づく、突堤の撤去または改修

**b. 海岸清掃に関する課題**

- リーフレットなどを用いた借地者への海岸清掃に対する意識の高揚
- 地方行政による定期的な視察・指導
- 新たな海岸清掃体制の確立と適切な海岸清掃の実施義務に関する借地契約書への明記

**c. 公共海浜公園内への車両進入に関する課題**

- モーリシャス全国での段階的な駐車場の整備
- 標識や案内板の設置、低木や花木の配置による海岸域と駐車スペースの境界の明確化

**d. 海岸砂草の植栽除去に関する課題**

- リーフレットなどを用いた海岸砂草の重要性に関する情報の借地者への提供と保全に関する意識の高揚
- 海岸砂草の保護や保全の責任に関する借地契約への明記

### 5.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の長期的侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量に海面上昇による侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）+ 海面上昇により侵食量となる。

海面上昇に伴う侵食の機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

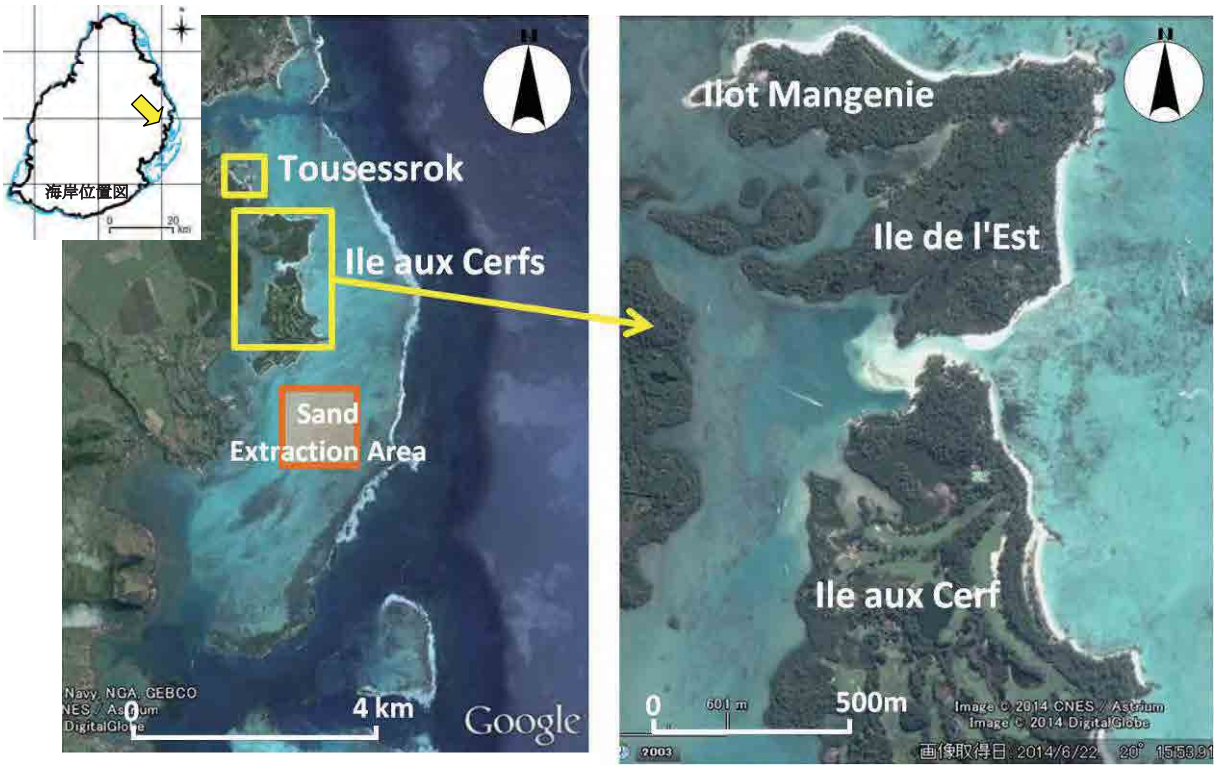
期間を50年、長期的海岸侵食量をこの海岸の0.4m/年、一時的侵食量としてサイクロンCarolによる最大値13mを採用すると、以下のように必要なセットバック量は35mとなる。（Vol.1 Ch.2を参照）　これは設定されている現在のセットバック量35mを超えることになる。この海岸の侵食状況を見ると、サンゴ群落の生成の影響により生じてきた。将来もこのようなことが生じる可能性は低いと考えられる。したがって、海浜のモニタリングを継続し、必要に応じてセットバック量を改正することが求められる。

セットバック量=0.4*50+13+2=35m

# Chapter 6

*Ile aux Cerfs*

# 6 Ile aux Cerfs




出典：Google マップおよび MOI からの入手データをベースに JICA 調査団で加工

図 6.1.1 Ile aux Cerfs 海岸

## 6.1 海岸概況

Ile aux Cerfs 海岸は、「モ」国東海岸に位置する Ile aux Cerfs と Ilot Mangenie の二つの島の前面に位置するサンゴ礁海岸であり、「モ」国を代表する高級リゾートホテルである Touessrock Hotel がある。南側の Ile aux Cerfs 島と北側の Ilot Mangenie 島の間には、平均幅 50m 程度の水路部が存在する（図 6.1.1）。この水路部では、潮汐に応じた流れが生じ、これによる背後のラグーン域との海水交換がなされている。ただし、この潮汐流は、常に沖側からラグーン側への一定方向であり、逆流することはない。

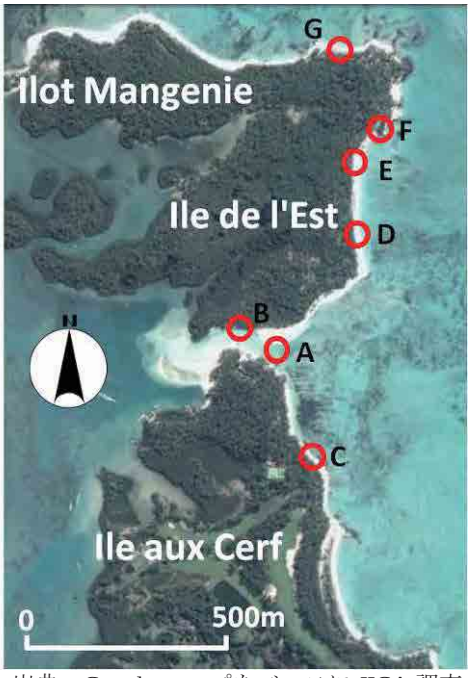
この付近では、白砂エリアでの日光浴や水路部での流れを楽しむ多くの観光客が集まる中心的エリアとなっている。近年、この水路部が堆砂により閉塞し、海岸利用上および海水交換機能上の問題が生じている。このため、2012 年 10 月に、ホテルにより約 20,000m$^3$ の土砂浚渫が行われ、その土砂は Ile de l'Est 島の東側および北側海岸域に投入された。しかしその後、再び閉塞が生じたため、2014 年 5 月に約 3,300m$^3$ の土砂を撤去し、陸上エリアにストックされた。

海岸前面には、Ile de l'Est 島の北側約 1.5km 付近から南側にかけての約 9km 間にわたって連続したリーフが存在する。リーフ幅は、Ile aux Cerfs 島から 1.7km、背後の陸域からは 3km 程度である。海岸はサンゴ起源の白砂で構成され、所々に存在する岬の間に湾曲した形状を有している。当リーフの Ile aux Cerfs 島南側（図 6.1.1左図）では、過去にリーフ上からの砂の採掘が行われていた。ただし 2000 年以降、リーフ上からの砂の採取は法律で禁止され、現在は行われていない。

## 6.2 現況把握

### 6.2.1 現地踏査による現状把握

図 6.2.1に示す位置から 2014 年 4 月に撮影された海岸写真を図 6.2.2および図 6.2.3に示す。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 6.2.1 撮影位置

地点 A,は、水路部から海側、ラグーン側をを示すものである。水路部には砂が堆積し、干潮時には水路ラグーン側はほとんど干出する。また水路部先端部の堆積域は非対称となっており、北側先端部の舌状の張り出しが顕著である。一方南側先端部の堆積域の張り出しは小さい。水路部中央付近では逆に南側で堆積による張り出しが顕著である一方、北側では浜崖が形成されている（地点 B）。このような南北での非対称な形状は、後述する過去の空中写真からも、また本調査におけるモニタリング期間中においても、常に同様の傾向である。北側で常に浜崖が見られることから、水路部には南寄りからの波浪エネルギーが卓越している可能性がある。水路部の堆砂は、水路部からの波浪エネルギーの減少により、ラグーン側のある一定距離のところで海底に落ち込む。なお、水路部での潮汐流は常に沖側から岸側に向かう一定方向であるため、ラグーン側の堆砂が沖側に戻ることはないと考えられる。

水路部から南側の海岸では、ある間隔で岬が存在し、その間で湾曲上のポケットビーチが形成され、特に侵食傾向は見られない。ただし地点 C 付近より北側は水路部までの連続した海岸であり、水路部近傍では浜崖や露岩域が見られ、これにより局所的に汀線が後退している可能性がある。

水路部から北側の Ile de l’Est 島の東側に面した海岸の中央部付近に､緩やかに湾曲した海岸が存在する（地点 D, E, F）。2012 年に実施された水路部での浚渫砂の大半は、このエリアに再投入された。北側の地点 F で浜崖が見られたが、これは浚渫砂の投入により前進した汀線が元に戻る過程で生じている可能性がある。北側の岬を越えた地点 G 付近にも浚渫砂が投入されたとのことであるが、安定した海浜を形成している。

### 6.2.2 長期海岸変化および土砂収支

図 6.2.4は 1967 年と 2008 年の空中写真を示したものである。また、図 6.2.5は 1967 年から 2012 年までの 6 時期における各サブエリアの土砂収支およびその総量の変化を示したものである。さらに図 6.2.6、 図 6.2.7は、水路部および北側砂嘴の 1967 年からの変化状況を示したものである。なお、図 6.2.4の水路部については、近年閉塞し 2012 年 10 月および 2014 年 5 月に砂の除去を行っているので、その前後の様子も合わせて示す。図 6.2.5における土砂収支の推定において、リーフに面した外海側に位置する各サブエリアについては、他海岸と同様、過去の空中写真からの汀線変化に移動高 2.5m を乗じて算出している。一方、水路部は海岸線が一様でなく、同様の方法による算出は困難である。これより水路部を含むサブエリア（Sub Cell-2～5）については、空中写真画像解析より得

られた堆積域の面積に移動高 2.5m を乗じて土砂量を推定した。

地点A（水路から北側海岸を望む）

地点A（水路からラグーン側を望む）

地点B（北側水路中央部での浜崖）

地点C（水路から南側約300mの海岸）

地点D（水路から北側約500mの海岸）

地点E（地点Dから200m北側）

出典：JICA 調査団

図 6.2.2 Ile aux Cerfs の海岸状況（2014 年 4 月撮影）

地点F（地点Eから150m北の岬から南側を望む）

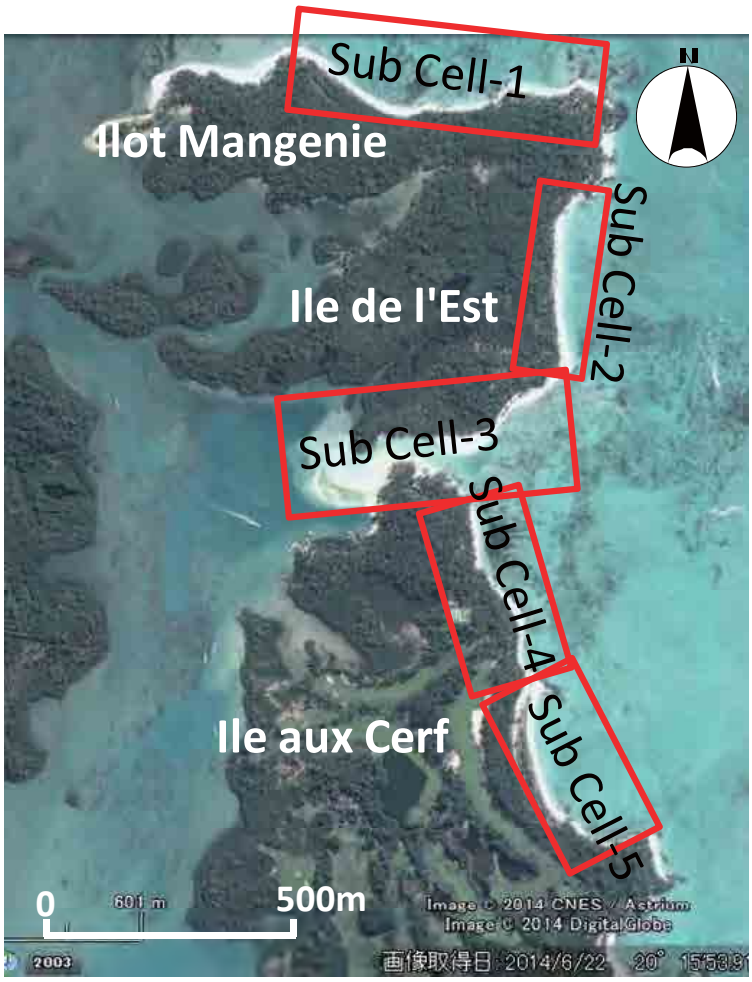
地点G（地点Fの岬を越えた北側の海岸）

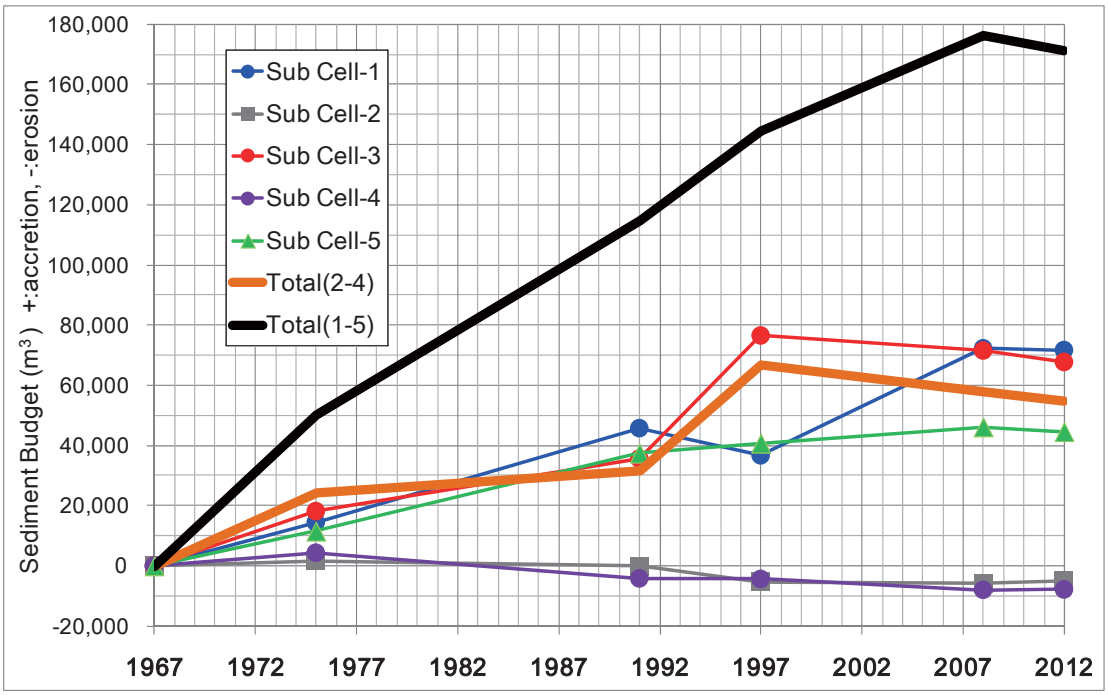
出典：JICA 調査団

図 6.2.3 Ile aux Cerfs の海岸状況（2014 年 4 月撮影）

出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

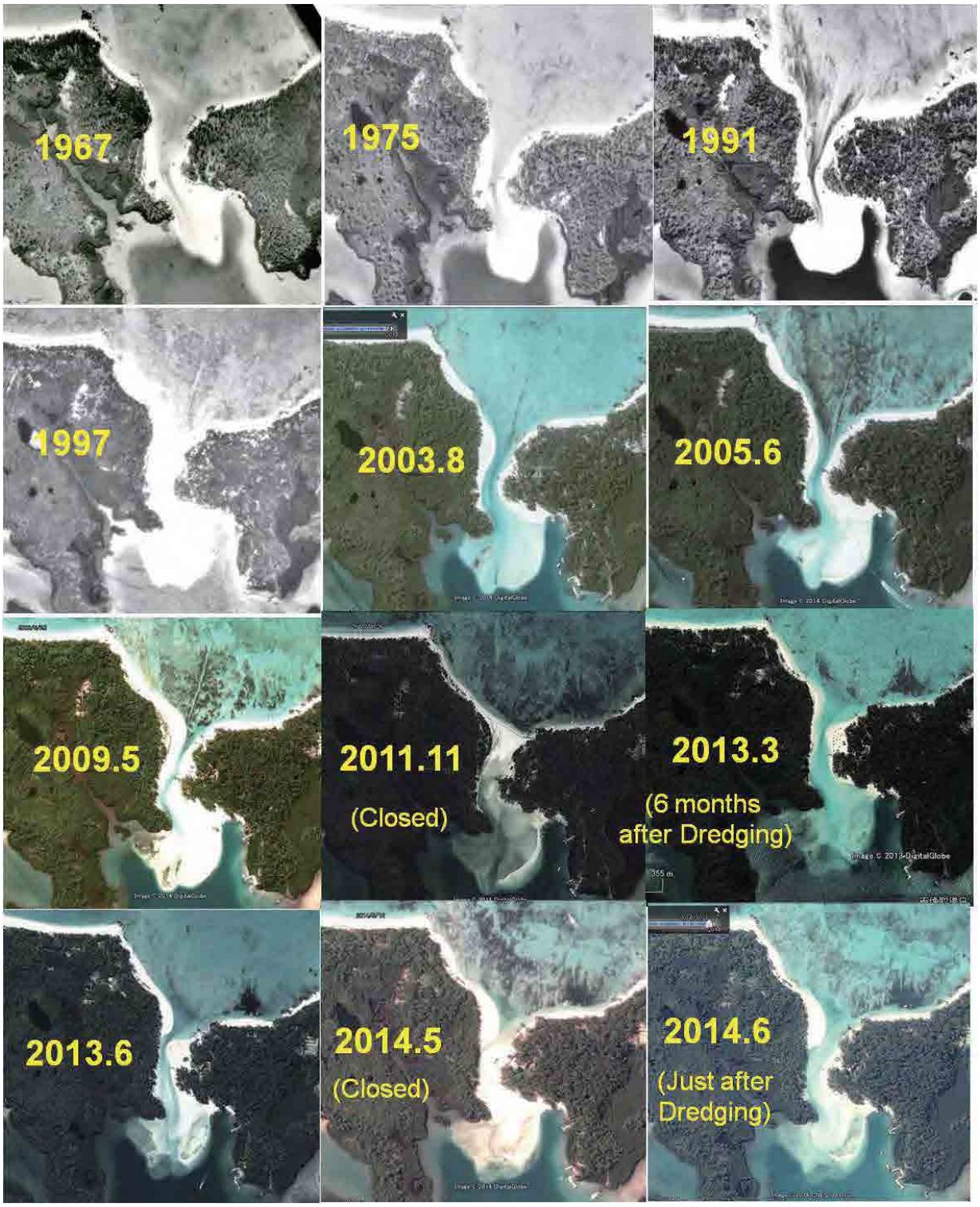
図 6.2.4 空中写真の比較 （左:1967 年、右 2008 年）



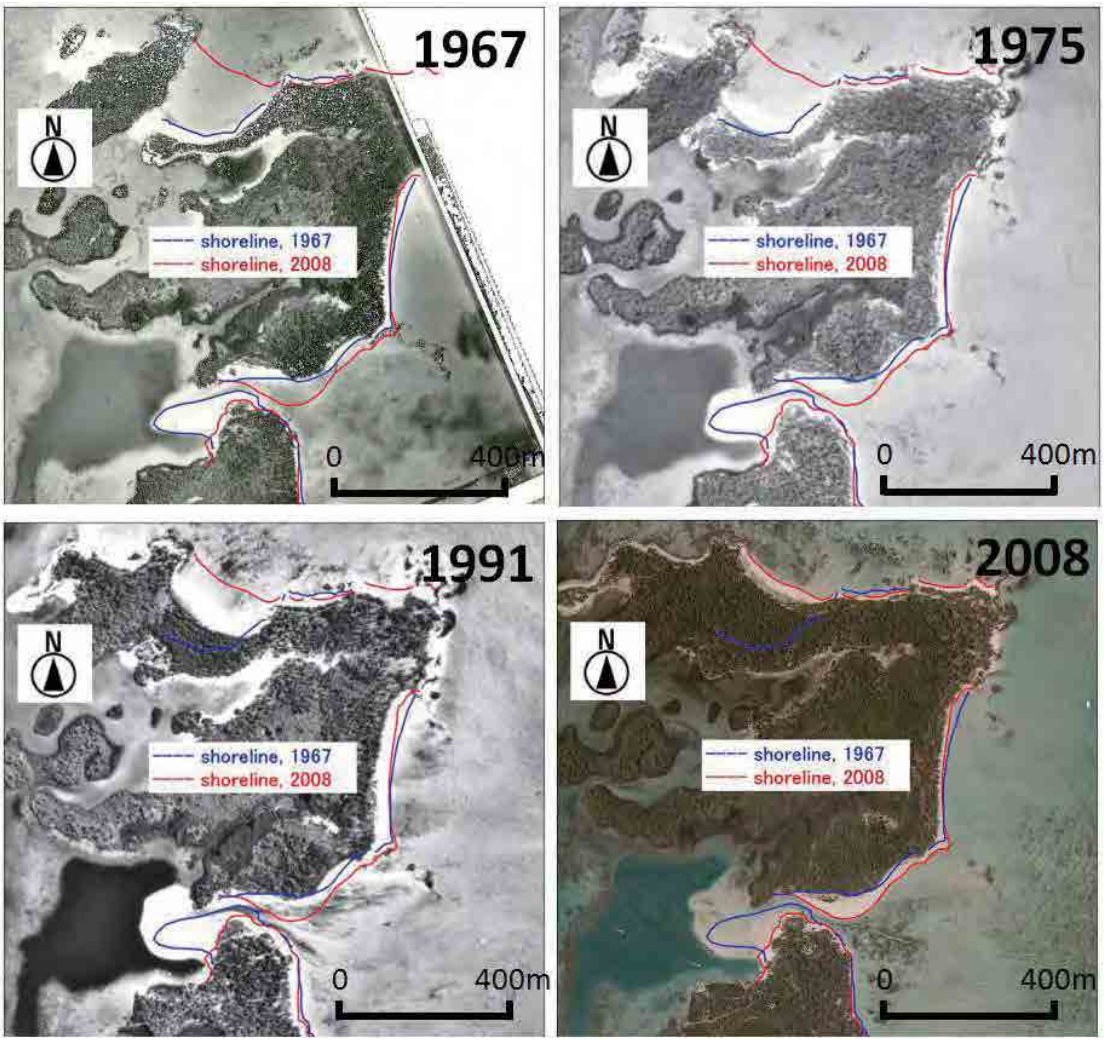

出典：上) Google マップをベースに JICA 調査団で加工、下)JICA 調査団

図 6.2.5 各エリアの土砂収支の比較




出典：MHL から入手した衛星画像および Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 6.2.6 水路部の変遷




出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

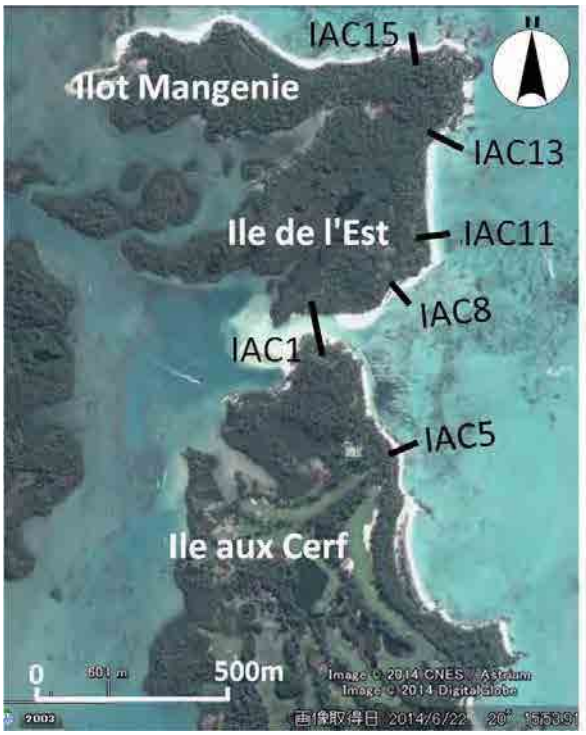
**図 6.2.7 北側砂嘴の発達変遷**

- 図 6.2.4より、以前は Ilot Mangenie、Ile de l'Est、Ile aux Lubines、Ile aux Cerfs の 4 つの独立した島であった。1967 年当時、Ile de l' Est 島から西側に延びる砂嘴が発達し、Ilot Mangenie 島に達していた。その後、この砂嘴の堆積が更に進み、現在は完全に 1 つの島となった（図 6.2.7）。この砂嘴部における 40 年間の汀線前進量としては 250m 程度である。一方南側の Ile aux Cerfs 島も、以前は Ile aux Lubines と Ile aux Cerfs の各島に分かれていたものが、現在は 1 つに繋がったものと考えられる。これより当海岸は、沖からの砂の供給により、顕著な堆積傾向にあるものと言える。
- 図 6.2.5より、水路の北側および南側に位置する Sub Cell-2、4 では若干の侵食傾向が見られるものの、当海岸は全体として顕著な堆積が生じていることが分かる。1967 年から 2012 年までの 45 年間における海岸全体の土砂増加量は 17 万 $m^3$（約 3,800$m^3$/年）におよぶ。
- 水路部を含む連続したサブエリア（Sub Cell-3）では、45 年間で 68,000$m^3$（約 1500$m^3$/年）、北側の Ilot Mangenie と Ile de l'Est の間の砂嘴部を含む Sub Cell-1 では 45 年間で 72,000$m^3$（約 1600$m^3$/年）の土砂量の増加が生じている。

- 水路部（Sub Cell-3）の北側および南側の Sub Cell-2、4 では、45 年間でそれぞれ 5,000m$^3$（約 110m$^3$/年）、8,000m$^3$(180m$^3$/年)の土砂量の減少が生じている。この土砂の減少は水路部への砂の沿岸漂砂移動により生じたと仮定すると、水路部の Sub Cell-3 でのネットとして増加した土砂量として、45 年間で 55,000m$^3$（約 1,200m$^3$/年）と推定される。この増加量の大半は、ラグーン沖側から供給されたものと推定される。
- 水路南側の Sub Cell-5 は岬に囲まれた凹型形状をもつ海岸であり、ここでは 45 年間で平均 80m 程度の汀線の前進、45,000m$^3$（約 1,000m$^3$/年）の堆積が生じている。

### 6.2.3 短期海岸変化（継続的モニタリング結果）

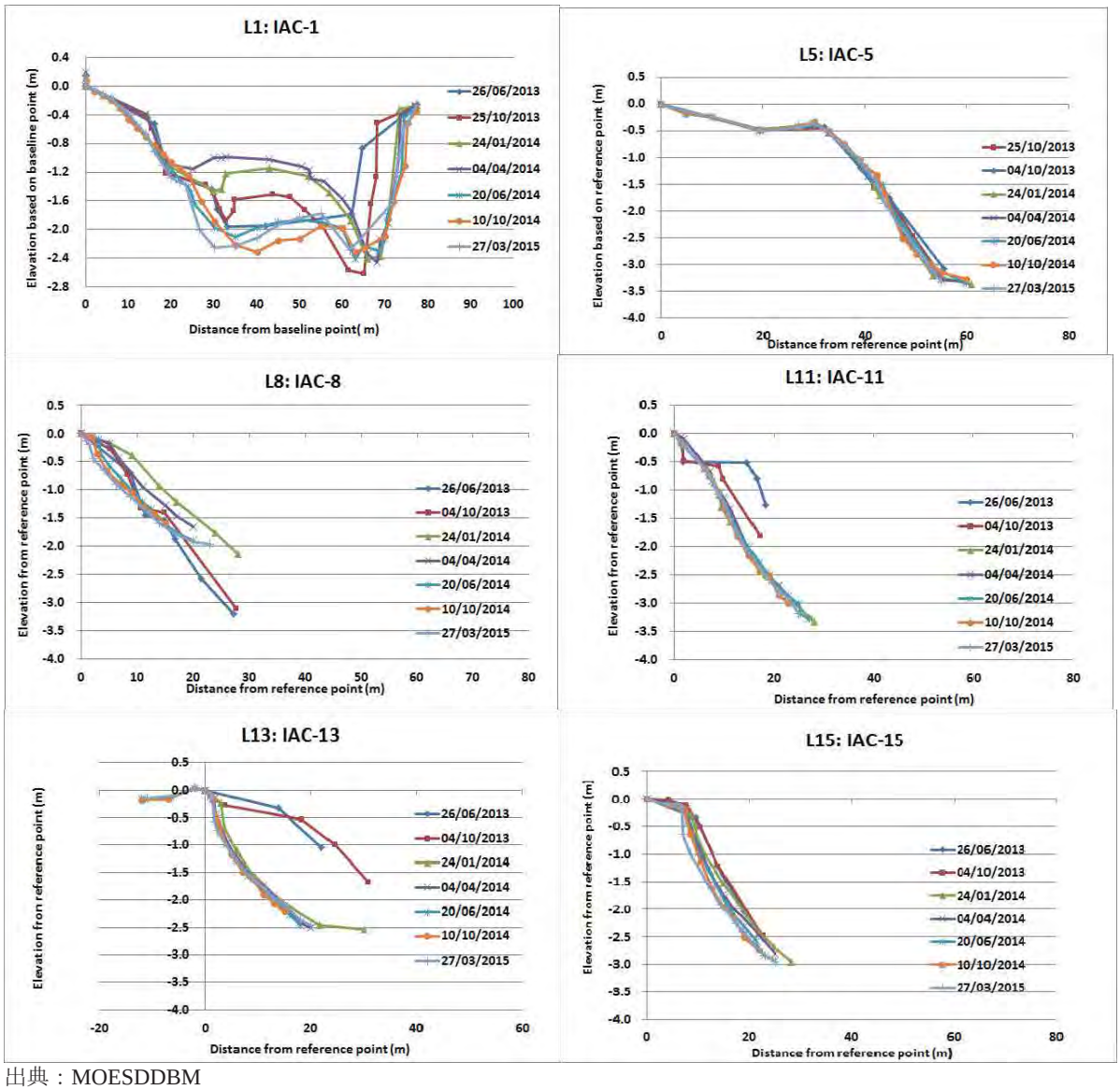
当海岸は、本事業における継続的モニタリング対象海岸の 1 つである。Ile de l'Est～Ile aux Cerfs 間において 15 測線を設け、2013 年 6 月よりほぼ 3 カ月毎に海岸モニタリング測量を実施中である。開始時から 2015 年 3 月時点までの約 1.9 カ年の間に得られたモニタリング結果より、図 6.2.8に示す代表 6 地点の結果を示したものが図 6.2.9である（すべての結果は資料編に示す）。この期間中、2014 年 1 月および 2 月にサイクロンがモーリシャス沖を通過した。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 6.2.8 海岸測量位置図

- L1 地点は、水路部で南北方向に側線を取った断面変化である。2013 年 6 月から 2014 年 4 月にかけて、南側での顕著な砂州の発達が生じている。2014 年 6 月での急激な砂州の減少は、砂州部で実施された約 3,000m$^3$ の土砂掘削に依るものである。
- 南側の L5 地点は 1:8 程度の海浜勾配であり、モニタリング期間中の 1.4 カ年で 1～2m 程度の若干の汀線後退が見られる。
- Ile de l'Est の水路部に近い L8 地点では 2013 年 6 月から 2014 年 1 月にかけて、一次的に汀線が 5～7m 程度前進したが、その後 2014 年 10 月には、ほぼ元の汀線位置に戻った。
- Ile de l'Est の東側に位置する L11 および L13 地点は、2012 年 10 月に実施された航路浚渫の浚渫砂が相当量投入されたエリアである。2013 年 10 月あたりまでは、投入された砂が残っていたが、2014 年 1 月に著しく汀線が後退し、その後は大きな変化が見られない。これより、投入された砂の殆どは既に移動・流出し、現在は元来の海浜形状に近い形でほぼ安定しているといえる。
- Ile de l'Est の北側に位置する L15 地点付近でも、2012 年 10 月に実施された航路浚渫の浚渫砂が投入された。ここでは、2013 年 6 月以降徐々に汀線が後退し、後退は 2015 年 3 月までに 3～4m 程度の汀線後退が生じ、現在も続いている。




出典：MOESDDBM

図 6.2.9 代表 6 地点における継続的海岸モニタリングの結果

### 6.2.4 気象、海象（波浪・水位・流況）、地形、底質、リーフ環境特性

#### a. 気象・海象

長期および短期の海岸変化より、当海岸では長期的には北に向かう沿岸漂砂が存在する一方、短期的には季節変動に伴う変化も顕著であることが分かった。当海岸はリーフ幅広いため、リーフ内で発生する風波の影響も大きいと考えられ、通常時はむしろこの風波の影響が大きい。冬季には主に南東からの貿易風による波浪が卓越する。一方夏季は、北東からの風向きとなり、風速も冬季の南東風に比べて弱まる。ただし夏季はサイクロン襲来時でもあり、サイクロン襲来時にはその経路により海岸に襲来する波浪特性も変わると考えられる。

#### b. 地形・底質

海岸域には所々岩礁部が存在し、その間に湾曲した海岸が形成されている。海岸は白

色系のサンゴ砂で構成されている。前浜勾配は概ね 1:8～1:12 程度である。粒度解析を実施していないため粒径に関する定量データはないが、目視では 0.2～0.3mm 程度と推定される。水路付近で、水路から北側および南側の海岸に比べてやや細かくなる傾向が見られる。

### c. リーフ環境・水質

島の西側には浅い砂地の所々に玄武岩の岩礁がある。岩礁上のサンゴの被度は塊状、芝草状のサンゴを中心に 5%、1 歳の稚サンゴも他の地点と比べて 0.5/$m^2$ と高い。より大きな稚サンゴも岩礁上に多く見られたことから、幼生の供給は低いレベルではあるが安定していると推察される。周辺は *Halodule, Halophila* よりなる藻場で、砂底のところもある。1996 年の空中写真、及びその解析結果では、周辺は砂地もしくは海草藻場となっていて、サンゴ礁やサンゴの群落はみられない。

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表 6.2.1に示す。透明度は 3m、シルテーションは中程度である。沖合のラグーンは、クロロフィル a、濁度および栄養塩類は、それぞれ、平均で 0.39 ug/L、1.18 NTU、0.03 mg/L ($NO_3$)、0.010 mg/L ($PO_4$)であり、サンゴの生息として概ね良好なレベル（サンゴ被度として 20～50％の範囲にある水質レベル）にある。当海岸は、下水道の未整備地区であり、排水は主にホテル等からの下水処理施設や家庭からのセプティックタンク(ST:Septic Tank)や吸収ピット(AP: Absorption pit)を通して海岸へ流入している。当海岸は、人口密集地でないが、背後地に広大なサトウキビ畑を有している。また、当海岸の水質は比較的良好であることから、サトウキビ畑からの肥料や赤土等の流出がこれら海岸のサンゴに直接的な影響を及ぼしていないようである。さらに、海岸近くに生息するマングローブが、サトウキビ畑からの栄養塩類や赤土の流出に対して、遮蔽やフィルター作用により防止していることも考えられる。

表 6.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.10-0.93(#) (Ave. 0.39) | | | |
| | Turbidity (NTU) | 0.38-2.09(#) (Ave. 1.18) | | | |
| | $NO_3$-N (mg/L) | <0.01-0.04(#) (Ave. 0.03) | | | |
| | $PO_4$-P (mg/L) | 0.006-0.02(#) (Ave. 0.010) | | | |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | | | | |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | T. D' Douce VCA:<br>SS: NIL, AP:1470,<br>ST: 115, PL: 28 | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants.<br>Restaurant uses septic tanks. | | | |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | NIL | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | Yes. River Mouth,<br>Lagoon Width: 1.9Km | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | Yes.<br>Area: 10, 854 Ha | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

#: 水質調査は、海岸からリーフエッジまで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団

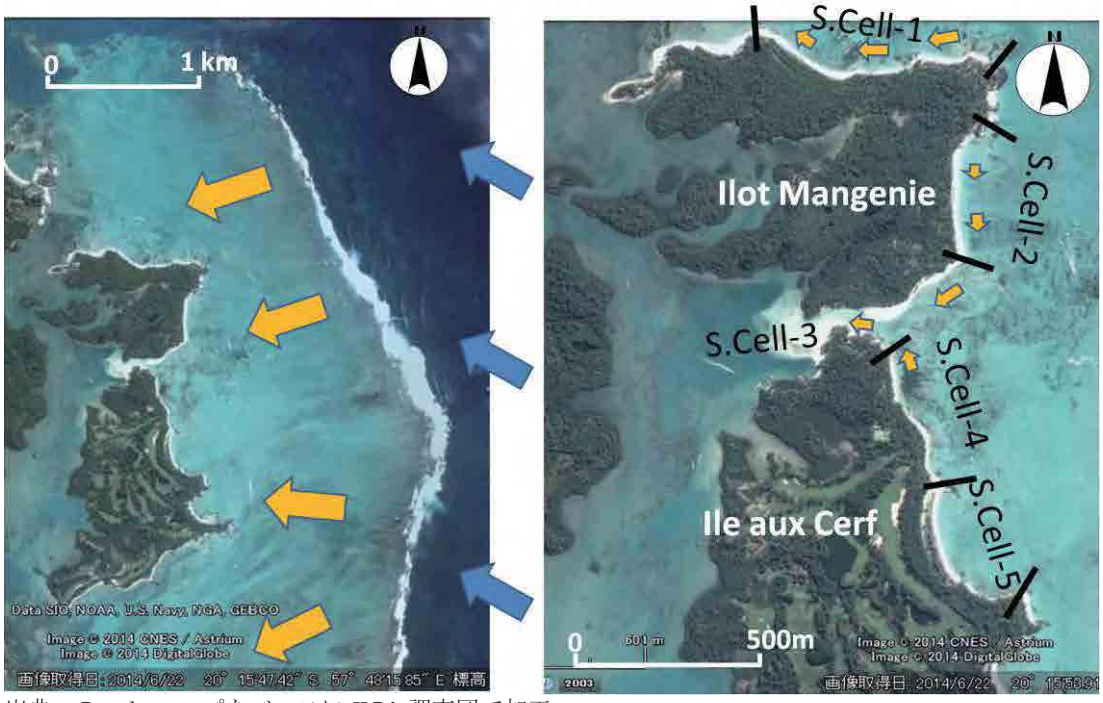
## 6.3 想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因

### 6.3.1 漂砂特性

空中写真に示す筋目模様およびリーフ地形より想定されるリーフ上の砂の移動方向を図 6.3.1左図に、海岸モニタリング結果から推定される海岸における沿岸漂砂方向を図 6.3.1右図に示す。

- リーフ上の砂移動は、当海岸の波浪特性およびリーフ形状に支配されると考えられる。沖側のリーフ地形は Ile aux Cerfs 前面付近で凸型となっており、このリーフ地形よる波の屈折変化により、沖からの砂が Ile aux Cerfs 前面に集まる傾向にある可能性がある。
- 当海岸はリーフからの砂供給が顕著であり、各海岸エリアでの土砂収支はこのリーフから供給される砂と海岸での沿岸漂砂によって規定される。沿岸漂砂は各海岸の角度に応じて変化し、一様かつ一方向の連続した沿岸漂砂は存在していないと考えられる。

- Ile de l'Est 北側海岸（sub cell-1）ではラグーン側から常に砂が供給される砂が、ラグーン側に向かう顕著な西向き沿岸漂砂で運ばれ、陸側への波エネルギーの減少に伴うこの沿岸漂砂の減少により砂嘴が発達し、現在 1 つの島に繋がったと考えられる。その土砂増加量は、図 4.3.6 の土砂収支結果より 1,800m$^3$/年と見積もられた。
- Ile aux Cerfs 島前面の海岸域（Sub Cell-2 および 4）では、海岸方向およびモニタリング結果より、Sub Cell-2 では弱い南に向かう沿岸漂砂が、Sub Cell-4 では弱い北に向かう沿岸漂砂が存在すると考えられる。それぞれの年間の土砂減少量は Sub Cell-2 で 110m$^3$/年、Sub Cell-4 で約 180m$^3$/年である。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 6.3.1 Ile aux Cerfs の波浪および漂砂パターン

- 水路部の Sub Cell-3 での堆積（約 1,500m$^3$/年）は、ラグーン側から直接運ばれた砂および水路の北側および南側海岸からの沿岸漂砂により流入したもののトータルな量である。周辺海岸からの流入分を、図 6.2.5の土砂収支結果より得られた Sub Cell-2 および 4 の減少量と仮定すると約 300m$^3$/年となり、残りの大半の堆積砂（約 1,200m$^3$/年）はラグーンから直接運び込まれたものと考えられる。
- 水路南側の Sub Cell-5 は岬に囲まれたポケットビーチと見なすことができる、ここでは 45 年間で平均 80m 程度の汀線の前進、45,000m$^3$（約 1,000m$^3$/年）が生じている。沿岸漂砂による流入出がないものと仮定し、この増加量が沖側のリーフからの供給と仮定すると、その供給量は単位海岸線当たり 2.5m$^3$/m/年となる。同様に Sub Cell-2～4 では 2.0m$^3$/m/年程度となる。この供給量は、Baird(2003)に示される Belle Mare の 1.2～1.75m$^3$/m/年、Palmar の 0.6～1.0m$^3$/m/年よりも大きい値となっている。リーフ条件や推定法の違いもあるので一概には言えないが、Ile aux Cerfs のリーフからの砂の供給量は、Belle Mare や Palmar に比べて多い可能性がある。

### 6.3.2 当海岸の問題とその要因

当海岸の問題とその要因は下記の通りである。

**a.　水路部での顕著な堆砂とそれによる海岸利用の魅力の低下**

水路部の堆砂はリーフから直接運び込まれる砂と沿岸漂砂により周辺海岸から流入する砂が考えられるが、前述のように前者が支配的である。近年特にこの堆砂傾向が顕著であり、2012 年 10 月に約 20,000m$^3$ の土砂浚渫が、2014 年 5 月に約 3,300m$^3$ の土砂が撤去された。堆砂が顕著となっている要因は不明であるが、考えられる要因として、以下の 2 点が考えられる。

- 以前実施されていた砂採掘が 2000 年以降禁止され、リーフ上の堆砂量が増している可能性があること
- 近年顕著なサイクロンが襲来していないこと

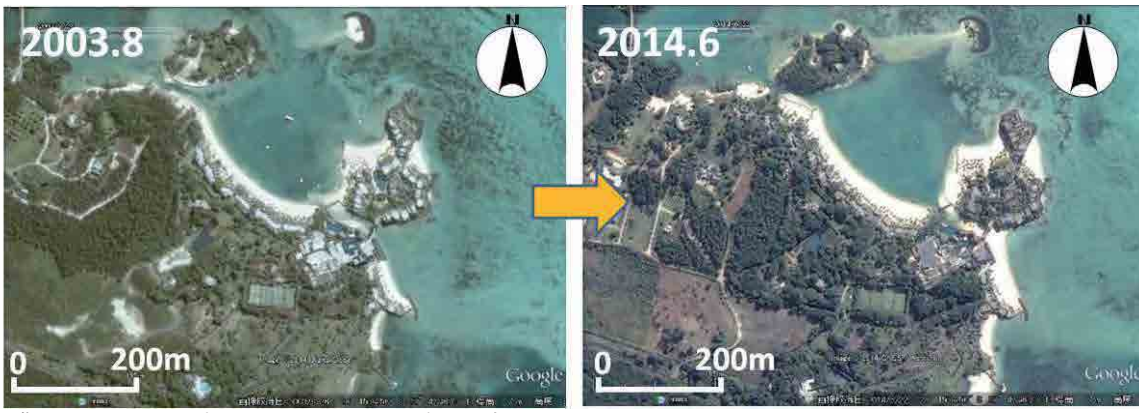
この水路エリアは、観光客にとって、広い白砂と水路の流れを楽しむ自然のビーチアトラクションエリアとなっており、当海岸の他海岸にない魅力の 1 つとして維持すべきものと考えられる。また背後のラグーン域との海水交換機能上も閉塞させないことが望まれる。

**b.　水路部両側海岸での汀線後退**

水路を挟んだ両側の海岸域（Sub Cell-2 および 4）では、若干ではあるが汀線が後退傾向にある。モニタリング結果より、特に南東の貿易風が顕著となる冬季に汀線後退が顕著となる傾向が見られる。当海岸はリーフ幅が広く、ハリケーン等の特殊イベント時以外では、汀線付近の波は、ラグーン上での風波による影響が大きく、強風の頻度が増す冬季に汀線が後退すると考えられる。一部の砂は沿岸漂砂により水路側に運ばれ、その結果、トータルとして汀線が後退していると考えられる。

**c.　北部ホテルエリアでの水路の顕著な堆砂による閉塞**

図 6.3.2に示す Ilot Mangenie の北側約 1km に位置するリゾートホテル前面に存在する 2 つの島の背後の水路においても、現在顕著な堆砂による水路の閉塞が生じており、現在ホテルにより対策案が検討されている。なお、南側の島は、ホテル開発に伴い人工的に拡張されたものである。図 6.3.2に示すように、当海岸付近も全体として堆積傾向にあり、これが観光利用上の問題となっている。なお調査団はホテルの依頼により、水路の堆積低減対策についての概略提案を行った。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 6.3.2　Touessrok Resort Hotel 水路の閉塞

## 6.4 海岸保全対策

### 6.4.1 概要

当海岸は、14 海岸中唯一、堆砂が問題となっている海岸である。またモーリシャスを代表する高級ビーチリゾートの 1 つであり、観光利用面・景観面に特に配慮する必要がある。また Ile aux Cerfs の島背後のラグーン域はホテルの存在する陸域から島への航路として利用されるとともに、自然のマングローブが林立する、環境的にも変化に富んだ景勝エリアであるため、環境面にも十分な配慮が必要である。

短期対策としては、水路の河口閉塞が生じている一方で、その南北の海岸で汀線の後退が生じていることに対する対策である。一方、海岸保全計画策定海岸として選定された各海岸の中で、当海岸のみが顕著な堆砂が問題となっている海岸である。これまで実施された維持管理において、撤去した砂は基本的に周辺海岸に再投入されてきたが、全体の砂供給量の顕著な増加が生じている中で、必要以上に周辺海岸に再投入することは、水路部の閉塞を助長する可能性もある。一方、他の海岸では海岸侵食が問題となっている海岸がほとんどであり、このような海岸に当海岸での余剰砂を利用することが考えられる。なお、当海岸では元来リーフ上でのサンゴの分布がほとんど見られないことや、サンゴや水質環境悪化に起因する海岸侵食問題への影響が確認されていない。これより長期対策として、当海岸全体としての顕著な土砂堆積に対する土砂管理、および中長期的なサンゴ・水質環境維持のためのモニタリングおよび水質改善対策を掲げる。

### 6.4.2 対策の基本方針

短期対策

- 水路の閉塞を防ぎ常に水路を確保するとともに、隣接する南北エリアの汀線後退を防ぐものとする。
- 当海岸は人工的な構造物がなく、自然の海岸景観が維持され、これが当海岸の魅力でもある。またモーリシャスを代表するビーチリゾートとしての重要性を維持するために、人工構造物の設置は行わない。

以上により、短期対策としては、定期的な水路部での土砂撤去＋隣接海岸への必要量の土砂投入を提案する。

長期対策

- 短期対策として実施する定期的な土砂撤去により得られた余剰砂を、適切で総合的な土砂管理の元で、海岸侵食による汀線後退が生じている他海岸への有効利用を図る。
- 当海岸はリースエリアであり、維持管理は民（ホテル）が担ってきた。一方、他海岸への有効利用を図る場合、土砂管理や他海岸への実施等、官との連携が不可欠である。ここでは官民連携による実施方法について、1 つの考えとして示す。
- サンゴおよび水質モニタリングおよび水質改善対策の実施。

### 6.4.3 短期対策

#### a. 土砂撤去の方法

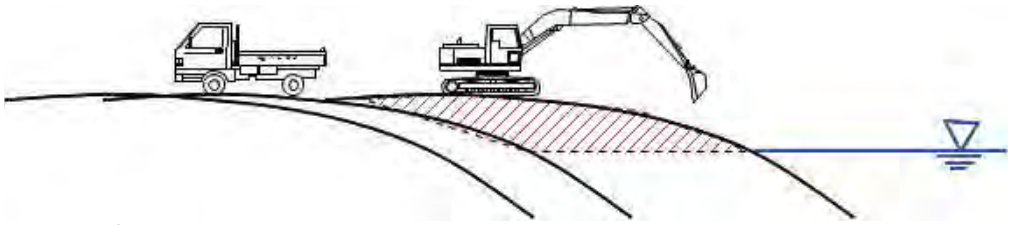
水路部での定期的な土砂撤去方法について、大きく水中での土砂浚渫および陸上部での土砂撤去の 2 通りが考えられる。それぞれの比較を示したものが表 6.4.1である。

表 6.4.1 土砂撤去方法の比較

| 施工法 | 浚渫（水中作業） | 海岸からの土砂撤去（陸上作業） |
|---|---|---|
| 概要 | 水面下の土砂を浚渫船（バックホー浚渫船、またはポンプ浚渫船等）を用いて浚渫・運搬する方法（2012 年の水路での土砂撤去はこの方法による） | 水路両側の堆積域を陸上からバックホー等により撤去する方法（2014 年の土砂撤去はこの方法による） |
| 施工性 | ・短期間で大量の土砂の撤去が可能<br>・浚渫船等、特殊作業船の手配が必要 | ・一般的には撤去する土砂量が多い場合、施工期間がかかる。（ただし、投入する重機の台数で解消可能）<br>・用いる重機は一般的なバックホー |
| 施工費 | 施工費が高くなり、定期的な土砂撤去に対する維持管理費が高くなる（700～900 MUR/$m^3$） | 施工費が安く、維持管理費の負担が少ない（300～400 MUR/$m^3$） |
| 維持管理面 | 特殊作業船を調達するため、できるだけ大量の土砂を撤去する方が施工費を抑えられる。これより、1 回 1 万 $m^3$ オーダーの浚渫量となる、数年に 1 回程度の頻度が現実的である | 浚渫案に比べて維持管理の頻度は増える。またモニタリングに基づく適切な撤去時期の判断が必要 |
| 利用面 | 維持管理の間隔が空くため、水路の形状が激変する（浚渫直後は水路は広く深くなる） | 浚渫案に比べて定期的に行うため、水路部の変化が小さい |
| 環境面 | 浚渫時に、海水と一緒となるため顕著な汚濁が発生する可能性がある | 基本的には、海水を含まないため、汚濁の発生は浚渫工法よりも抑えられる |
| 評価 | 推奨しない | 推奨案 |

出典：JICA 調査団

これより、水路部での定期的な土砂の撤去は、適切なモニタリングを踏まえての陸上撤去案を推奨する。砂を撤去するエリアの選定は、堆砂状況や海岸利用上への支障等を踏まえ、北側、南側および水路ラグーン側の堆積域から適宜選定する。砂の掘削方法は観光客の海浜利用に配慮し、極端な断面変化が生じないようにする（図 6.4.1）。



出典：JICA 調査団

図 6.4.1 水路部の土砂撤去のイメージ

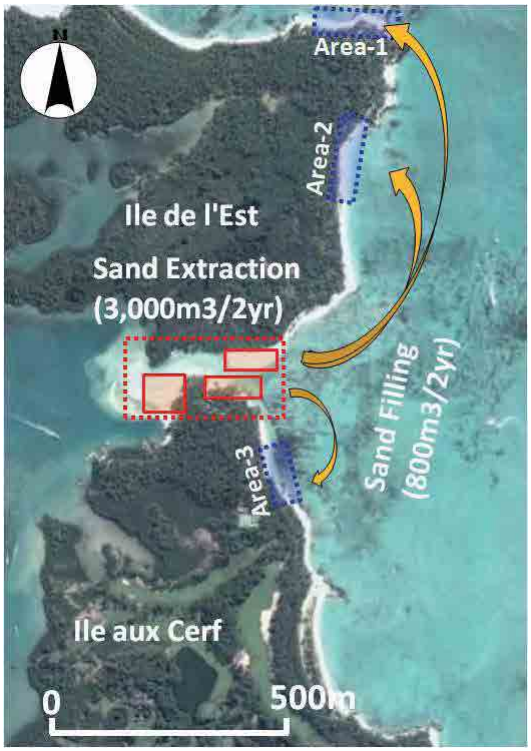
### b. 土砂管理（必要撤去量、海岸投入量、頻度等）

定期的な砂の撤去を行う上で必要な情報としては、撤去の頻度、撤去量および近隣海岸への再投入量である。水路の堆積状況は、襲来する波浪条件、特にサイクロンの襲来頻度やその大きさにより大きく左右されるため、基本的にはこれらは継続的な海岸モニタリング結果を踏まえて順応的に決定されるものである。ここでは過去の土砂収支の傾向を踏まえ、1 つの目安として提示する。

検討条件は下記の通りである。

- 長期の土砂収支結果より、水路には平均 1,500m$^3$/年の土砂が毎年堆積するものとする。
- 長期の土砂量変化からは、隣接する北側および南側の海岸で、それぞれ 110m$^3$/年、180m$^3$/年の土砂流出が生じる結果が得られた。一方海岸モニタリング結果では、限られた期間ではあるが、北側と南側との汀線後退の顕著な違いは見られなかった。これより長期解析の精度や季節変動、割り増し等を考え、北側、南側とも 200m$^3$/年程度の土砂を補給するものとする。

以上の条件を用い、短期対策としての定期的な砂の撤去による土砂管理法のイメージを示したものが図 6.4.2である。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

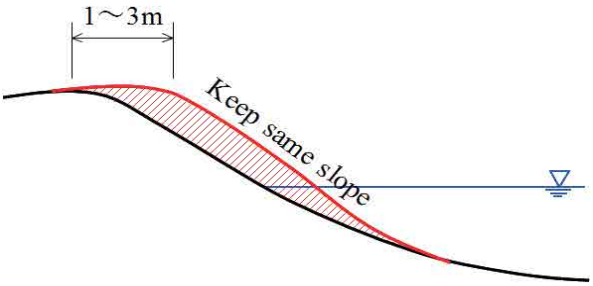
図 6.4.2 提案するサンドリサイクル

- 定期的な砂の撤去は、水路の堆積速度および経済性の両面を考え、基本的に 2 年に 1 回程度、1 回約 3,000m$^3$ 程度とする。水路の閉塞は、波による漂砂が流れによる掃流力より卓越して生じると考えられる。これより砂を撤去する箇所としては、流れによる掃流力を維持する上で、漂砂の影響を受けにくい水路背面側（ラグーン側）を優先することを推奨するが、実際の堆積状況を踏まえながら適宜判断する必要がある。
- 撤去した砂の約 30%程度に相当する砂（800m$^3$ 程度）を周辺の汀線後退域に投入する計画とする。ただしサイクロンの襲来や波浪の年変動により、水路の堆積過程は大きく変動する。よって定期的なモニタリングを実施し、水路の年変動を考慮しながら順応的に実施頻度、撤去量および投入量を判断していく必要がある。
- それ以外の余剰砂（上記の仮定では 2,200m$^3$ 程度の砂が 2 年毎にストックされる）については、他海岸への適用を念頭におき、観光客の利用上支障を来さない適切な場所に仮置きしておく。

### c. 掘削砂の投入方法

図 6.4.3の海岸モニタリング結果でも示されるように、周辺海岸へ掘削した砂を投入する際、ある地点に過剰に砂を投入しても、元の平衡状態に戻ろうとするための顕著な砂の移動・流出が生じる。また漂砂が存在する場合、できるだけ漂砂の上手側に投入し、自然に下流側に移動させることが海岸維持に対する期間を稼ぐ上で望ましい。これらの点を踏まえ、周辺海岸への投入方法を以下に示す。

- 投入する浜幅としては過度に幅広としない。目安として 1～3m 程度幅とする。また現況の浜勾配と同様の勾配となるように整形することが望ましい（図 6.4.3）。




出典：JICA 調査団

図 6.4.3 砂投入のイメージ

- 各投入エリアにおける漂砂移動方向を考慮し、その上手側に投入する（図 6.4.2）。

### d. 対策案のまとめおよび概算工事費

提案する短期対策およびその概算工事費を表 6.4.2に示す。

表 6.4.2 Ile aux Cerfs における提案する対策

| 項目 | |
|---|---|
| 対策範囲 | 水路部における堆砂エリアおよび近隣汀線後退エリア |
| 対策案 | 定期的な土砂撤去（陸上施工）＋近隣汀線後退エリアへの砂投入 |
| 撤去数量 | 3,000m$^3$/2year （但しモニタリング結果を踏まえ順応的対応が必要） |
| 投入数量 | 800m$^3$/2year （同上） |
| 概算費用（参考）<br>（注：直工費のみ、VAT含まず） | 砂撤去：1.2百万MUR（1m$^3$当たり400MURを仮定）<br>（約4.8百万円、1MUR = 4.0円を仮定）<br>砂投入：0.12百万MUR （1m$^3$当たり150MURを仮定)<br>（約48万円、1MUR=4.0円を仮定） |

出典：JICA 調査団

## 6.4.4 長期対策

### a. 掘削した砂の有効利用（他海岸への適用の可能性）

水路部確保のための土砂掘削した砂の一部は周辺海岸の維持管理用砂として用いられるが、当海岸は全体として顕著な土砂供給量の増加が生じているため、この余剰砂の有効活用を図ることを考える。

短期対策の中で示した前提条件においては、2 年毎に約 2,200m$^3$ 程度の余剰砂が発生することになる。これを、他の侵食海岸における維持管理用の砂として用いるものとする。現在、維持管理用の砂は陸上の quarry site（Maconde）から購入する以外にない。これと、掘削費用と購入砂の単価を示したものが表 6.4.3である。

表 6.4.3 単価の比較

| 掘削単価（陸上施工） | 購入単価（Maconde） |
|---|---|
| 400 MUR/m$^3$ | 2,000MUR/m$^3$*) |

出典：JICA 調査団　　* ) 業者からの聞き取り結果

これにより、quarry site から購入するのに比べて遙かに廉価で砂が利用できることになる。砂掘削を含めた維持管理は基本的にホテル（民）が担うことになるが、このシステムを変えることにより、官民双方にメリットが見いだせる可能性がある。

ただし、ここでは 1 つの考えを示すものであり、その実施に向けては、当海岸を管理するホテルと政府間での更なる協議が必要である。また、2001 年よりラグーン上からの砂採取は法律にて禁止されていることから、ある海岸で取得された砂を他海岸に転用することに対しても、同様の視点での協議が必要と考えられる。

**b.　サンゴ・海草および水質モニタリングおよび水質改善対策の実施**

リーフを含む当海岸域では定期的なサンゴ・海草および水質モニタリングは実施されていないため、中長期的なリーフ環境および水質維持のためのモニタリングを実施する必要がある。水質に関しては、特に水路部の閉塞に伴う停滞化水域での水質悪化の監視する必要がある。これらのモニタリング結果を踏まえ、長期対策として小島および海岸背後のホテル等に対して、より効率の高い下水処理施設やセプティックタンクへの転換の推進が必要と考えられる。

## 6.5　海岸維持管理計画

### 6.5.1　現在の海岸管理の課題に対する改善案

当海岸の現状を踏まえて、海岸維持管理面、土地利用管理面および海岸利用管理面における個別の課題および改善案については、Volume1 の 5 章の海岸維持管理計画の中で記載している。また、殆どの対象海岸に共通する制度や実施体制に関するソフト的な課題と改善案についても Volume1 の 5 章に記している。ここでは、現在の海岸管理の課題に対する改善案を以下に示す。

**a.　浜崖形成に関する課題**

- 関係機関連携によるモニタリング体制の強化
- 海岸域での植栽に関する適切な管理

**b.　沿岸域における浚渫に関する課題**

- 継続かつ定期的なモニタリングの実施
- 借地者からのモニタリングデータ提出の義務付けと適切な評価

### 6.5.2　海岸保全計画に基づく海岸管理計画

ここでは、上記の海岸保全対策に対する管理運営面で考慮すべき事項を示す。当海岸の海岸保全計画では、堆積土砂の浚渫＋侵食域への投入（サンドリサイクル）が示された。

当海岸は、1つの高級ホテルが基本的に管理・運営しており、過去2回実施した水路の砂掘削もホテルがコンサルタントによる検討結果を基に、独自の予算で実施されたものである。今後、提案するような掘削された余剰砂の他海岸への利用も含めた有効利用を図っていくための海岸維持管理上の課題として、以下の点が挙げられる。

➢　ホテルによる定期的な海岸モニタリングの実施と関係機関との情報共有

本事業で MOESDDBM と JICA 調査団により 2013 年から定期的な海岸モニタリングが

実施されるようになったが、当海岸の管理・運営を考えると、今後は同様のモニタリングをホテルが実施していくことが求められる。またその結果を踏まえた順応管理、対策計画の立案には、海岸問題に精通した政府関係機関（MOESDDBM）との情報共有、連携が不可欠である。

### 6.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の長期的侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）となる。

また、将来海面が上昇した場合に、海面上昇に伴う侵食が想定される。その機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruun の提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量 ＋ 海面上昇により侵食量

海面上昇量は 1987 年から 2011 年の平均で 3.9mm/year であり、係数 C は汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は 1/10 程度で、係数 C を 10、期間を 50 年と設定すると侵食量 E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2m となる。

## 6.6 実施に向けた今後の課題

### 6.6.1 継続的な海岸モニタリングの実施およびその結果を踏まえた順応的管理

前述のように、水路部の堆砂・閉塞状況は、季節や各年の波浪状況やサイクロンの襲来により、大きく変動する。これより、本事業で実施している海岸モニタリングを今後も継続的に実施していき、その結果を踏まえて土砂掘削の時期、掘削量、周辺海岸への再投入量等の維持管理計画を順応的に策定していく必要がある。

### 6.6.2 砂の有効利用に関する官民間協議および法制度との整合性

取得した砂の有効利用を図ることは、官民双方にとってメリットとなる可能性が高い。一方で、現在の海岸管理体制は、パブリックエリアは官、プライベートセクターへの借地エリアでは民、と分かれており、官民連携による海岸管理の事例は非常に限られる。砂の有効利用に関して、今後、その管理・運営方法について、官民間で更なる協議が必要である。また他海岸への適用に関する法制度上の整合性も協議していく必要がある。

# Chapter 7

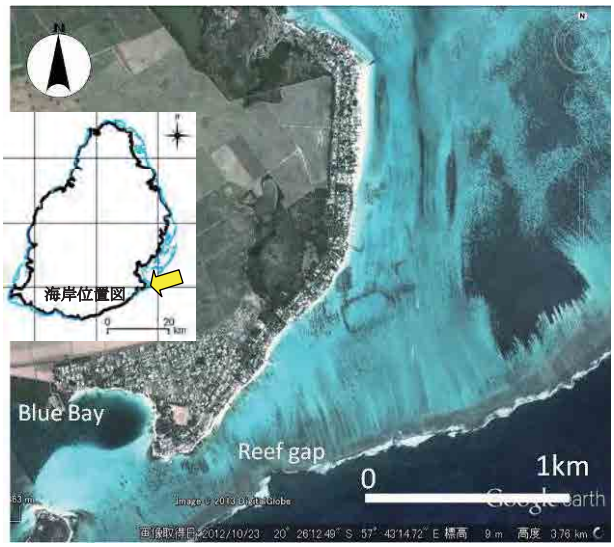
*Pointe d'Esny*

# 7 Pointe d’Esny

## 7.1 海岸概況

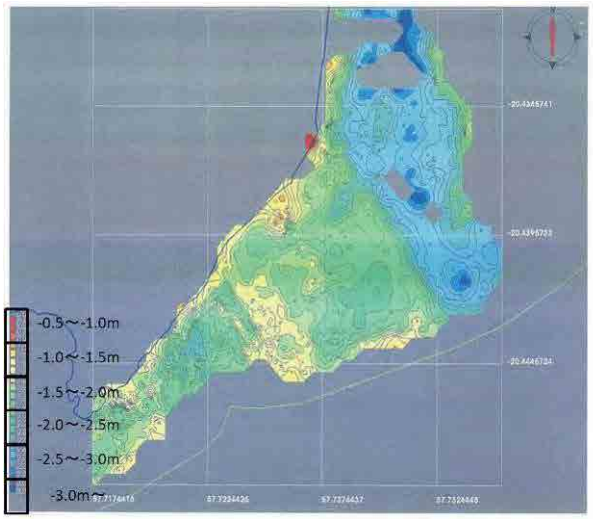
Pointe d’Esnyは、モーリシャス南部における最大の海岸リゾートエリアであるBlue Bay東側に隣接する約2.5kmの海岸線をもつリゾート海岸である。当海岸は借地エリアとして、古くからの個人の住居や別荘、小規模なゲストハウス等、計114の借地エリアが海岸線沿いに存在する。なお、当海岸域の借地エリアは、グレードの異なる5段階のカテゴリー分けの中でも最も高い、高級借地エリアとしての位置付けとなる。海岸は借地人や観光客が日光浴やシュノーケリングに利用するとともに、リーフ上でのダイビングやセーリング等、マリンスポーツの場としても利用されている。当海岸のリーフ北側は、以前モ国で盛んに行われていたリーフ内からの砂採取エリアの代表エリアの１つであった。海岸には、第二次大戦中から1960年代にかけて、その後も借地の防護を目的とした多くの突堤や護岸が存在する。

海岸線は南側での北東～南西方向の海岸線方向から、北側では南北方向に変化する凸型の形状を有する（図 7.1.1）。当海岸のリーフの形状は南側と北側で大きく変化している。リーフ幅は南側では500m程度であるが、北側に行くにつれてリーフ幅は広がり、北端の突堤部では約1.8kmの幅を有する。図 7.1.2に示すMauritius Oceanography Institute (MOI)によるリーフ上における深浅測量結果より南側でのリーフ上の水深は2m程度であるが、北側では南側に比べて1～2m程度深くなっている。また南側には小規模なリーフギャップが存在し、リーフギャップから岸側にかけて、周辺の水深より0.5～1m程度深くなっている。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 7.1.1 Pointe d’ Esny の地形




出典：Mauritius Oceanography Institute (MOI)

図 7.1.2 リーフ上の深浅測量結果

## 7.2 現状把握

### 7.2.1 現地踏査による状況把握

図 7.2.1に示す各位置から撮影された海岸状況写真（2013年1月撮影）を図 7.2.2、図 7.2.3に示す。これより当海岸の現況の海岸状況について以下に示す。

- 地点 A は、当海岸の南端の桟橋付近で撮影したものである。当地点では浜崖が生じていたため、2012 年に MOESDDBM が砂投入による保全対策を実施したが、再

び浜崖が生じている。なお 2014 年には、近隣の航路浚渫土砂を用いた再度の海岸整形が計画されている。

- 地点 B は、南側の Reef gap 岸側付近に位置する突堤 G1 である。突堤の南側で汀線の前進傾向、北側で後退傾向が見られる。
- 地点 C は地点 B から北側約 300m 地点の突堤 G2 である。ここでも南側での汀線前進傾向、北側での後退傾向が見られる。
- 地点 C から更に北側 300m 地点付近が地点 D である。この突堤から北側において、急激に砂浜は消失し、コンクリート直立護岸により陸域が防護されている。
- 地点 E、F では現在砂浜は完全に消失し、波が直接護岸に当たっている。このような完全に砂浜が消失している区間が約 150m 続く。
- 地点 E、F 間に長年住む借地者により提供された 1971 年当時の写真より、護岸前面の地盤高は、当時から 2.5m 以上低下した。これは当地点の海浜勾配より 20m 程度の汀線後退量となる。
- 地点 F 付近あたりでは、低潮位時には僅かに dry beach が見られるが、高潮位時には護岸に直接波が当たる。ただここから北側に行くにしたがって、徐々に浜幅が広がっていき、コンクリート護岸がない所も見られるようになる。
- 地点 G、H は突堤 G3 の南側および北側の汀線状況である。南側が前進し、北側が大きく後退している。
- 地点 I は突堤 G3 から 200m ほど北側地点の小突堤付近である。このあたりでは各借地者が捨石や砂袋による護岸でそれぞれの土地を防護している。ここから約 1km 間では突堤がなく、徐々に浜幅が広がっていく。
- 地点 J は北端にある突堤 G4 の南側 100m 地点付近である。このあたりでは広大な浜幅が広がり、海岸勾配も 1:12～1:15 程度の緩勾配となる。
- 地点 I は北端の突堤 G4 から撮影したものである。北側の汀線が大きく後退している。なおここから北側の海岸では、岩礁が露出するようになる。

出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 7.2.1 海岸写真撮影位置

地点A（南端の桟橋付近）

地点B　(後述の突堤G1)

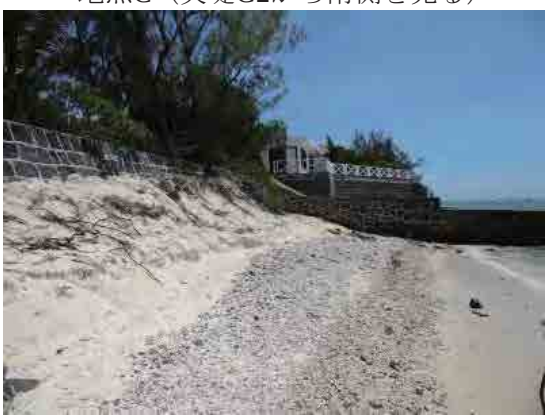
地点B（突堤G1から南側を見る）

地点B（突堤G1から北側を見る）

地点C　（突堤G2）

地点C（突堤G2から南側を見る）

地点C（突堤G2から北側を見る）



地点D

出典：JICA 調査団

図 7.2.2 Pointe d' Esny の海岸状況（2013 年 1 月撮影、1/2）

地点E

地点EとFの中間地点

地点F

地点G（突堤G3南側）

地点 H（突堤 G3 から北側を見る）

地点 I（突堤 G3 北側約 200m 地点）

地点 J（先に見えるのが突堤 G4）

地点 I　（突堤 G4）

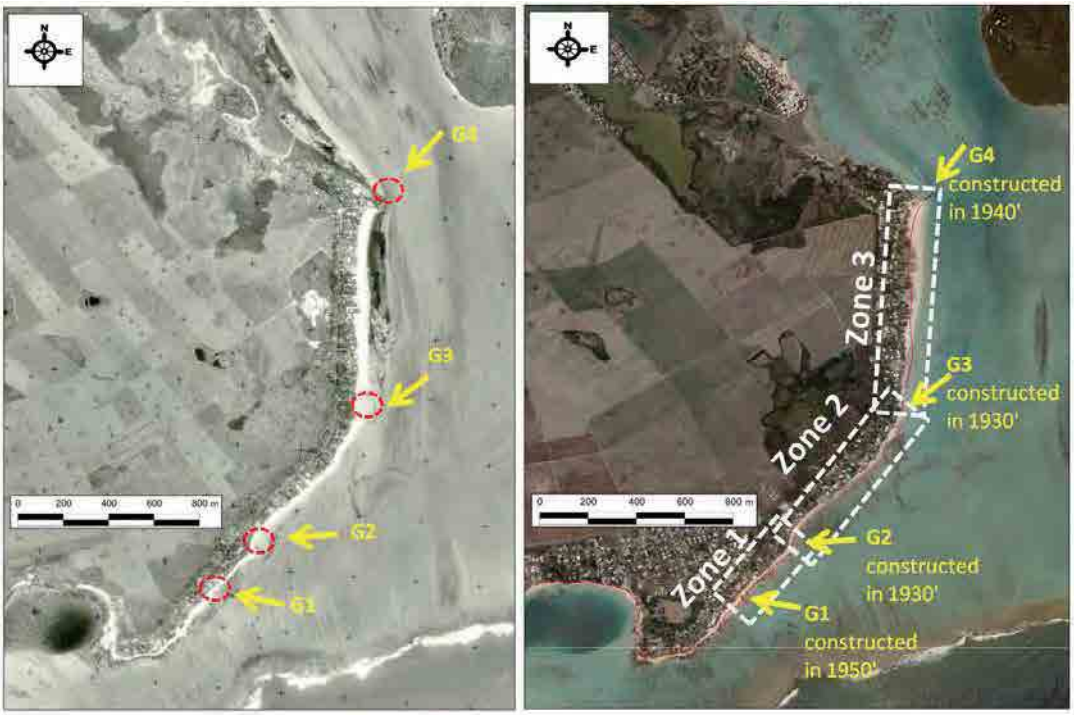
出典：JICA 調査団

図 7.2.3 Pointe d' Esny の海岸状況（2013 年 1 月撮影、2/2）

### 7.2.2 長期海岸変化および土砂収支

図 7.2.4は、1967年と2008年のリーフを含む海岸全体の空中写真を示したものである。また、図 7.2.5は各エリアでの2時期の海岸変化を2008年の画像をベースに示したものである。この2時期の空撮時期に加え、1975年、1991年および2012年の空撮および衛星画像を含め、5期間における各サブエリアの土砂収支および1967年からの土砂量の変化を示したものが図 7.2.6である。ここで土砂量への変換は、モーリシャスのサンゴ礁海岸における平均的な移動高として2.5mと設定し、地形判読結果から読み取った汀線変化量にこの移動高を乗じて算出した。これより、

- G1～G2 突堤間の Zone-1 では 1967 年から 2008 年までの約 40 年間での汀線変化量は小さい。突堤両側の汀線の出入りより、北向きの沿岸漂砂が存在すると推定される。
- 南側の G2～G3 間の Zone-2 では、1967 年当時に比べて汀線は後退しており、その汀線後退量は最大で 20m 程度となっている。この間の 150m 間は、現在既に砂浜が消失し、直立護岸に波が直接当たっている。
- Zone-3 北端の G4 は第二次大戦中に設置されたものである。この突堤の南側で顕著な堆積域が存在し、40 年間で汀線は約 50m 前進した。なお当エリアに古くから住む住民からの情報として、突堤が設置される前の海岸は、現在の突堤北側と同様の岩礁海岸であったとのことである。
- G4 突堤から北側エリアでは、以前海岸の前面に存在していた砂嘴が消滅している。
- 図 7.2.4 に示す主要な 4 本の突堤は 1967 年当時から存在していた。各エリアに長年住んでいる住民からのヒアリング調査結果より、G1 は 1950 年代、G2、G3 は 1930 年代、G4 は第二次世界大戦中に建設されたとのことである。また 1960 年のサイクロン Carol 襲来を受けて設置された古い護岸や突堤がいくつか存在するとともに、その後の度重なるサイクロンの襲来を受け、少しずつ突堤や護岸が増えていった。
- 図 7.2.6 の土砂収支結果より、北側エリアの sub cell-3 では、1967 年からほぼ一律に堆積が生じてきたが、2008 年と 2012 年間では顕著な変化は見られない。住民からのヒアリング結果より、北向きの砂移動を阻止している G4 突堤の一部が数年前に損傷し、それから北側への砂流出が顕著になったとの証言がある。この土砂変化より推定される年間の沿岸漂砂量は約 1,100$m^3$/年と推定される。
- 一方中央エリアの sub cell-2 では、1967 年から 1997 年の間で減少傾向が続いていたが、それ以降は変化がほとんど見られない。これは、当エリアでは護岸が設置されている部分も多く、汀線判読では護岸位置が固定点となり、侵食が進行しても画像上は十分判読できていない可能性もある。当エリアに住む住民からヒアリングした結果、sub cell-3 では現在も徐々に護岸前の砂が減少し、地盤高が下がっているとの情報がある。また sub cell-4 南側侵食域に長年住む住民より、ここでは季節的に砂が無くなったり戻ったりしながら、少しずつ侵食しているとのことであった。
- 当海岸全体では、40 年間で約 2 万 $m^3$ の堆積となっている。当海岸では特に 1970 年代から 90 年代にかけて、リーフ北側エリアからの砂採取が盛んに行われていたとともに、海岸やその背後に存在していた砂丘からも砂採取が行われていた。しかし 2001 年以降、リーフ及び海岸からの砂採取は法律により全面的に禁止された。近年の土砂収支の増加は、このことが大きく影響していると考えられる。

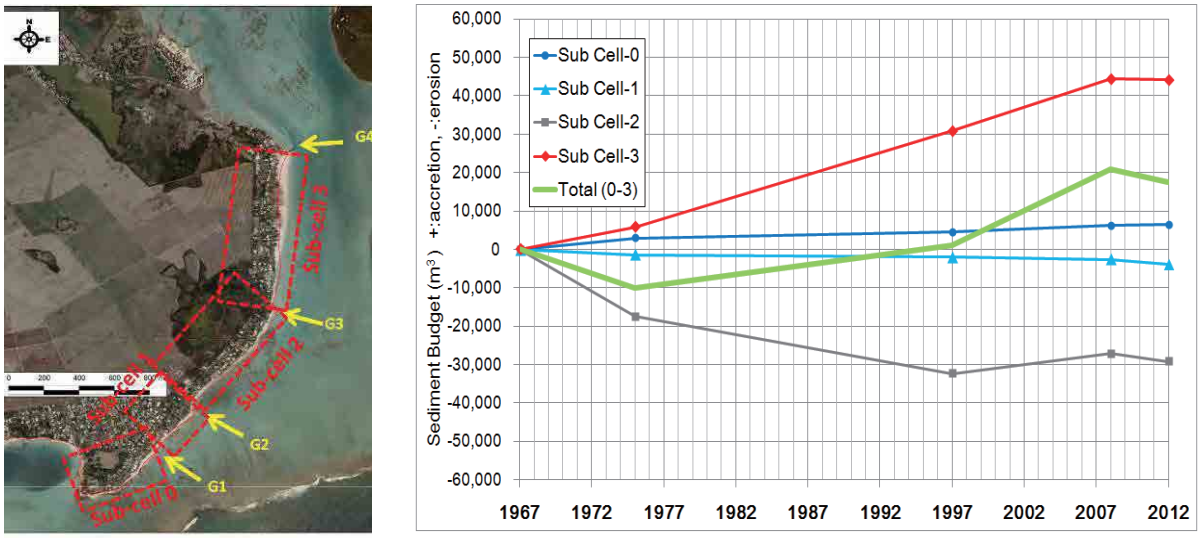



出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 7.2.4 空中写真の比較（左：1967 年、右：2008 年）

出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 7.2.5 各エリアでの長期汀線変化状況（衛星画像は 2008 年）




出典：左) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、右)JICA 調査団

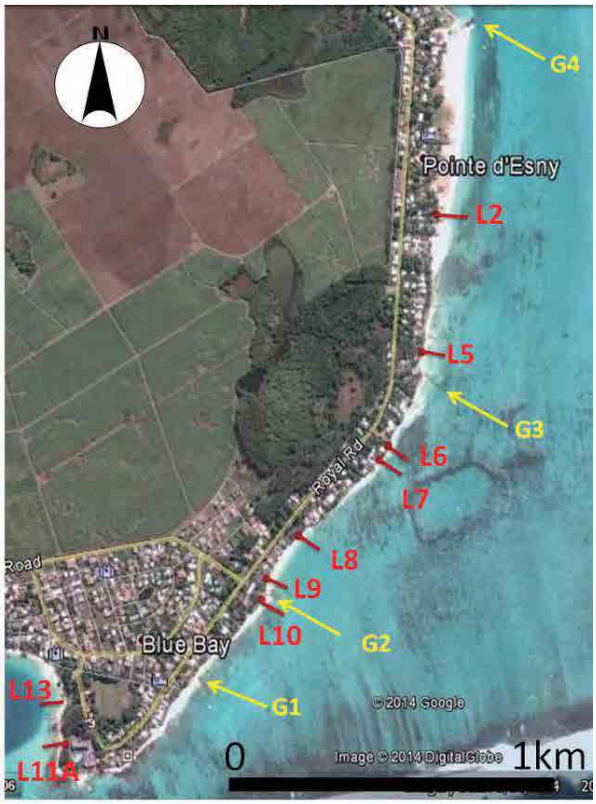
図 7.2.6 各エリアの土砂収支の変化

### 7.2.3 短期海岸変化（継続的モニタリング結果）

当海岸は、本事業における継続的モニタリング対象海岸の 1 つである。当海岸の南西のBlue Bayに位置する公共海浜公園から北端のG4突堤間の約2.5km間に13測線を設け、2013年11月よりほぼ3カ月毎に海岸モニタリング測量を実施中である。約1年間のモニタリング結果より、図 7.2.7に示す代表10地点のうち、Blue Bay内に位置する海浜公園の2点を図 7.2.8、そこから北側への連続した海岸部での代表7点の結果を図 7.2.9に示す。これより、

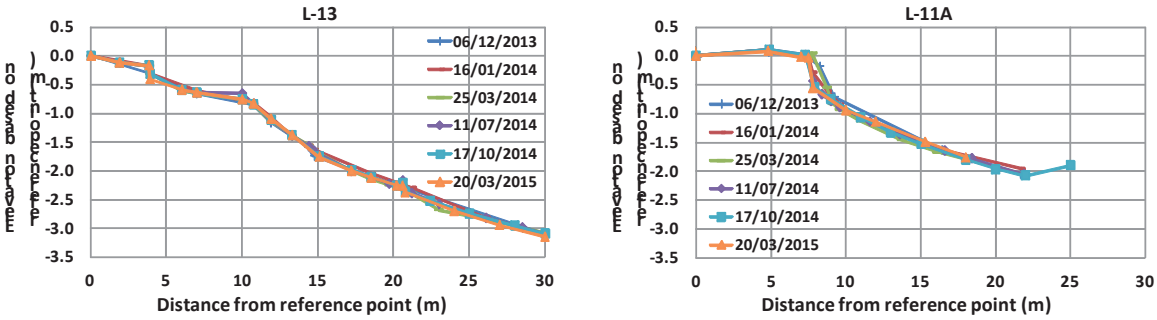
- Blue Bay の湾内に位置する海浜公園のレジャーボート用の不透過突堤の北側（L-13）および南側（L-11A）とも、季節変動がほとんど見られず、安定している。L-11A 付近は 2012 年に MOESDDBM により捨石投入による法面保護が実施された地点である。
- 図 7.2.2 の G2 突堤両側（地点 C）でのモニタリング結果が L10 および L9 である。突堤を挟んで明らかな傾向の違いが見られ、G2 南側の L10 では特に 2014 年 3 月から 7 月の冬季にかけて、顕著な堆積傾向、反対に北側での L9 では同時に侵食傾向が見られ、浜崖の形成が見られる。季節的な変動幅としては 2～3m 程度である。これは当海岸の季節的な風向変化とよく対応しており、強い南南東の風が生じる冬季に、北側へ砂が移動していることを示す。
- L8 はドライビーチが完全に消失する直立護岸南側であり、この北側には突堤が存在する（図 7.2.2、地点 C 付近）。L10 と同様に、冬季に 2～3m程度の汀線の前進が見られ、北に向かう漂砂の存在が確認できる。今後夏季に向かい、再び侵食傾向になると予想されるが、これは更なる継続的なモニタリングにより確認される。
- 図 7.2.2 の地点 F 付近の小突堤南側および北側の結果が L7 および L6 である。変化量としては前述の地点よりは小さいが、同様の傾向が見られる。
- 図 7.2.2 の地点 H 付近の G3 突堤北側の結果が L5 である。突堤の北側に位置することから、冬季に侵食傾向となる。
- 図 7.2.2 の地点 J 付近の顕著な堆積域での結果が L2 である。特徴的な季節変化は明瞭ではないが、現地観察結果より、波のエネルギーが相対的に高くなる冬季には、堆積域でありながら浜崖が見られる。

海岸モニタリング結果より、当海岸は、季節変化に伴う砂移動が顕著に見られ、南南東の強い風の頻度が高くなる冬季に北に向かい、風が弱まり東～北東の風向きとなる夏季に南方向に戻される。これを繰り返しながら、ネットとしては北側に移動しているものと考えられる。これらにより、漂砂現象の把握には、空中写真や衛星画像を用いた長期的特性（ネットとして漂砂がどちらに向かっているか）、および定期的な海岸モニタリングによる短期的視点（季節変動があるのか、またどちらに向かうのか）の両面でのアプローチが不可欠であることがよく理解できる。



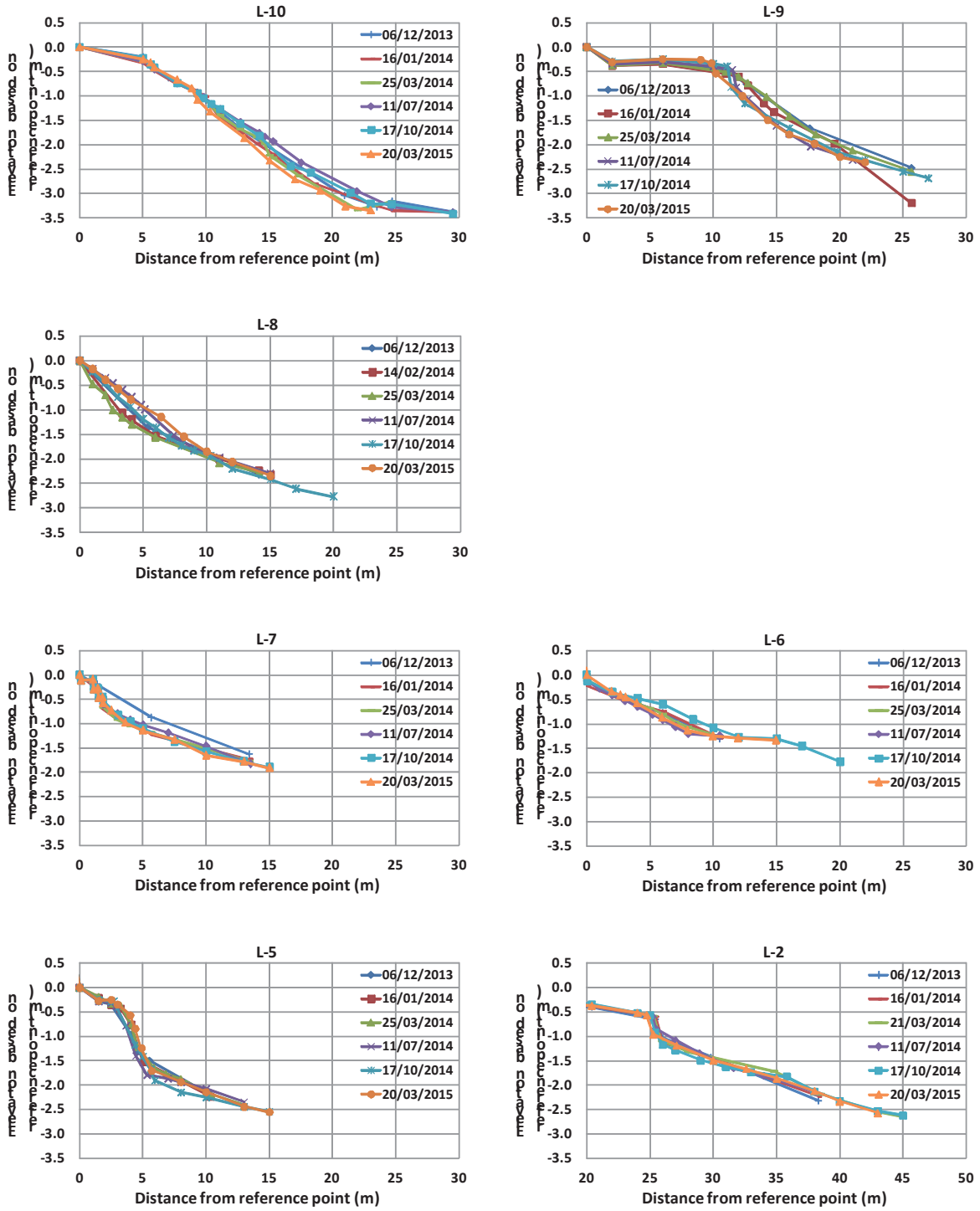

出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 7.2.7 海岸測量の位置図




出典：MOESDDBM and JICA 調査団

図 7.2.8 Blue Bay 湾内の公共海浜公園における継続的海岸モニタリング測量結果




出典：MOESDDBM　and　JICA 調査団

図 7.2.9 Pte d' Esny の代表 7 地点における継続的海岸モニタリング測量結果

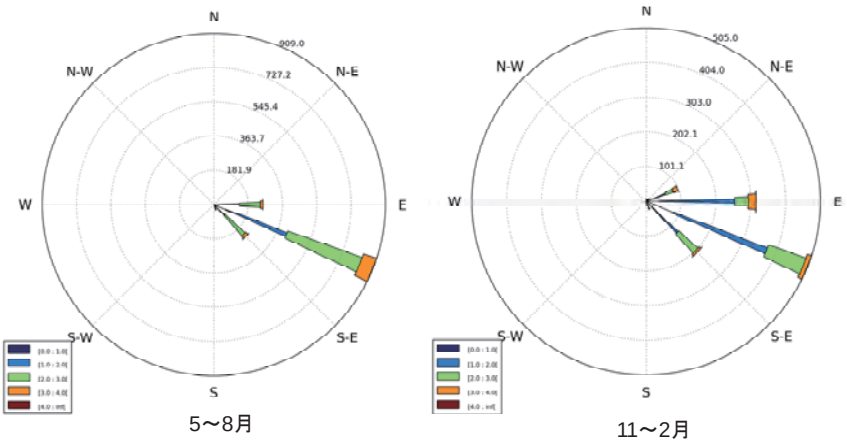
### 7.2.4 海象、地形、底質、リーフ環境特性

#### a. 気象・海象

沖波波浪（MMSおよびMOIによる波浪観測結果より）

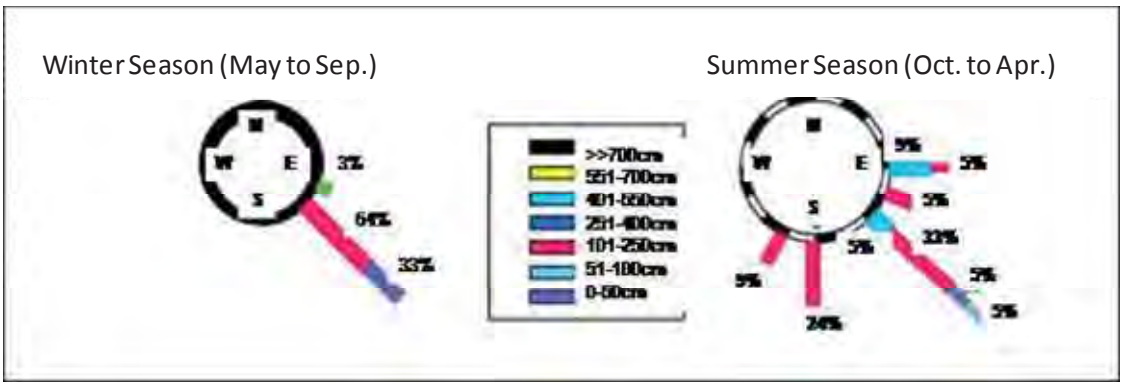
当海岸域の漂砂および地形変化に影響を及ぼす波浪は、大きく2つに分けられる。1つは冬季（6～9月）における南東からの強い季節風に伴う波浪で、もう1つは夏季（12～3月）に襲来するサイクロンによる波浪である。Mauritius Meteorological Service （MMS） が2003年よりBlue Baie沖で,またMauritius Oceanography Institute（MOI）がモーリシャス北東部のRoches Noires沖で2012年2月からリーフ外波浪の連続観測を実施している。両者の夏季（11月～2月）および冬季（5月～8月）における波浪の出現特性を示したものが図 7.2.10 である。これより、

- Blue Baie 沖では夏季、冬季とも SE 方向からの入射波が支配的であるが、冬季ではほぼ SSE の 1 方向に集中する。このような傾向は Roches Noires 沖も同様である。
- 波浪の季節変化は、風の季節変化に対応する。夏季はサイクロンの襲来を除けば、一般的に風は弱く、また風向きの変動も冬季に比べて大きく、静穏な波浪の頻度が高い。一方冬季は SE からの強い季節風の影響により、夏季に比べて波は高くなる。




(1) Roches Noires 沖

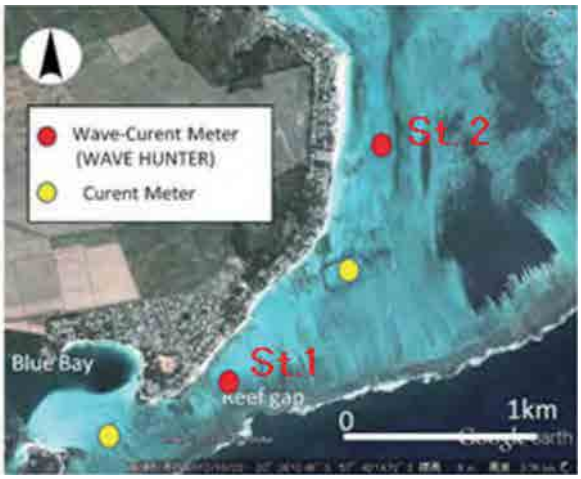
出典：Mauritius Oceanography Institute (MOI) 提供資料を元に JICA 調査団で作成




(2) Blue Bay沖

出典：Mauritius Meteorological Service (MMS)

図 7.2.10 沖波出現特性の季節変化




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

**図 7.2.11 リーフ上での波･流れの観測（実施中）**

- 一方サイクロンは夏季に襲来し、12 月～4 月あたりの襲来頻度が高い。モ国の北側から南に向かって進むが、その経路はまちまちであり、東沿岸域を通る場合もあれば西側沿岸域を通る場合もある。またモ国の北でピークを取る頻度が多いが、勢力の大きいサイクロンは、モ国通過中、あるいは通過後までピークの勢力を維持するケースもある。これらの経路や勢力により、当海岸の沖波特性も大きく影響を受ける。

<u>リーフ上の波浪・水位（調査団による波・流れの観測結果より）</u>

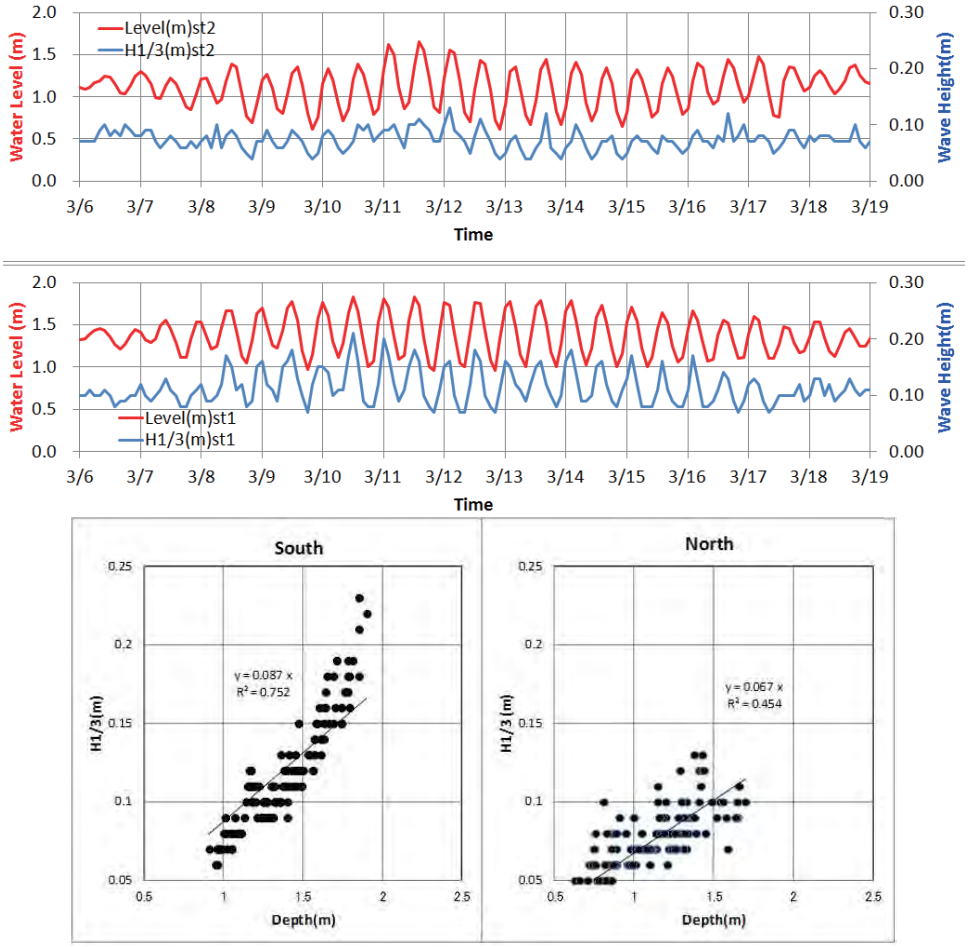
① 通常時

当海岸は500m～1.8kmのリーフ幅を持つ海岸であり、リーフ幅に応じた波の減衰作用により、海岸に到達する波高は大幅に低下する。また海岸到達波高は、沖波とともに潮位に伴うリーフ上水深変化に大きく依存し、リーフ上水深が深いほど波高は高くなる。当海岸のリーフ幅は南側に比べて北側が大幅に広がっているため、北側の海岸到達波高は南側に比べて小さいと予想される。これを確認するために、図 7.2.11に示す地点で波と流れの観測を実施した。ここで赤丸が波高流速計であり、これによりリーフ幅の異なる2地点でのリーフ上の波高・水位変化を調べた。同時期に観測された2地点の波高と水位変化（赤線が水位変化、青線が波高変化）および両者の関係を示したものが図 7.2.13である。これより、

- リーフ上の波高は水位変動に支配され、水位が高いと波高も高くなる。これはリーフ上に伝播する波高はリーフエッジで砕波した波であり、その砕波波高は水深でほぼ規定されるためである。
- リーフエッジからの距離が約 200m 地点の St.1 と約 1.4km 地点の St.2 では、波高変化に明らかな違いが見られ、St.2 の波高が小さい。St.1 では平均的には水深の 0.9 倍であるが、水位の大きい時にはその 1.1 倍程度となる。一方 St.2 では、どの水位条件においてもほぼ水位の 0.7 倍程度となっている。

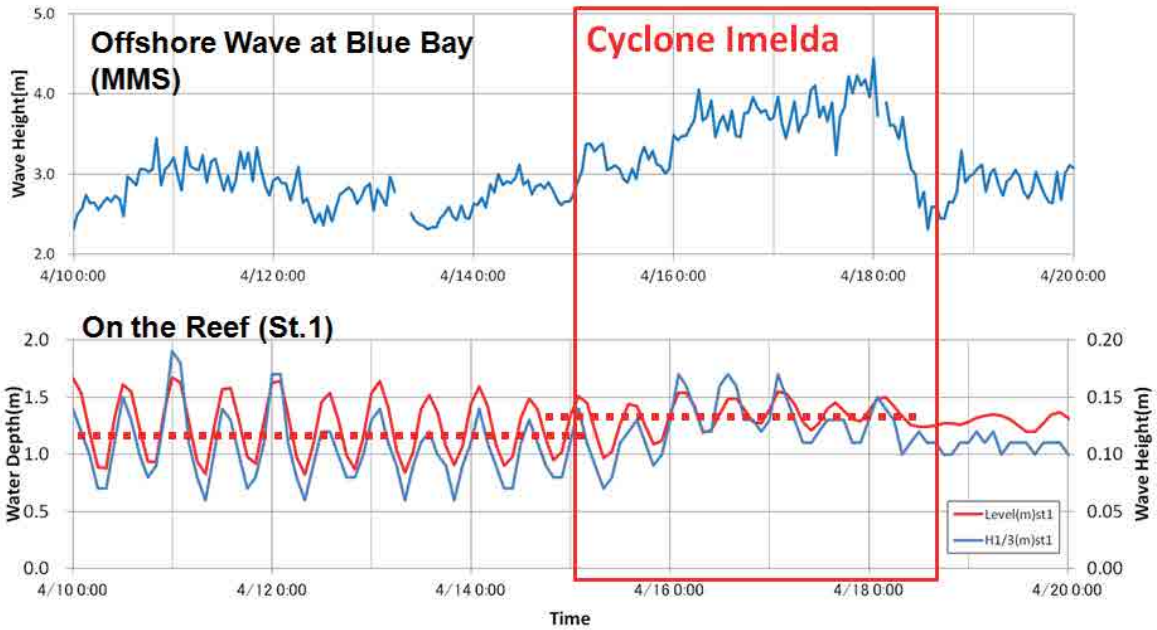
② サイクロン襲来時

観測期間中の2013年4月16日～18日にかけて、サイクロンImeldaがモ国の東沿岸を通過した。Blue Bay沖合のMMSによるブイ式波高計により観測されたこの時の波高と、リーフ内のSt.1地点での波高および水位変化を示したものが図 7.2.13　である。




出典：JICA 調査団

図 7.2.12 St.1 および St.2 での水位および波高変化の関係




出典：JICA 調査団

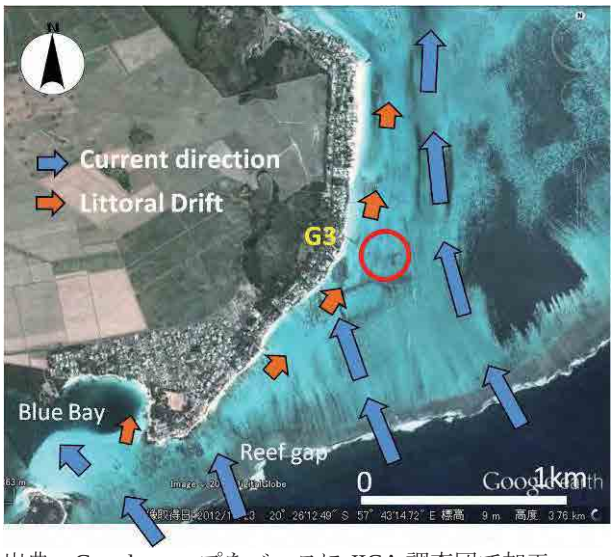
図 7.2.13 サイクロン通過時の沖波波高とリーフ内（St.1）波高・水位の関係

- ピーク時には沖で 4m 程度の有義波高が観測されている。一方リーフ内の波高変化は、通常時に比べて若干の波高の増大が見られるが、その変化は僅かである。
- サイクロン通過前および通過中の平均水位を図中の赤の点線で示すが、サイクロン通過時には通過前に比べて若干水位の上昇が見られる。これは波に起因する水位上昇量（Wave Set-up）と考えられる。通常外海に面した沿岸方向に一様な砂浜海岸では、高波浪時には入射波高の 10%の Wave Set-up が生じるとされているが、本結果では約 3%程度と小さい。
- これとは別に、2014 年 2 月に襲来したサイクロン Edilson 襲来時にも、Imelda と同様にピーク時に沖で 4m 程度以上の有義波高が観測された。この時のリーフ内の水位上昇量も約 3%程度であった。

リーフ上の流れ

1) リーフの筋目模様からの推定

リーフ上の波や流れの方向は、空中写真や衛星画像から読み取れるリーフ上の筋目模様からある程度推定可能である。リーフ上には明らかな筋目が観察され、この筋目模様から推定される流れの方向を示したものが図 7.2.14である。これより南側では、Blue Bay湾内の深みに抜ける、西向きの筋目模様が見られる。中央エリアでは、入射方向とほぼ同様の方向から海岸に入射するような筋目模様であるが、北側に行くにつれて、北に向かう筋目模様が見られる。この筋目模様は、リーフ幅が狭く波の作用による底質移動が支配的と考えられる南側での波の進入方向を示していると考えられる。一方北側のリーフ幅が広く、相対的に流れの作用による底質移動が顕著なところでは、流れの向きを示すものと考えられる。

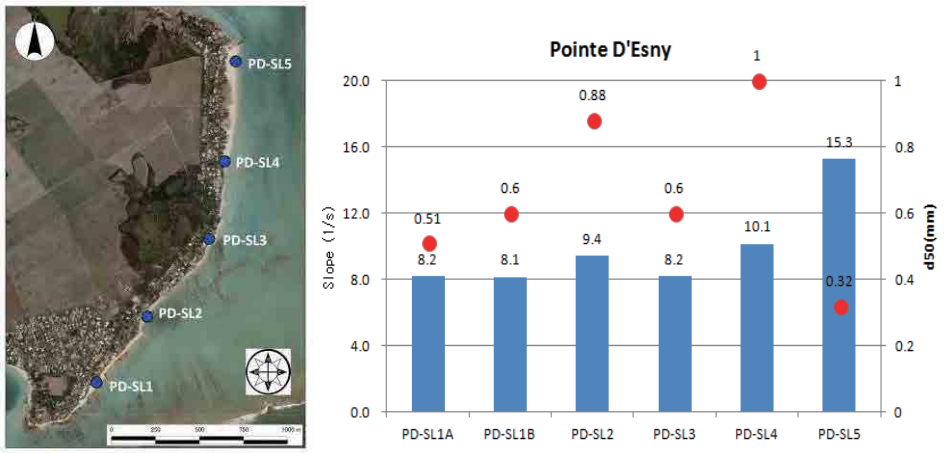



出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

**図 7.2.14 リーフの筋目模様から推定されるリーフ上の波･流れの方向**

**b. 地形・底質**

前述のように、当海岸のリーフは南側エリアでは幅500mであるものが、北側では1.8kmほどに広がり、このリーフ幅の違いが、当海岸の漂砂特性および海岸変化に大きく影響を及ぼしていると考えられる。南側のBlue Bayはリーフが存在せず、水深も深くなっている。この湾内の水深急深部に向かう海底は、潜水調査結果より1:3～1:5程度の急峻な勾配で深くなっていることが確認されている。これよりリーフ上で沖側から岸側に移動した砂が、湾内の水深の深いエリアに進むにつれて砂を動かす起因力が弱まり、このため、沖側から推されたような海底形状を形成していると考えられる。




出典：左) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、右)JICA 調査団

図 7.2.15 海浜勾配

当海岸南側エリアには小規模ではあるがリーフギャップが散在し、このリーフギャップから岸側にかけて、他のエリアでの水深（平均2m程度）に比べて0.5～1.0m程度深くなっている。このようなリーフギャップの存在および水深の違いは、南側エリアでの局所的な海浜特性に影響を及ぼしている可能性がある。

リーフ幅の広がる北側では、他のエリアに比べて1～2m程度水深が深くなっている（図7.1.2）。これは、当海岸で継続的に行われてきたリーフ上の砂採取による可能性がある。特に1970年代から80年代にかけては北側の広いエリアから取得されていたと考えられる。ただし、その後から2001年に禁止されるまで、採取場所はIle aux Aigrettes北側の0.8km$^2$エリアに限定された。

また図 7.2.14に見られるように、リーフ上の北東エリアで広大なサンゴ域が見られる。このサンゴ域では水深が周辺に比べて1-2m程度浅くなっているため、ボートの航行は高潮位以外では困難である。図中に示す赤丸付近での強い流れは、このような水深変化により生じている可能性も考えられる。

基礎調査結果より得られた前浜勾配の沿岸方向分布を示したものが図 7.2.15である。前浜勾配は、大凡1:8程度であるが、北部エリアで砂浜が広がるにつれて1:10～1:15程度まで緩くなる。またこの堆積域の粒径は他のエリアに比べて細砂である。このような結果からも、砂は全体的には徐々に北側に移動しているものと考えられる。

### c. リーフ環境・水質

礁湖内のサンゴの被度は枝状のミドリイシが1%、沖合のバックリーフではテーブル状、枝状のミドリイシを中心にサンゴの被度は70%である。稚サンゴは礁湖内のパッチリーフはゼロであるが、バックリーフでは 1.1/ m$^2$とモーリシャスの礁湖内のサンゴ群落では最も高い。礁湖内に海草藻場は全く見られず、サンゴの遺骸上に*Surgassum, Padina*が少し見られる。1996年の航空写真及びその解析結果と比較すると、本プロジェクトにおける海岸保全計画策定の優先14海岸の中で、唯一サンゴの生息域が拡大している海岸である。住民からの聞取り調査からも、特にここ数年、リーフ上でのサンゴ生息域が著しく拡大しているとのことである。このあたりは南からの外洋水が直接礁湖内に入り込み、透視度も15m以上で、現在のモーリシャスの礁湖では最もサンゴの生育環境が整った海域となっている。この海域では他の礁湖と異なり、底引き網漁は禁止されているが、聞き取り調査では潜水による密漁が一部で行われているようである。また1992年頃AFRCが作成した調査図には岸近くに海草藻場が分布しており、住民からの聞き取り調査からも、北側堆積域の岸近くに海草藻場が分布していたとの情報が得られている。しかし近年これが

消滅し、1996年の調査結果にも記されていない。現在部分的に*Halophila*がみられるが、海草藻場と呼ばれる規模のものは殆どみられない。グラスボートによる直接観察では、堆積している海岸のすぐ前の影の部分は微小藻類のマットで、海草ではなかった。

出典: Google Eeath を基に JICA 調査団が加工

図 7.2.16 Pointe d'Esny でのグラスボートによる調査結果

水質的にもシルテーションは無く、クロロフィルa、濁度および栄養塩類は、サンゴの生息として良好なレベルにある。当海岸は、下水道の未整備地区であり、排水は主に吸収ピット（AP:Absorption pit）を通して海岸へ流入している。

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果は、表 7.2.1に示す。シルテーションは無い。クロロフィルa、濁度および栄養塩類は、それぞれ、平均で0.08 ug/L、0.30 NTU、<0.02 mg/L ($NO_3$)、<0.005 mg/L ($PO_4$)であり、サンゴの生息として良好なレベル（サンゴ被度として50%以上の範囲にある水質レベル）にある。当海岸は、下水道の未整備地区であり、排水は主に吸収ピット（AP:Absorption pit）やPL（Pit latrine）を通して海岸へ流入している。

表 7.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions |
|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.05-0.12(#) (Ave. 0.08) |
| | Turbidity (NTU) | 0.16-0.43(#) (Ave. 0.30) |
| | $NO_3$-N (mg/L) | <0.02 |
| | $PO_4$-P (mg/L) | <0.005 |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Beau Vallon VCA:<br>SS: NIL, AP:1461,<br>ST: 36 , PL: 113 |
| | Present condition of sewerage | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants. |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Restaurant uses septic tanks. | | | |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | NIL | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | None | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | Yes.<br>Area: 478 Ha | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

#: 水質調査は、海岸からリーフエッジまで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団

## 7.3 想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因

### 7.3.1 漂砂特性

上記の現状把握より、当海岸の漂砂特性を以下にまとめる。

- 南側に存在するリーフギャップ付近から北側にかけては、全体として北向きの沿岸漂砂が卓越していることは、長期汀線変化や現地踏査、自然条件特性より明らかである。しかし、リーフ幅が広いため、海岸付近の砂移動は当海岸の季節風によっても大きく影響を受け、夏季と冬季の季節的な変動がある。冬季には SSE～SE からの強い季節風により北向き漂砂が促進される。一方、夏季は風が弱まるとともに風向きも SE から NE 方向に広く分布し、これにより南向きに移動する場合もある。このような季節変動を繰り返しながら徐々に北側に移動していると考えられる。
- 一方著しい海岸変化は、夏季に襲来するサイクロンによって生じる。住民からのヒアリング結果より、当海岸に大きなインパクトを与えたサイクロンとしては、1960 年の Carol、1994 年の Hollanda、2002 年の Dina が特に挙げられる。当海岸ではこれ以前に既に設置された突堤や護岸もあるが、その後もこのようなサイクロンによる急激な汀線後退をきっかけとして作られたものが多い。
- 南側のリーフギャップ付近から南側の公共海浜公園では、Blue Bay 湾内に向かう北から南への漂砂となっていると考えられる。

### 7.3.2 当海岸の問題とその要因

当海岸では、過去に襲来したいくつかの大型サイクロン襲来時での急激な汀線後退、その後の借地者個別の護岸や突堤の建設による防護対策、季節変動に伴う海岸変化、それによる一部エリアでの侵食、堆積変化が現在も続いている。一方で、サイクロンの襲来や季節変動は、侵食問題が生ずる前から存在していた現象である。これらを踏まえ、当海岸の侵食要因を以下にまとめる。

**a.　リーフおよび北側堆積域で実施されてきた砂採取による砂供給量の低下**

モ国では1700年代から各海岸のリーフ上からの砂採取が行われてきたが、当海岸で大量に砂採取が実施された時期は1970年代から1990年代初め頃までと考えられる（Mauritius Sand Dredging Study, 1993）。この時期には想定50万トン/年（約25万$m^3$/年）程度の砂が、主に東部の4エリア（Pointe d'Esny, Grand Rivière Sud Est, Grand Gaube, Poudre d'Or）から採取され、当海岸のリーフ北側エリアはその主要な砂採取エリアの１つであった。また住民ヒアリング調査結果から、海岸域や以前存在していたその背後の砂丘からも土砂の取得が実施されていたとのことである。ただし、当海岸から総量としてどの程度の砂が採取されたかについては明らかとなっていない。一方、当海岸の年間の沿岸漂砂量は1000$m^3$程度のオーダーであるため、仮にリーフ上で数万～数十万$m^3$程度の砂採取が行われていたとすると、リーフからの砂の供給バランスや外力変化に影響を及ぼす可能性がある。なお、このリーフ上からの砂採取は2001年に禁止され、それ以降は行われていない。このことが、最近の土砂収支の堆積傾向にも関係している可能性がある。

**b.　大型サイクロン襲来時の急激な変化と砂浜の回復力の低下**

これまで当海岸での急激な海岸侵食は、大型サイクロン襲来時に生じてきたことが住民からのヒアリング結果からも得られている。特に1960年のサイクロンCarolは、海岸線を一気に10mオーダー規模で後退させたとの情報である。1945年以降のサイクロンの頻度および規模の履歴より、特に1990年代に大型サイクロン襲来の頻度が高くなっている。このような大型サイクロン襲来時の高波により、一気に侵食が生じると考えられる。また、各借地者が防護対策として実施してきた突堤や護岸構築は、個別の防護対策としては有効であった反面、連続する沿岸漂砂のバランスの崩れや、砂の岸沖移動による自然の砂の回復力を低下させている可能性がある。

**c.　リーフ上のサンゴ・海草藻場環境の変化**

当海岸のリーフ上では上記の砂採取とともに、1980年代まではダイナマイト漁が行われていた。これらがリーフ上のサンゴ環境の悪化をもたらし、サンゴの消波機能の低下、供給量の減少を招いた可能性がある。ただしこれらが禁止されて以降、現在はリーフ上のサンゴ環境は回復基調にある。特に近年その回復傾向が顕著である。

**d.　海岸変動域である前浜域での海岸施設構築**

既設の護岸の多くは、変動域である前浜部に設置されたものが多く見られ、これによる洗掘の助長、それに伴う前浜部の消失を招いているケースが見られる。

## 7.4　海岸保全対策の検討

### 7.4.1　概要

当海岸は、全体の土砂収支はプラスであり回復傾向が見られることから、海岸全体として深刻な海岸侵食状況ではない。一方で、Zone-2およびZone-3の南側では、現在も徐々に汀線の後退が生じており、住民からも緊急対策の必要性が強く求められている。一方でZone-3北側では40年間で4万5千$m^3$程度の顕著な堆積が生じている。これより当海岸の海岸保全計画として、以下の３つのステージとして扱う必要がある。

- 緊急対策：　侵食エリア（Zone-2 および Zone-3 南側）で現在も侵食が進行しつつある借地エリアでの借地者による緊急的な防護対策
- 短期対策：　現在生じている漂砂バランスの不均衡を改善し、海岸全体での漂砂バランスを維持しつつ砂浜の維持・安定化を図るための海岸全体での保全対策

- 長期対策：　現在の良好なリーフ環境を維持し、安定した砂の供給を図るため、さらに将来的な気候変動の影響を含めた空間計画の見直しおよびリーフ環境保全対策

当海岸は全体としては堆積傾向が見られるものの、これまで個別に実施されてきた突堤や護岸による防護対策による漂砂バランスの崩れによる海岸状況の不均衡（侵食域と堆積域の存在）、公共領域（Public Access、HWLとLWL間）の消失、これら構造物による海岸利用・アクセスへの支障、景観悪化、等の問題がある。これらの問題の解決を図っていくため、現在の海岸利用状況を踏まえた上で、以前存在していた砂浜をできるだけ復元・維持することを目指すものとする。しかしその実現化に向けては、各借地エリアに着目した従来の海岸防護対策では解決できず、連続する一連の漂砂セルを踏まえた海岸全体としての包括的な保全対策が不可欠である。このような視点で短期対策として示す。当海岸は、実証事業の非物理的対策海岸として、住民意見を踏まえた実現可能性の高い海岸保全計画の策定が求められている。実現化の対象とするのはこの短期対策である（詳細はVol.1　第8章参照）。

### 7.4.2　対策の基本方針

緊急対策について

Zone-2およびZone-3 南側では現在も海岸侵食が進行しつつあり、家屋や土地を守るための緊急的な防護対策が求められている。これらの防護対策は、当海岸が借地エリアであることから各借地者が個別に対処している。特に侵食エリアにおける防護対策は、借地人自ら、あるいはコンサルタントに依頼し、それぞれの防護対策を計画・実施している。防護対策としては、護岸の強固または護岸前面の蛇籠、サンドバック、捨石等の投入、突堤の追加・改良、などである。本検討ではこれら個別の対策については扱わないが、今後海岸全体としての保全対策を図っていく上で、借地者により実施される緊急対策は、以下の点に留意する必要がある。

- 借地人が個別に実施する対策が、周辺海浜への侵食を助長することがあってはならない。当海岸は長期的には北向き沿岸漂砂となっているが、季節変動に伴う地形変化も見られる。これらの両面の影響を考えた対策とする必要がある。基本的には漂砂全体のバランスを考えない個別の突堤の新設・補砂機能強化のための改良は避けるべきである。また護岸の改良や捨石等の投入を行う場合、現在の法線より前に出すことにより、周辺海浜への影響が生じる可能性が高いので適切な位置や幅を設定することが重要である。また海岸利用面や景観に十分配慮し、少なくとも現在の状況より悪化させることがないようにする必要がある。
- 今後の海岸全体としての改善を図っていく保全対策の実現化（短期対策）を踏まえた場合、保全対策効果の観点、および借地人による再度の撤去等の二度手間によるコスト増の観点の両面において、個別に実施する緊急対策が、今後実施する保全対策の方向性と相反しない対策であることが求められる。

短期対策

海岸保全対策の目的は下記のとおりである。

- 現在も進行しつつある侵食域での借地エリアに対する資産防護に資すること
- 海岸を利用する借地者および観光客に対し、望ましい海岸利用、良好な海岸アクセスを提供するとともに、公共領域（public domain）の確保、自然景観維持を図ること

- 現在モ国で良好なサンゴ環境が維持されている数少ない海岸の１つとして、この良好なリーフ環境を維持・増進していくこと

上記の目的を踏まえた当海岸における海岸保全対策の基本方針を以下に掲げる。

- 現在生じている場所の個別的な海岸状況の不均衡（対策が求められる侵食域の存在と侵堆積の存在）を是正し、侵食域での砂浜の回復・維持を図る。
- それを可能とするために、これまで実施されてきた個別の借地エリアに着目した防護対策から、海岸全体での包括的な保全対策とする。ただし、既に長年の防護対策としての既設突堤等が存在し、これらを含めての海岸変形および土地利用がなされている中で、現在の海岸状況を大きく変えるようなことはしない。
- 一方で、望ましい海岸利用や自然景観の維持を図るために、人工的な施設は機能を満たす範囲で必要最小限とする。そのために、既存施設の見直し（一部改良や撤去含む）、また場合によっては新たな施設の追加もあり得る。
- 復元した砂浜の長期安定化を図るための維持管理の手間、費用の低減を図る対策案とする。

<u>長期対策</u>

- 現在のサンゴ環境を維持していくための富栄養化対策（特に Blue Bay 側）、およびリーフ上の利用規制の強化。
- 中長期的な砂浜維持管理の低減および将来的な気候変動に伴う水位上昇による居住エリアへの浸水リスクの低減を図るために、次期の借地契約更新時のセットバックを推奨する。

### 7.4.3 短期対策

#### a. 考えられる対策案

考えられる対策として、以下に示す方法が考えられる。

① 養浜（サンドリサイクル含む）
② 突堤等の海岸施設の再編成（一部撤去、改良を含む）
③ セットバック
④ これらの組み合わせ

① 養浜（サンドリサイクル含む）

基本的に、現在の侵食エリアにおける砂浜回復を図る上で、リーフからの砂供給量の増加のみに期待することは、これまでの当海岸の海岸線の履歴を見る限り、現実的ではない。また既に既存突堤により北向き沿岸漂砂が所々で不連続となっている中で、上手側からの砂の供給も期待できない。これより、侵食域における砂浜の回復には養浜の実施が不可欠である。一方北向き沿岸漂砂が存在する中で、養浜した砂を如何に保持していくかが課題となる。

当海岸では、北向き沿岸漂砂で運ばれた砂は、北端のG1突堤によりその大部分がトラップされている。また当海岸全体の土砂収支は堆積傾向にある。これより、この北側エリアの堆積砂を侵食域への養浜砂として有効利用することが考えられる。

② 突堤等の海岸施設の再編成（一部撤去、改良を含む）

既に既存突堤等による地形変化の履歴を受けた上での背後地での土地利用がなされている現状において、現存する突堤を撤去することによる顕著な地形変化を生じさせることは好ましくない。すなわち、構造物が全く存在しないで漂砂バランスが維持されていた以前の自然海浜の状態に戻すことは現実的ではない。一方、海岸全体の漂砂バランスを踏まえた保全対策を立案するに当たり、不必要と考えられる既存突堤や逆に漂砂制御機能を高めるための改良が必要な突堤も出てくる可能性がある。このような突堤の再編成により、砂の保持効果を高めることは、養浜後の砂の移動の低減、それによる維持管理の低減を図る上で必要と考えられる。

③ セットバック

借地エリア設定の責任機関であるMHLおよび当海岸の地域住民と、現在の借地契約の現状を踏まえたセットバックの可能性について協議を行った。詳細については第8章に記述するが、2008年に借地契約の見直しが行われ、60年間の契約期間がある中で、セットバック実施の可能性のあるタイミングとしては、借地契約終了時（2068年）または建物の撤去・新設を行う時に限られる。これより、具体的海岸保全対策の１つとして、建物に対するセットバックを借地人に強制することは、現実的には困難である。

一方既設護岸の改良が望まれる地点において、護岸と建物間に空間的余裕がある場合、護岸の法線位置を周囲の海岸に合わせて陸側に移動することを借地者に依頼することは、その十分なメリットを示すことができれば可能性として考えられる、

④ これらの組み合わせ

当海岸のそれぞれのエリアで、海岸状況や対策に求められる目的や機能も異なる。これより、上記に示した個々の対策で比較する訳ではなく、状況に応じてこれらの手法を組み合わせた海岸保全対策を提案する。対策の基本的考えを以下に示す。

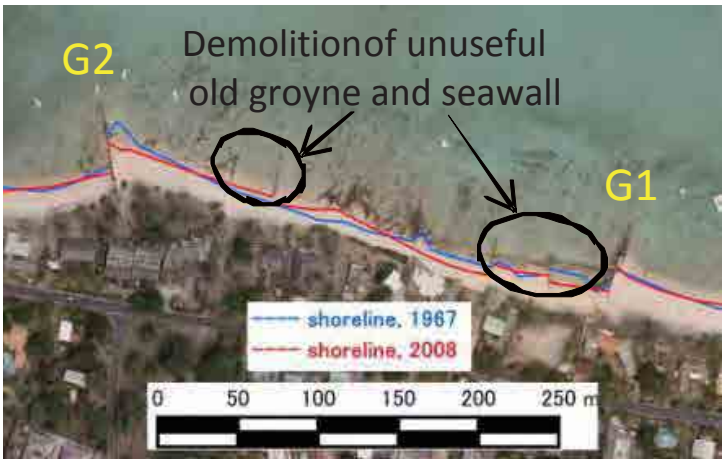
- 当海岸の海岸地形や海岸状況を踏まえ、漂砂機構に影響を及ぼしていると考えられる 4 本の既存突堤を境界とする以下の 3 つのゾーンに分け、それぞれのゾーンでの安定化を図るものとする（図 7.2.4 参照）。
- 全体漂砂系に大きな影響を及ぼしていないと考えられる既設突堤については、可能な範囲での低減化（一部撤去）を図る。
- 前浜が既に消失し、防護面や海岸アクセスに支障を来しているエリアにおいては、養浜による砂浜の回復を図る。
- 持続的な砂浜維持のため、養浜後の砂の安定化を図るためのキー突堤の改良、新規突堤の追加を含めた突堤群の再編成を行う。
- 既設護岸が自然の砂浜の回復に支障を来していると考えられるものについては、護岸の改良、法線変更等を合わせて行う。
- 養浜を基本とする対策であるため、定期的な維持管理が不可欠である。これより、維持管理の容易さ、コスト縮減を図る上で、当海岸で利用できる砂を用いるものとする。

**b. 対策案（住民合意形成前のドラフト案）**

当海岸は非物理対策実施海岸として、提案する海岸保全対策（案）をベースに、政府関係機関や住民側との協議を踏まえて、実現可能な保全対策として最終化されるものである。以下に示す保全対策は、住民合意形成を図っていくためのベースとなる対策案である。

### b.1　ゾーン1

既存突堤G1およびG2に囲まれた約330m区間の南側エリアをゾーン1とする（図 7.4.1）。ゾーン1では1930年代に設置されたと言われているG2、および1950年代に設置されたと言われているG1により、北向き沿岸漂砂が遮断され、閉じられた漂砂セルを形成している。1967年～2012年の45年間での汀線変化量は小さく、現在安定している。これよりG1、G2をそのまま維持することにより、本ゾーンの安定状態を維持するものとする。一方この両突堤間にはその後設置されたと言われる数本の突堤、低護岸が存在する。突堤両側の汀線形状より、これらの突堤の漂砂制御上の必要性は認められない。また低護岸は、リーフからの岸への砂供給を妨げている可能性もある。これより、海岸利用上また自然景観の維持の観点より、これらの不必要な既存突堤および低護岸を撤去することを提案する。海岸線変化予測モデルを用いた数値検討により、撤去後の海岸線形状を推定したものが図 7.4.2である。数値検討からは撤去による悪影響は認められないが、撤去は北側の突堤より徐々に撤去し、様子を見ながら（モニタリングしながら）順次進めて行くことが望まれる。




出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

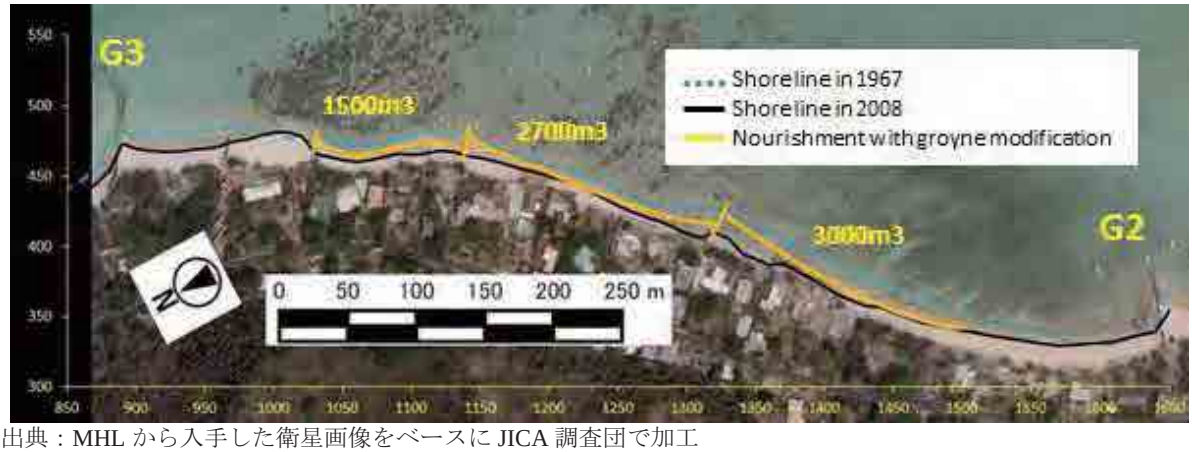
図 7.4.1 ゾーン1での海岸保全対策

出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 7.4.2 撤去後の予想される汀線形状

### b.2　ゾーン2

既存突堤G2およびG3に囲まれた約760m区間の中央エリアをゾーン2とする。ゾーン2は当海岸の最問題エリアであり、特にこの間の350m区間では既に前浜が消失しているとともに、現在も侵食が進行しつつある。これより当エリアの保全対策としては、養浜による砂浜の回復を図るとともに、北向き漂砂による養浜砂の移動・流出を低減するための漂砂セルを形成することを目的とした突堤の再配置（既存突堤の改良、撤去および必要な突堤の新設）を行うものとする。ゾーン2の保全対策のイメージを図 7.4.3に示す。

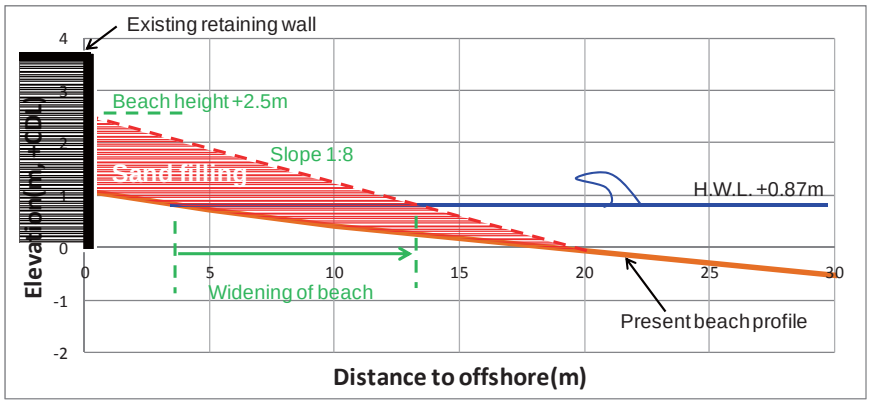



出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 7.4.3 ゾーン 2 での海岸保全対策

養浜について

養浜後の海岸線位置は、できるだけ1967年当時の海岸線を目標とするが、北向き沿岸漂砂が存在する中で、突堤下手側で浜幅が狭くなってしまうのは避けられない。本計画では、この下手側の最小幅の地点においても、5m程度の浜幅を確保できる程度の砂を投入するものとした。このような前提の場合、想定する初期養浜量としては、約7,500m$^3$である。養浜後浜高は、基本的には現在の後浜高と同程度（MSL+2.5m程度）とする。前浜勾配は、用いる養浜砂の粒径により変わり、一般的には粒径が粗くなるほど急になる。ここでは北側の堆積砂（D50=0.3mm程度）を用いるものとし、1:8程度とする。養浜断面のイメージを図 7.4.4に示す。養浜砂の確保については後述する。



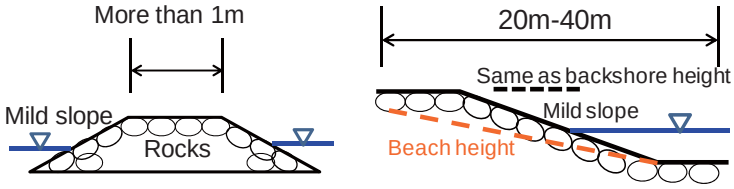

出典：JICA 調査団

図 7.4.4 養浜断面のイメージ

突堤配置および諸元について

突堤の配置は、養浜後の想定される安定汀線形状を踏まえ、十分な補砂機能を有するとともに、海岸利用への支障や景観上の圧迫感を生じさせないよう、適切な間隔、長さ、必要天端高、形状、構造形式を決定する必要がある。

ゾーン2の海岸形状や現状の侵食状況、既存の突堤位置、借地エリアの境界等を考慮し、養浜後の砂の安定を図るために、3本の既設突堤を改良し、各突堤間の砂の捕捉効果を高めることとする。最終的な位置、および各突堤の長さについては詳細設計にて更に検討が必要であるが、大凡20～40m程度とする。天端高は、高くするほど砂の捕捉効果は高まる反面、海岸利用への支障や景観上の圧迫感を招くため、この相反する要求の中で適切に設定する必要がある。堤幹部では現況の後浜高と同程度とするが、先端に行くに従って天端高を下げることも可能である。既設突堤の改良のイメージを図 7.4.5に示す。




出典：JICA 調査団

図 7.4.5 突堤断面のイメージ

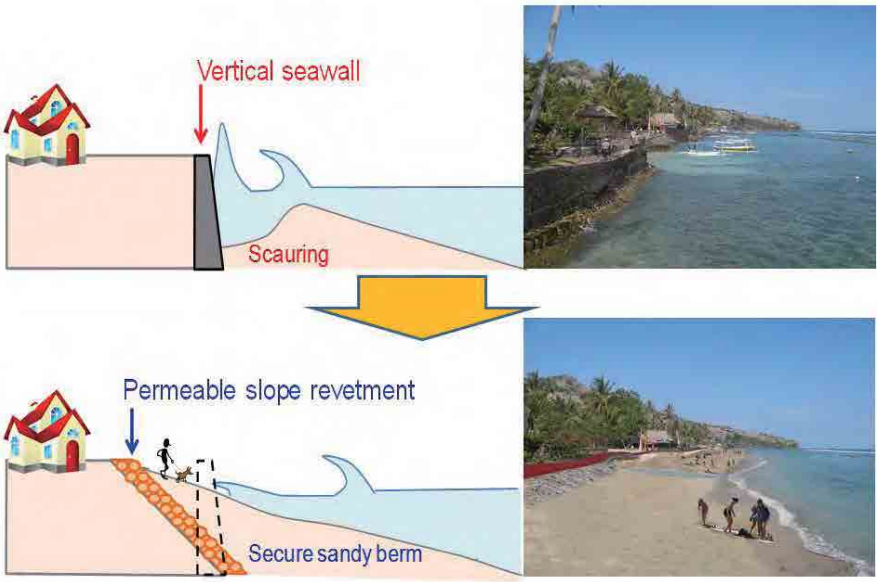
現況の突堤は、図 7.4.6に示すようなコンクリート直立堤が多く、堤幹部での局所侵食や海岸アクセスに支障を来している。反射波等による局所的な侵食を緩和するとともに海岸利用面を考え、用いる構造形式は透過型の捨石傾斜堤タイプとする。被覆石の大きさは想定される波浪に対して安定となる重量をもつ大きさとして、200～400kg/個程度とする。

既設護岸の改良について

既設の護岸についても、その多くは図 7.4.7上図に示すような不透過のコンクリート直立堤であり、前面での浜の消失を加速している。侵食エリアにおいて、護岸と建物間に空間的余裕がある場合、図 7.4.7下図に示すように、護岸法線の位置をできるだけ岸側に移動するとともに、直立不透過堤から突堤と同様、透過傾斜堤タイプに変更することを推奨する。これにより、前面反射波の影響による洗掘が緩和され、砂の岸沖方向移動による砂浜の改善が期待できる。また護岸法線位置を岸側に移動することにより、同じ汀線位置まで養浜した場合に、より浜幅を確保することができ、養浜断面の安定化に繋がる。

出典：JICA 調査団

図 7.4.6 海岸で多く見られるコンクリート直立型の突堤および護岸




出典：JICA 調査団

図 7.4.7 護岸の改良イメージ

### b.3 ゾーン3

既存のG3突堤および北端のG4突堤に囲まれた約1km間のゾーン3では、G4突堤南側では北向き沿岸漂砂の阻止による顕著な堆積域が見られる。その一方で、G3突堤北側の約340m間において汀線後退が続いており、借地者により、護岸構築や砂袋、捨石投入による防護対策が実施されている。ここでの侵食は、明らかにG3突堤による北向き沿岸漂砂遮断によるものであるが、問題箇所であるゾーン2の安定化を図る上で、G3突堤は維持するものとする。その前提条件を踏まえた上で、当地点での対策としては、大きく以下の2つの方法が考えられる、

＜方法1＞：養浜＋突堤の追加により、この1km間をいくつかの漂砂セルに分割し、その漂砂セルの中で安定化を図る方法（ゾーン2と同様の考え）

＜方法2＞：現在この間には突堤が存在せず、侵食エリアが存在する一方で、自然の海浜が維持されている。この海岸景観をできるだけ維持するために、定期的に養浜を行う。併せて、養浜砂の流出量を低減させるため補足的対策を段階的に実施する(詳細は後述)。

ゾーン3における沿岸漂砂量は、前述の土砂収支検討より約1,100m$^3$/年と推定された。すなわち、平均的にはこの量に相当する砂をG3突堤の北側に常に投入すれば、基本的に砂浜は維持されると考えられる。モ国における海岸保全の基本施策として、できるだけ自然に優しい保全対策を図ることが求められるため、＜方法2＞を推奨する。

**Step-1：養浜**

＜方法2＞の場合、定期的な砂投入が必要になる。平均的には1,100m$^3$/年に相当する砂を投入すればよいが、実際はサイクロンの襲来等により、それぞれの年によって海岸状況は変動する。投入するタイミングや頻度については効率性や経済性を考え、海岸モニタリング結果を踏まえて実施していくことが望まれるが、大凡3年に1回程度のイメージである。

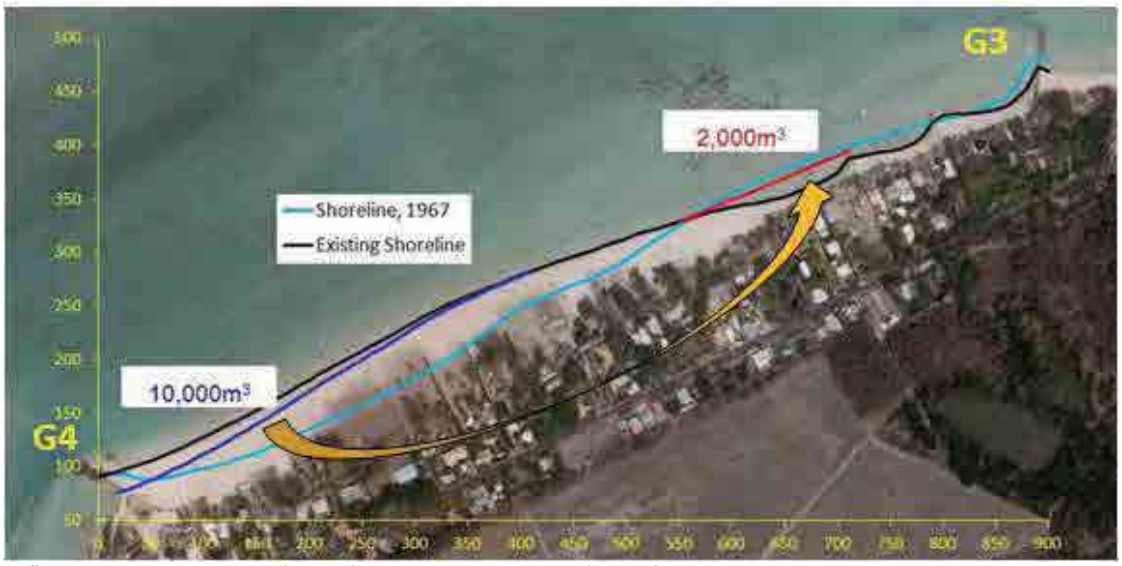
養浜投入箇所については、現在G3突堤の北側約200m区間にわたり、現在４本の小突堤が設置されている（図 7.4.8）。これを残す場合、この最後の突堤の北側に投入するものとするが、定期的な砂投入を行う場合、これら小突堤を撤去し、G3突堤北側に投入し、徐々に北側に自然に移動させる案も考えられる。これについては住民意見を踏まえて決定する必要がある。

出典： JICA 調査団

図 7.4.8 G3 突堤北側の 4 本の小突堤

養浜砂は、維持管理の持続性やコストの観点から、適切な取得場所の選定および運搬方法を用いることが求められる。当海岸にはG4突堤による北向き沿岸漂砂の阻止により、40年間で約45,000m$^3$の砂が堆積している。この堆積砂を、ゾーン3およびゾーン2の養浜に用いることを提案する。ゾーン２およびゾーン３で必要な養浜量は合わせて約10,000m$^3$である。図 7.4.9に10,000m$^3$取得後の養浜形状およびゾーン３での養浜位置を示す。10,000m$^3$の砂取得後の汀線位置は、1967年の汀線位置に比べて遙かに沖側に位置し、現在の借地エリアへの影響はない。また当地点は年間約1,000m$^3$程度のリーフからの砂の供給が期待される。この砂浜の回復状況をモニタリングしながら、その後の維持管理に用いる砂も十分確保できる可能性が高い。

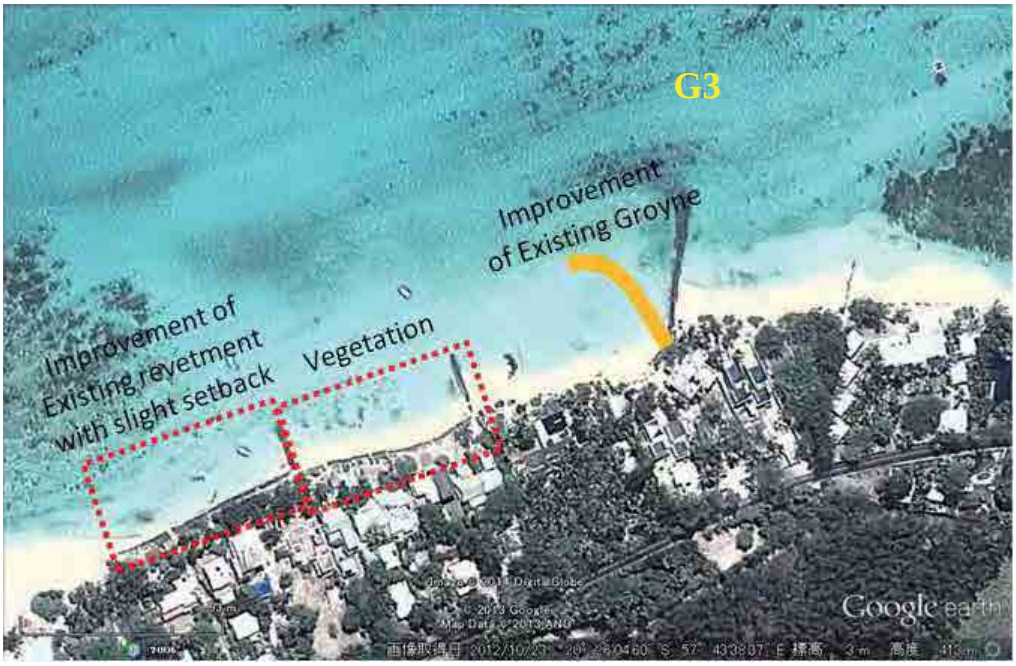
ただし、このような海岸堆積域からの砂取得については、法律的に可能であってもその現実化には住民合意形成が不可欠である。これについては、実証事業の検討の中で引き続きその可能性について検討していく。




出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 7.4.9 ゾーン 3 での海岸保全対策（案）

**Step-2：G3突堤の改良＋既設護岸のセットバックおよび植生の配置（図 7.4.10）**




出典：Google Map をベースに JICA 調査団で加工

図 7.4.10 Step-2 の対策の概要(突堤改良、既設護岸のセットバック、植生)

G3突堤の北側に投入する養浜砂の歩留まりを向上するため、G3突堤の改良をおこなう。突堤の改良イメージを図 7.4.11に示す。これは既存の直線型の突堤を曲線型に改良する事で、沿岸漂砂の下手側(突堤の北側)において波の遮蔽域を造成し、当該エリアの侵食を抑制するものである。

出典：左)JICA 調査団、右) Google Map

図 7.4.11 突堤改良のイメージ(バリ島 サヌール海岸での事例)

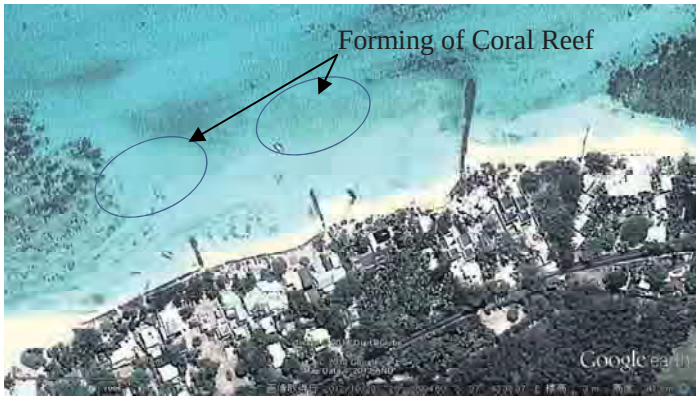
また、汀線の連続性の確保および反射波の抑制を図るため、既設護岸（下図）のセットバックおよび侵食を抑制するため養浜後の天端面に植生の配置を計画する。ただし、既設護岸のセットバックについてはその実現性について住民協議により確認する必要がある。

出典：JICA 調査団

図 7.4.12 侵食域における既設護岸

**Step-3：サンゴまたは海草場の復元・創生**

侵食域前面の波浪および流れを抑制し砂の流出を軽減するため、サンゴまたは海草藻場の復元・創生を計画する。ただし、本手法については、まず現地で小規模なサンゴ礁帯の造成実験をおこないその有効性を確認したうえで、本格的な実施に移す必要がある。




出典：Google Map をベースに JICA 調査団で加工

図 7.4.13 Step-3 の対策の概要(サンゴ礁帯の造成)

### c. 住民合意形成プロセスについて

モ国では、これまで海岸保全事業の計画段階から住民合意形成を図りながら進めてきた事例は極めて少なく、今回のような海岸全体の視点での保全計画を住民の意見を踏まえながら進めた事例はない。このプロセスを踏みながら実施レベルの計画案に修正していくことが、非物理対策としての着地点である。

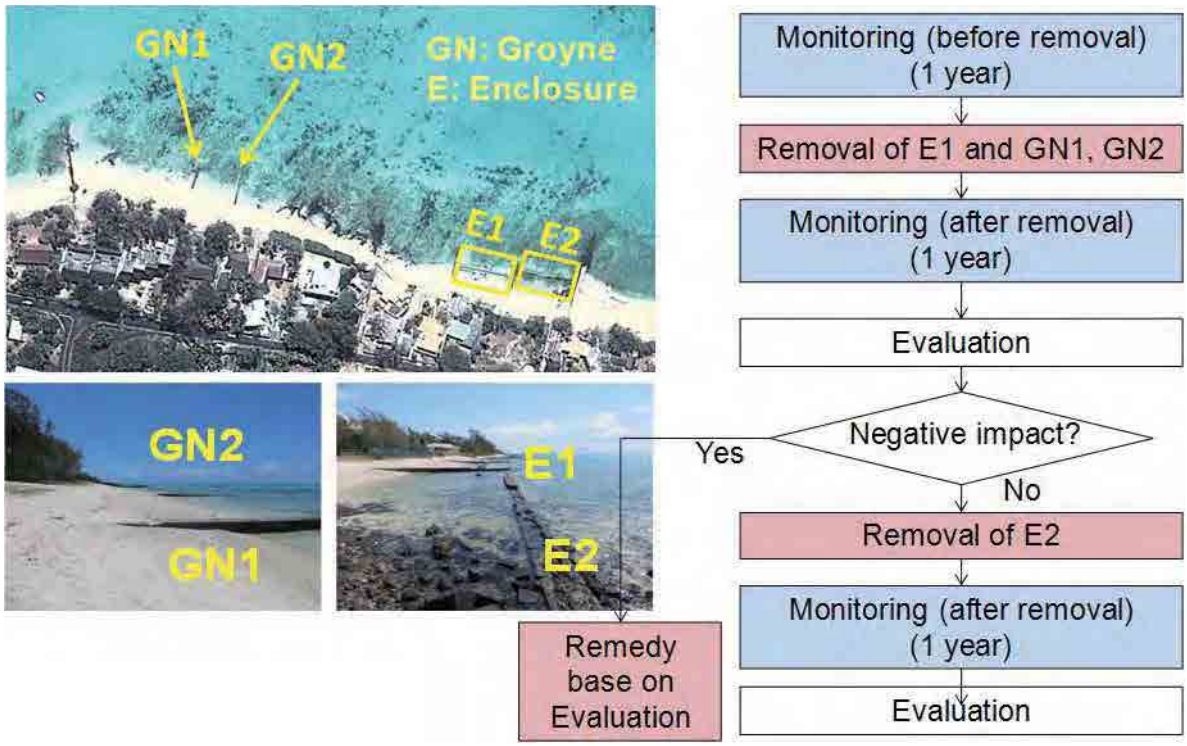
本事業で当海岸にて実施した住民合意形成のための協議としては、全体協議を4回、現場での個別会議を5回実施した。その詳細については第8章に記述する。

### d. 対策案（住民合意形成後の最終提案）

上記の数回にわたる住民との協議の結果、住民意見を踏まえた最終計画をゾーン毎に以下に示す。

#### d.1 ゾーン1の最終計画

ゾーン1で構造物を全て撤去した場合の汀線変化予測を、海岸線変化予測モデルを用いた数値検討により検討した結果、撤去後も顕著な変化は予測されない。しかし、自然条件の変化の不可実性を踏まえ、構造物を一挙に撤去するのではなく、モニタリングでその影響を確認しながら段階的に撤去する方法に計画を修正した。最終計画の概要を下図に示す。

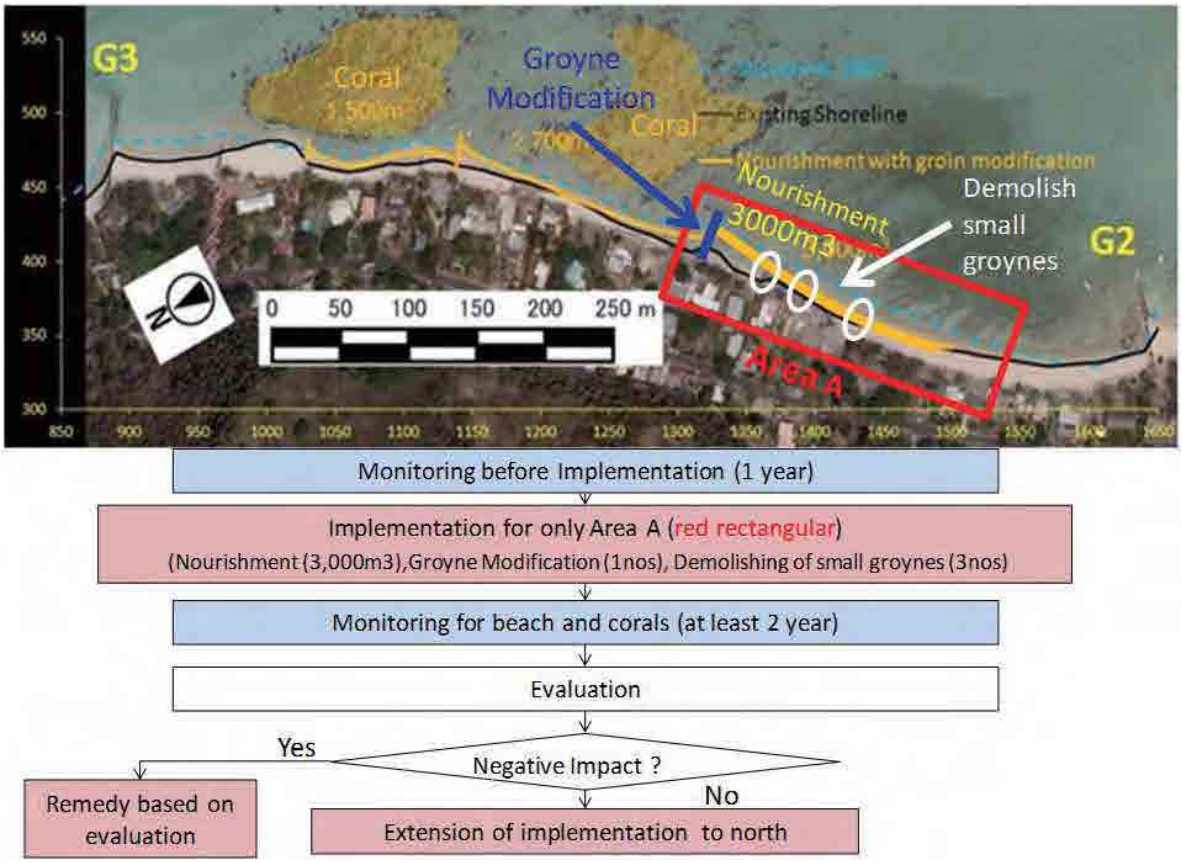



出典：航空写真)Google Map を JICA 調査団で加工、その他)JICA 調査団

図 7.4.14 ゾーン 1 の最終計画

### d.2　ゾーン2の最終計画

サンゴ礁の保全を考慮し、対策はまず図中赤枠のエリアから段階的に実施していくものとする。当該域で対策を実施後、周辺環境への影響についてモニタリングを実施し、影響が無いと判断された場合は北側へ対策域を拡大し、併せてモニタリングによる確認を実施していく。住民の意見より家屋壁のセットバックは背後にスペースが無く、現実的でないと判断される事からこれを除外する。養浜幅は最も狭い個所でも2～3m以上を確保するようにする。




出典：JICA 調査団

図 7.4.15 ゾーン 2 の最終計画

### d.3　ゾーン3の最終計画(Step-1のみ当初計画から変更)

Step-1の養浜計画について、住民からの意見も踏まえ、以下の2つの代案とする。

案1：G4突堤南側の堆積砂を用いたサンドリサイクル

案2：堆積域に住む借地者の堆積砂取得に対する強い異論を踏まえ、別の砂取得候補地を探し、そこからの砂の調達（一例として図7.4.16）

現在のモ国での閣議令（CAB（2001）12th Meeting-No.574）で砂のラグーンからの採取は禁止されている。そのため、残された案と

出典: Google Map を JICA 調査団で加工

図 7.4.16 砂取得候補地の一例

しては、陸上の採石場からの砂(サンゴ砂)の採取のみとなる。ただし、サンゴ砂は貴重資源でありその価格も高価になる。養浜には定期的な実施(メンテナンス)が必要である事を考慮すると、採石場からの砂の調達は持続性の観点で現実的でないと判断される。

一方、ラグーン内の堆積砂（Pte. d'Esny北部やGrand Sable沖）や航路の浚渫砂（Ile aux Cerfs）あるいはラグーン沖の砂など、モ国には余剰砂のポテンシャルは高いと考えられる（概略検討を海岸保全事業のガイドライン、Vol.2に示す）。今後、技術面・制度面での検討を行い、これら余剰砂の調達の可能性について検討していくことが望まれる。

なお、Step-2およびStep-3については当初計画と同様であるため、当初計画を参照のこと。

### 7.4.4 長期対策

#### a. 白化に対するモニタリングの実施と良好なサンゴ環境維持のための保全・保護

現在のモーリシャスで、1996年以降サンゴの生息域が拡大している数少ない礁湖で、生きたサンゴの被度も最も高い海域である。南からの波浪で礁湖内に外洋水が流入し、礁湖内の水質環境も良好である。サンゴの白化現象は高水温とともに紫外線が重要な働きをしているとみられることから、透視度の良い海域は逆に白化現象が起こりやすい海域でもあるため、サンゴのみでなく水温や透視度についてもモニタリングを継続する必要がある。この海域はサンゴの被度も高いことから、東海岸の礁湖へのサンゴ幼生の主要な供給源と考えられ、サンゴ群集全体の保全と保護を図る必要がある。礁湖中央部の水深は2～3mで、生きたサンゴの被度は低い。しかしながら岸礁、背礁ではサンゴの被度は高く、これらの海域ではボート等からの被害をなくすために、自主規制保護水面（VMCA）としてサンゴの保護をする必要があろう。

#### b. 富栄養化改善対策

当海岸での定期的かつ継続的な水質モニタリングは実施されておらず、サンゴ環境に及ぼす富栄養化の状況が把握できていない。近年特にBlue Bay側での水質悪化が指摘されており、分析精度の高い継続した水質モニタリング調査を実施する必要がある。水質悪化の要因として、背後域での宅地開発に伴う生活排水の流出や農地開発に伴う化学肥料等による栄養塩の流出が指摘されている。これより、海岸背後の下水道整備や効率の高い浄化システムへの転換を、長期対策として推進していく必要がある。

#### c. 次期借地契約更新時におけるセットバックの推奨および土地利用計画の見直し

海岸侵食による汀線後退や、各借地者による海岸線の護岸の築造により、HWMから30mのセットバックゾーンが満たされていない箇所がある。特にゾーン2では護岸位置のほとんどはこれを満たしていない。住民協議からも、大多数の住民は既存の借地契約がある中でのセットバックに同意することはほとんどあり得ない。現在の制度において、唯一可能性が考えられるのが、次回の借地権の更新時期である2068年である。この時期でのセットバックの推奨、およびその間における気候変動による波や水位上昇の影響を踏まえての、海岸エリアの土地利用計画を見直す必要性も可能性として考えられる。

## 7.5 海岸維持管理計画

### 7.5.1 現在の海岸管理の課題に対する改善案

当海岸の現状を踏まえて、海岸維持管理面、土地利用管理面および海岸利用管理面における個別の課題および改善案については、Volume1の5章の海岸維持管理計画の中で記載している。また、殆どの対象海岸に共通する制度や実施体制に関するソフト的な課題

と改善案についてもVolume1の5章に記している。ここでは、現在の海岸管理の課題に対する改善案を以下に示す。

**a.　海岸砂草の植栽除去に関する課題**

- リーフレットなどを用いた海岸砂草の重要性に関する情報の借地者への提供と保全に関する意識の高揚
- 海岸砂草の保護や保全の責任に関する借地契約への明記

**b.　既存海岸施設に関する課題**

- 直立護岸の形状から透過式傾斜護岸（植栽）等への改修
- 既存施設の効果の検証結果に基づく、突堤の撤去または改修

**c.　動的海岸域（セットバックエリア）での施設/構造物の新設に関する課題**

- 動的海岸域内での不適切な施設建設を管理するためにMHLおよび郡政府による管理組織の設立
- 動的海岸域内での不適切な施設・構造物に関する定期的なモニタリング

**d.　海岸上の植栽に関する課題**

- 海岸植栽に関する適切な配置および構成
- 樹種の適切な選定（可能な限り在来種の選定）

**e.　養浜工における維持管理面に関する課題**

- 適切な前浜勾配および後浜高の設定
- 適切な砂の粒径の設定（既存の海岸の砂と同等または大きい粒径）
- 適切な頻度による縦断測量モニタリングおよび解析の実施

**f.　浜崖形成に関する課題**

- 関係機関連携によるモニタリング体制の強化
- 海岸域での植栽に関する適切な管理

### 7.5.2　海岸保全計画に基づく海岸管理計画

ここでは、上記の海岸保全対策に対する管理運営面で考慮すべき事項を示す。当海岸の海岸保全計画では、養浜（サンドリサイクルも含む）＋突堤等の海岸施設の再編成による砂浜の安定化を行うことが提案された。

サンドリサイクルは原案においては北側堆積域からの砂の再利用を提案した。しかし、堆積エリアの一部の住民は、汀線が前進した位置まで借地エリアを拡大し、周辺住民も同様の手続きを進めている。借地境界を評価する住宅土地省によると、堆積域での借地エリアの海側への拡張は原則行わないとのことであったが、実際には既に許可されている（詳細は第8.4章参照）。今後関係機関間で、特に当海岸のような借地エリアに対する借地権と海岸変動域のバッファーゾーン確保（セットバック境界の明確化）との不整合性について、早急に解決し、共通した認識・理解の元での土地管理・運営を行っていく必要がある。

住民協議の結果、上記の借地権拡大の問題および現況の堆積エリアでの海岸利用を考え、原案の堆積域からの砂の再利用は当面行わないものとした。その場合、現時点では陸上の2箇所の採砂場からの購入砂を利用する以外に選択肢はなく、その場合、多大なコストがかかり、提案する保全対策そのものの妥当性も問われる。海岸維持に必要な白砂をいかに安価に調達するかが今後の海岸維持管理における最大の課題である。可能性としては、以下の3つが考えられる。

1) 堆積が問題となっている箇所での浚渫砂（例えばIle Cerfの水路浚渫や航路浚渫砂等）の問題海岸への利用

2) リーフ沖の海底砂の利用

3) ラグーン上の堆積砂の利用

1)については、例えば航路浚渫砂を利用することは、現在も一部で計画されている。浚渫砂を有効利用するためには、関連機関との連携、包括的視点での土砂管理を実施していく必要がある。

2)については、現在MOIを中心に、沖側のポテンシャルエリアの海底調査が開始された。今後、更なる詳細調査を行うとともに、それらの情報を共有する必要がある。また一般にリーフ沖側の海底砂の取得には、特殊浚渫船を用いた海上施工、それに伴うコスト増の可能性がある。これら実施計画についても合わせて検討していく必要がある。

3)については、過去に実施されてきた商用目的のためのラグーンからの砂採取が2000年以降法律で禁じられ、現在は一切行われていない。一方で、現在大量の砂がラグーン上に存在していることがある程度分かっている。現象把握としての、砂のポテンシャル調査、環境影響検討を行うとともに、可能性が見いだせる場合、今後法律の改正等も含め、モ国政府内で更なる議論が必要となる。

なお、土砂管理についての詳細はVolume 1の5.3項以降に記載する。

当海岸は借地エリアであり、基本的に海岸維持管理は各借地者が担ってきた。一方提案する対策は、漂砂の連続性を考慮した包括的視点での対策であり、これまで各個人個別に実施されてきた対策とは大きく異なる。これらの実施、費用負担をどうするかについて、今後官民双方で協議していく必要がある。

少なくとも護岸の改修については、個人の土地を防護する目的であるため、基本的には従来通り、借地者負担で実施されるべきである。ただし個別の取り組みによる改修計画では全体漂砂系への影響が大いに懸念される。現在は各個人が提案した対策計画をEIAにてMOESDDBMが評価し、実施の許可を判断するシステムとなっているが、その場合、海岸全体としての保全計画の視点が不十分となりかねない。政府主導による全体保全計画を策定し、その位置づけの中で、各借地人による提案を再評価するシステムが望ましい。策定される計画案を対象となる借地人に示し、その効果に対する理解を得た上で、改修に関わる費用負担、改修後の施設の維持管理に関する合意形成が必要になる。

突堤については、養浜後の海岸モニタリングをモ国政府主導で継続的に実施し、砂の歩留まり状況を継続的に把握していくことが求められる。その評価結果を踏まえ、必要に応じて順応的に追加策を検討していくことを提案する。

### 7.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）となる。

また、将来海面が上昇した場合に、海面上昇に伴う侵食が想定される。その機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量 ＋ 海面上昇により侵食量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9 mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

## 7.6 実施に向けた今後の課題

### 7.6.1 継続的モニタリングの重要性および住民との情報共有

本事業で現象把握のための測量や波浪調査等を実施し、当海岸の海浜過程についてのある堤程度の把握は進んだと考えられる。当海岸は季節変動による変化とともに、平均的には数年～10年単位程度で襲来する勢力の強いサイクロンの襲来が、海浜変化に大きな影響を及ぼす。本事業により海岸モニタリングが開始されたものの、まだ1年足らずのデータが蓄積されたに留まり、サイクロン襲来時の大規模な海浜変化についての詳細は明らかとなっていない。引き続きの継続的かつ長期的な海岸モニタリングを実施することにより、更なる現象の定量把握を促進するとともに、その情報を住民側と共有することにより、住民の海浜変化過程や海岸全体での取り組みの必要性に対する理解向上を更に進めていく必要がある。

### 7.6.2 詳細設計の必要性

本計画で示した計画案は、例えば安定した砂浜を維持するための最適な突堤配置、諸元、想定される安定海浜形状、等の詳細設計レベルまでには至っていない。今後、住民合意形成が図られた計画案に対して、収集されたモニタリングデータや画像データ等を検証データとして用いた詳細検討を行い、実施計画を策定する必要がある。

### 7.6.3 事業実施体制の確立

当海岸は借地エリアであるため、基本的には海岸管理は各借地者に委ねられる。一方当海岸のような、連続した漂砂海岸における保全対策は、これまで実施されてきた個人の防護を目的とした個別対策は、更なる海岸の悪化を招く危険性が高く、海岸全体を考えた視点での対策が強く求められる。一方、その場合には想定される工事費もこれまで各借地者が個々に対応していたものに比べて高くなる。誰が実施するかについては、官民連携での海岸管理の可能性含めて今後更なる協議が必要である。

### 7.6.4 養浜砂の確保

前述のように、当海岸で提案する初期養浜およびその後の維持管理に用いる砂の確保が最大の課題である。少なくとも現在の陸上の採砂場から購入する考えは、持続的な砂浜維持を考えた場合に現実的ではない。7.5で示した砂取得のポテンシャルエリアに対する調査、協議を開始し、容易かつ安価に砂を得る方策を検討することが早急に求められる。

# Chapter 8

*Bel Ombre*

# 8 Bel Ombre

## 8.1 概要

モーリシャス本島の南に位置し、南東から南の貿易風による波および南西の長周期波を受ける条件にある。前面に広いリーフを有し、リーフ上で流れが非常に早く、水路を通した沖への漂砂流失の可能性がある。海浜は一部のホテルエリアを除き、まだ利用は盛んではなく、背後は海岸林となっている。

## 8.2 現況把握

### 8.2.1 海象特性

海浜はモーリシャス本島の南に位置し、南からの波を受ける。大潮時の潮位範囲はBlue Bay 等での観測から0.86mと推定される。なお、ラグーン内の水位は、潮位に加え高潮と波によるセットアップを考慮しなければならない。

### 8.2.2 海岸状況

海岸は溶岩台地の前面に、幅500mのサンゴ礁が形成されている。サンゴ礁には所々に水道が存在する。また、西側では河川が流入し、淡水の流出があり、その前面の広い水道につながっている。（図 8.2.1を参照）

海浜はサンゴ砂からなり、凸型であるが、サンゴ礁内の水道、サンゴ、海草藻場の存在により必ずしも滑らかな形状とはなっていない。

出典：Google Earth を基に JICA 調査団で加工

図 8.2.1 Bel Ombre の検討範囲と写真位置

全体としては砂浜であるが一部構造物が存在する。すなわち、東側の海岸ではホテルが位置し、図 8.2.2の写真Aに示すように、護岸が設けられている。また、その前面には写真Bに示すような、玉石による斜めの突堤が3か所ほど造られている。これは、海浜流、特に沿岸流の制御を意図したものと考えられる。一部では、汀線付近にレストランが張り出している。また、西の端では昔の砂糖の積出基地としての倉庫、桟橋などの施設が残されている。

写真 A:ホテル前の護岸

写真 B:玉石による斜め突堤

写真 C:汀線際のレストラン

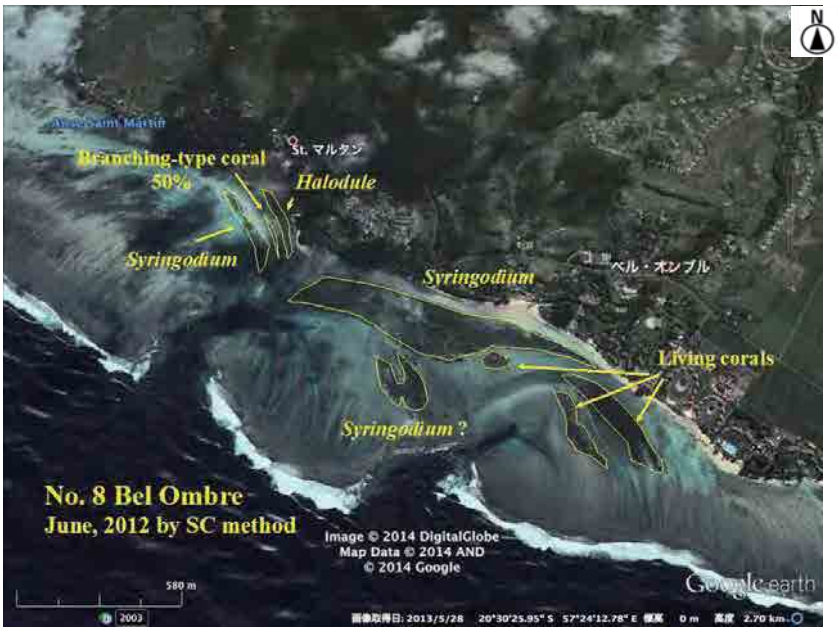
写真 D:砂糖の積出施設周辺の法崩壊

出典：JICA 調査団

図 8.2.2 Bel Ombre の海岸状況

### 8.2.3 リーフ環境

現地調査によると、サンゴの被度はゼロで、主に*Syringodium, Halophila*よりなる海草藻場が広がる。一部は、海草藻場の間に、水路に沿って細長く卓状、枝状ミドリイシの優占するサンゴ群落があり、平均被度は50%となっている。稚サンゴの加入はゼロで、天然更新は望めない。Tamassa Hotel 沖の影の部分は生きたサンゴ群集と思われるが、少しずつ面積を拡大しているが、今後確認する必要がある。バックリーフの調査は行っていないが、水路でのサンゴ群落の状態から考えて、大部分のサンゴが生存しているものと推定される。付近の海岸では、パラサーフィンが盛んに行われていて、礁湖内に生育する海草やサンゴの生育環境として好ましくないと考えられる。




出典：JICA 調査団

図 8.2.3 Bel Ombre でのスポットチェック法よる調査結果

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表 8.2.1に示す。透明度は5～10m、シルテーションは低い。海岸近くの塩分は、湾奥にある湿地帯の影響を受け、沖合いの塩分（34-35‰）に比べて28-34‰と低い。クロロフィルa、濁度および栄養塩類の$PO_4$は、それぞれ、平均で0.5ug/L、1.06 NTU、0.015mg/Lであり、サンゴの生息として概ね良好なレベル（サンゴ被度として20～50%の範囲にある水質レベル）にある。一方、栄養塩類の$NO_3$は、平均で0.08mg/Lであり、サンゴの生息としてあまり適さないレベル（サンゴ被度：10～20%）にある。当海岸は、下水道の未整備地区であり、排水は大半が吸収ピット（AP:Absorption Pit）を通して海岸へ流入している。また、湾奥の背後地には湿地帯（沼）があり、その影響により湾奥は塩分が低い。

表 8.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions |
|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.22-0.97(#) (Ave. 0.50) |
| | Turbidity (NTU) | 0.40-3.37(#) (Ave. 1.06) |
| | $NO_3$-N (mg/L) | <0.03-0.17(#) (Ave. 0.08) |
| | $PO_4$-P (mg/L) | <0.005-0.04(#) (Ave. 0.015) |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | 552 |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | T. D' Douce VCA<br>SS: NIL, AP: 1470,<br>ST: 115, PL: 28 |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants.<br>Restaurant uses septic tanks. |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels | Septic tanks, |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | behind coast | Absorption pits | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | Yes. River Mouth<br>Lagoon Width: 2.4 km | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | Yes.<br>Area: 10,854 Ha | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

#： 水質調査は、海岸からリーフエッジまで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団

### 8.2.4 海岸利用

海岸に沿ってホテルが位置し、西側では公共海浜公園がある。またサンゴ礁内では、パラセーリングが盛んに行われている。海浜公園の西には、以前砂糖の積み出しを行っていた埠頭及び倉庫が遺跡として存在する。この海岸の特性を取りまとめて結果を表8.2.2に示す。

表 8.2.2 Bel Ombreの海岸特性と課題

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 基礎調査番号 | No. 14 (Sediment Cell No.9) | | PB番号 | No.70 |
| 海岸名称 | Bel Ombre | | | |
| 自然・地形特性 | 海象条件 | 島の南側に位置し、南・南西からの波の来襲する場所である。 | | |
| | 地形条件 | 砂浜があり、南面には幅500m程度のリーフがある。 | | |
| 環境特性 | サンゴ礁 | 海岸近くは海草が繁茂し、サンゴ被度は0%である。リーフエッジ背後のサンゴ被度は20%である。AFRCによるサンゴのモニタリング結果によると、2000年から2010年にかけてサンゴ被度は年により変動が大きく、明瞭な減少傾向は見られない。 | | |
| | 水質特性 | 海岸近くは透明度5m、シルテーションは低い。本調査で行った水質調査によると、「モ」国の環境基準を超えるような水質項目もなく、比較的良好である。 | | |
| 海岸変形特性 | 災害・構造物 | 護岸が連続して建設されており、一部突堤、離岸堤（のような形状の構造物）、桟橋がある。 | | |
| | 海岸変形 | 航空写真による地形判読結果によれば、ホテル群より西側では、海岸侵食（0.1m/year）が生じている場所がある。 | | |
| 海岸利用特性 | 海浜利用 | 背後地にはホテルが存在し、海岸の利用頻度は比較的高い。 | | |
| 課題 | | サンゴ礁の状況は良くなく、侵食が進んでいる個所があり、侵食は前面の海草の消長によっていると考えられる。ホテル前面では護岸や突堤が建設されている。これらの構造物は侵食を助長している可能性があること、ホテル施設の出しの可能性があることから、広域的な管理を進める必要性が高いと考える。 | | |

出典：JICA 調査団

## 8.3 海浜変形と漂砂特性

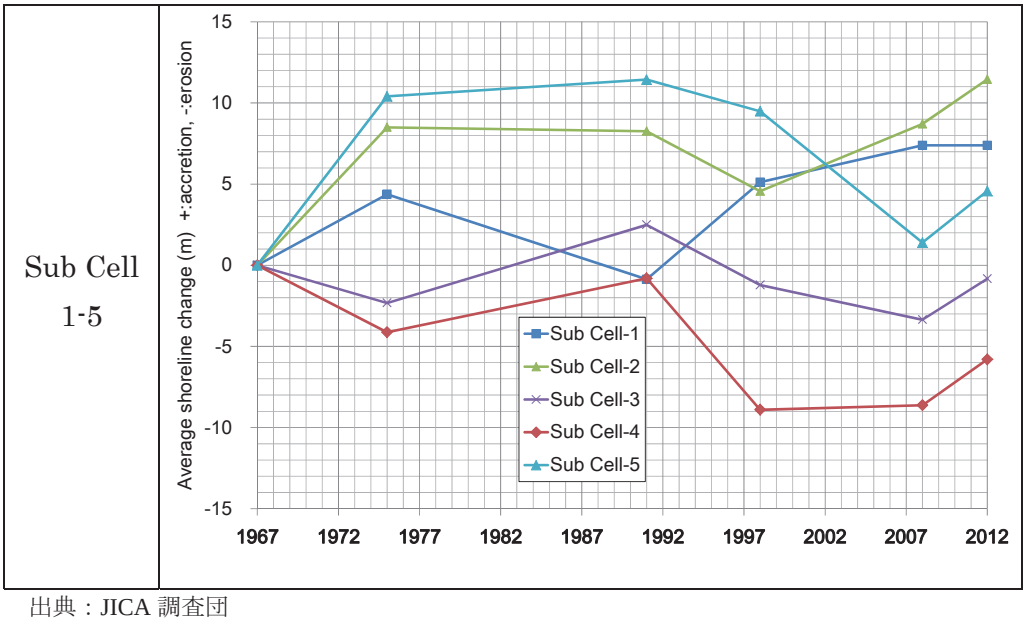
### 8.3.1 海浜変形

海岸線の変化を、サブセルに分割して航空写真より検討した範囲と侵食、堆積の状況を図 8.3.1に示す。長期的変化は、西側のサブセルNo.4では侵食を示しているが、東側のサブセルNo.2 では堆積、それ以外では安定となっている。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 8.3.1 Bel Ombre の検討範囲と侵食状況

各サブセルの海岸線の時系列変化を図 8.3.2に、また土砂収支を図 8.3.3と図 8.3.4に示す。西側のサブセルNo.4では1991年以降に侵食が生じているがそれほど規模は大きくない。海岸線変化の規模が大きくないので明確でないが、サブセルNo.4 の侵食はNo.1やNo.2の堆積と対応している状況が伺われる。堆積しているサブセルが多く、土砂収支では、侵食域のNo.4は海浜延長が短く、全体として1967年から2012年の間で約6万$m^3$の堆積となっている。




出典：JICA 調査団

図 8.3.2 Bel Ombre における海岸線変化

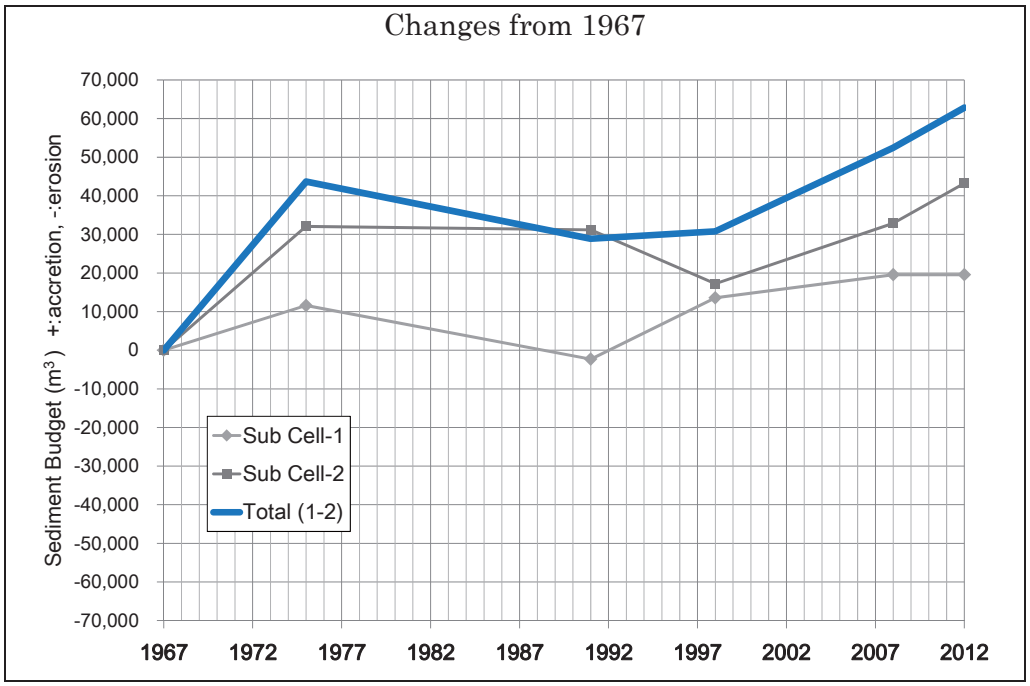



図 8.3.3 土砂収支(Sediment Cell No.9, Sub Cell-1-2)

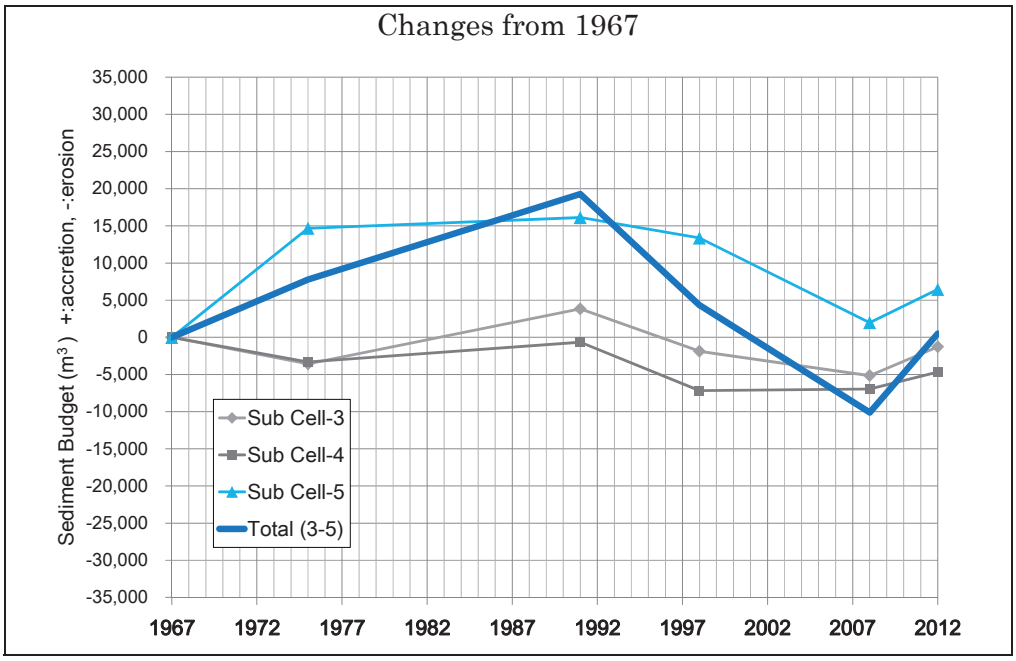



図 8.3.4 土砂収支(Sediment Cell No.9, Sub Cell-3-5)

### 8.3.2 漂砂特性

サンゴ礁の縁端で生成されたサンゴ砂は、海浜流により岸に運ばれ、一部は海浜に堆積し、一部は水道を通して沖へ失われる。サンゴ礁内の海草及びサンゴの生成、消失は砂の移動状況に影響を与えている。

サブセルNo.4の前面のサンゴ礁の状況を見ると、1991年以前には、海草の群落がみられたが、それ以降は衰退している。また、サブセルNo.4 の侵食とNo.1の堆積には対応が見られ、東向き沿岸漂砂により侵食された底質が東側海浜に堆積している可能性もある。

この海岸での侵食および堆積は、サンゴ礁内の海草、サンゴの消長の影響を大きく受けていると考えられる。なお、ホテルの建設は2006年以降であり、期間が短いことから、その影響は明確ではない。

侵食域のNo.4では、図 8.3.5に示すように、砂浜に沿って東から流れてきた沿岸流が浅瀬の存在により二つの流路に分かれて流れていると筋目の状況から想定される。また、ここに示す左の2003年の図では滑らかな海岸線となっているが、右の2013年の図ではホテルが存在し、そこでの突出した部分に斜めの突堤が設置されており、その西では堆積、さらに西で侵食となっており、構造物の影響による侵食の可能性がある。ただ、侵食量としてはそれほど多くない。

出典：Google Earth

図 8.3.5 Bel Ombre での浅瀬による地形変化：左 2003 年の衛星写真、右 2013 年の衛星写真

西側には図 8.3.5に示すように河口が位置し、幾分河口での土砂堆積の傾向がこの図から伺われ、河口閉塞の可能性が指摘される。

## 8.4 海岸保全対策

### 8.4.1 海岸保全の課題

限定はされているが、海浜の砂が失われていることから、その対策が求められる。また、ホテルが位置し、突堤や護岸が設けられている。これらの影響も評価する必要がある。

海浜全体として砂が堆積しており、侵食が生じているのは前面の海草の消失と関係あると考えられる箇所である。侵食は現在、特に大きな問題では無いが、海草の消失による変動、背後のホテルによる護岸、突堤等の設置による影響、また、海浜に流入する河川の河口閉塞の可能性が危惧される。

西側においては歴史的建物が存在し、その直立護岸が漂砂に影響を与えている可能性がある。この建物に隣接し、海岸道路の海側、地盤が低い個所に住民が住居を構えている。

長期的には、サンゴの劣化による海浜砂の供給の減少、サンゴ礁内の海草やサンゴの消長による海浜変動、海面上昇の影響が問題となる。これにはサンゴ礁内の観光活動による影響も含まれる。

### 8.4.2 行動計画

当海岸はホテルや海浜公園が存在することから、良好な自然の状態を保持する方針とする。海浜全体としての長期にわたる侵食に対して、表 8.4.1に示す侵食される砂を補給する養浜案、侵食と海浜変動を許容するセットバック案、突堤等による漂砂移動の制御が考えられる。基礎調査の範囲では侵食量が多くないこと、他の対策についてその妥当性を明らかにするのに十分な資料が無いことから、現時点ではセットバックを提案する。

セットバック量については、現時点での規制量30mで十分と考えられるが、具体的な地形変化および施設の建設状況に関する資料が少ないことから、今後の調査によりその妥当性を検討し、設定する必要がある。また、この際、住民の合意を得る必要がある。

セットバックに加え、侵食がサンゴ礁内の海草の消失により生じているとも考えられることから、サンゴ礁内の人為的活動の調査と必要な場合にはその規制が必要である。

海浜砂はリーフの平面形状が凸型であり、また水路が所々にあり、沖へ流出している可能性がある。堆積域が見いだせれば、それを養浜砂の供給源として活用することが可能である。また、海岸線の変化では近年、回復の兆しも見られることから、セットバックにより十分対応可能と考えられる。構造物については、ホテルの前面に一部突堤が設置されており、その効果をモニタリング等で調査することにより、対策を考察することができる。

表 8.4.1 Bel Ombreにおける対策案の比較

| 対策案 | セットバック案 | 養浜案 |
|---|---|---|
| 概要 | 長期的に砂が失われ、将来の海面上昇による侵食を想定すると、被害ポテンシャルを低減する意味でセットバック案がある。また、土地利用の規制も含め、その有効性を確保できる。 | 海浜全体としては堆積しており、一部の範囲で侵食が生じている。堆積域から侵食域への養浜する案が考えられる。 |
| 長所 | ホテルエリアを除く海岸の殆どは背後が海岸林で特に利用されておらず、侵食速度と今後の海面上昇を考慮し、セットバックラインを設定することで、中長期的に良好な海岸を保持することが可能となる。 | 現在よりも浜幅が広がり、かつ汀線変化量が平均で－0.1m/年程度であることから、一度の養浜で比較的に長期的な海岸の保持が可能である。 |
| 短所 | ホテルエリアについては前浜にレストランやパラソルなどの施設が設置されており、侵食が進行した場合、施設の損傷また下手側の侵食を助長させる可能性がある。 | 河口の堆積域から侵食域へのサンドリサイクルは、漂砂が侵食域から河口へ継続的に移動していることから有効ではないであろう。これは、この海浜の動的特性によっている。もし、養浜が適切であれば、必要な砂の量と質に関する調査が必要となる。 |

出典：JICA 調査団

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 8.4.1 Bel Ombre の保全対策配置図

河口閉塞に関しては、基本となる流量、河口の地形変化などの基礎資料が不足しているとともに、導流堤による対策は漂砂の下手での侵食を助長する可能性があり、現時点で適切な工法を選定することは困難である。今後、河口地形の変化と閉塞時の状況を観測し、それを基に対策を検討するのが適当と考えられる。なお、この検討はMOESDDBMおよび河口閉塞による問題に関係する省庁が共同で実施することが適切である。

歴史的建物の直立護岸については、その規模が大きくないこと、古くから存在していることから、大きく改築することは周辺への影響が想定され、現状を維持し保存するのが適切と考えられる。また、この建物の西側の低平地は地盤が低く、洪水や高波による浸水の可能性があることから、土地利用を規制し、現在の住民は移転することが適切である。

当海岸における早急な取り組み（短期的対策）としては、ラグーンの富栄養化状態を詳細に把握するための分析精度の高い水質モニタリング調査を実施する必要がある。

中長期対策としては、海岸背後の下水道整備や効率の高い浄化システムへの転換の推進が適切である。

## 8.5 維持管理計画

### 8.5.1 維持管理の課題

ホテルの一部はレストランが汀線際まで張り出している。レストランなどの構造物が汀線際に建設され、さらに侵食が進行した場合、構造物自体の損傷や漂砂下手の侵食を助長する可能性がある。

### 8.5.2 維持管理

当海岸のHotel Heritage Awaliの汀線の直ぐ背後にレストランが位置する。HWL時にはレストランの前面には殆ど前浜が存在しない状況である。このレストランとセットバックラインの位置関係に過去の航空写真を用いて確認する。このレストランは、過去の航空写真や衛星写真で確認すると1997－2000年には存在せず、その次の2008年の衛星写真で確認することができる。2008年の衛星写真にHWLを載せ、そのラインを起点として15m

および30m陸側にセットバックしたラインを追加する。これよりレストランはHWLと15mセットバックラインの間に位置し、またホテルのプールの一部もこのエリアに存在する。これより、ホテルの客室などは15mセットバックラインの陸側に位置しているが、レストランやプールはセットバック域に存在することから、規制を順守しないで建設されたことが考えられる。また、セットバックの規制は2004年にHWLから15mから30mに変更となっており、仮にこれらの施設が2004年以降に建設されている場合は、30mのセットバック域が規定されることから、前述のレストランやプールのみならず、客室の建設位置も順守されていないことになる。このホテルの各施設の建設年およびEIAの承認時期などを十分に確認した上で、関係機関とホテルと協議し、今後、施設の撤去または移設などを計画的に行う必要がある。また、ここでは、現在の海岸管理の課題に対する改善案を以下に示す。

**a. 既存海岸施設に関する課題**

- 直立護岸の形状から透過式傾斜護岸（植栽）等への改修
- 既存施設の効果の検証結果に基づく、突堤の撤去または改修

**b. 動的海岸域内（セットバックエリア）での既存施設/構造物に関する課題**

- 既存施設の建設位置および建設時期の検証結果に基づく撤去または移設計画
- 堆積域での境界位置の管理。借地境界は契約更新時などに沖側に移設しないことを借地契約書に明記する。

**c. 浜崖形成に関する課題**

- 関係機関連携によるモニタリング体制の強化
- 海岸域での植栽に関する適切な管理

**d. 海岸砂草の植栽除去に関する課題**

- リーフレットなどを用いた海岸砂草の重要性に関する情報の借地者への提供と保全に関する意識の高揚
- 海岸砂草の保護や保全の責任に関する借地契約への明記

**e. 排水施設の不足**

- 沿岸域背後の道路改修時における排水施設の計画策定
- 駐車場と道路または公共スペースの間への浸透式排水の設置

**f. その他課題**

- 海草やサンゴの重要性を意識したホテル側の管理
- 海岸縦断の定期的な維持管理
- 洪水レベルにおける居住域の移転に関する検討
- リーフ上のボートなどの航行に関する管理
- リーフ内のゾーニング－VMCAの実施- 海洋保護区域の設定

出典：JICA 調査団

図 8.5.1 ホテル施設とセットバックラインとの位置関係の確認（Bel Ombre）

### 8.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の長期的侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量に海面上昇による侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）+ 海面上昇により侵食量となる。

海面上昇に伴う侵食の機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

期間を50年、長期的海岸侵食量をこの海岸の0.1m/年、一時的侵食量としてサイクロンCarolによる最大値13mを採用すると、以下のように必要なセットバック量は20mとなる。(Vol.1 Ch.2参照)　これは、設定されている現在のセットバック量30m以下である。

セットバック量=0.1*50+13+2=20m

# Chapter 9

*Le Morne*

# 9　Le Morne（ホテルサイト）

## 9.1　概要

海浜はリーフに囲まれ、全体としては堆積しているが、ホテルが建設した水路より北への沿岸漂砂が阻止され侵食が生じている。侵食域には対策として、40年以前から突堤が建設されている。海浜は4か所の公共海浜公園、ホテル等施設として利用されている。また、隣接して世界遺産に登録されているルモーン保護区がある。

海岸は西に面しており、サイクロンにより発生する北からの波、南西からの貿易風による波を部分的に受け、また、まれに南極からの長周期波が来襲する。大潮時の潮位範囲はポートルイスの観測から0.5mと推定される。なお、ラグーン内の水位は、潮位に加え高潮と波によるセットアップを考慮しなければならない。

## 9.2　現況把握

### 9.2.1　海岸状況

Le Morneの山の周辺に形成されたサンゴ礁によるサンゴ砂の堆積により生じた海岸であり、古くは北側に存在していた島との間の水路が砂に埋まり、陸続きとなっている。その境界付近には水道や水路が存在している。西側のサンゴ礁は幅500mあり、北側および南側では広いサンゴ礁が存在する。

この海岸を図 9.2.1に示すように、北からサブセルNo.1からNo.7と分割し検討した。北側のNo.1 とNo.2の間は砂の堆積によって陸続きになった箇所である。また、北側の先端は漂砂が回り込み、堆積している。No.1とNo.2の境界には泊地への出入のための導流堤が設けられており、その北側が侵食域となり、南側は堆積域になっている。また、その南に位置する公共海浜公園では、浜崖が発生することがある。（図 9.2.2を参照）

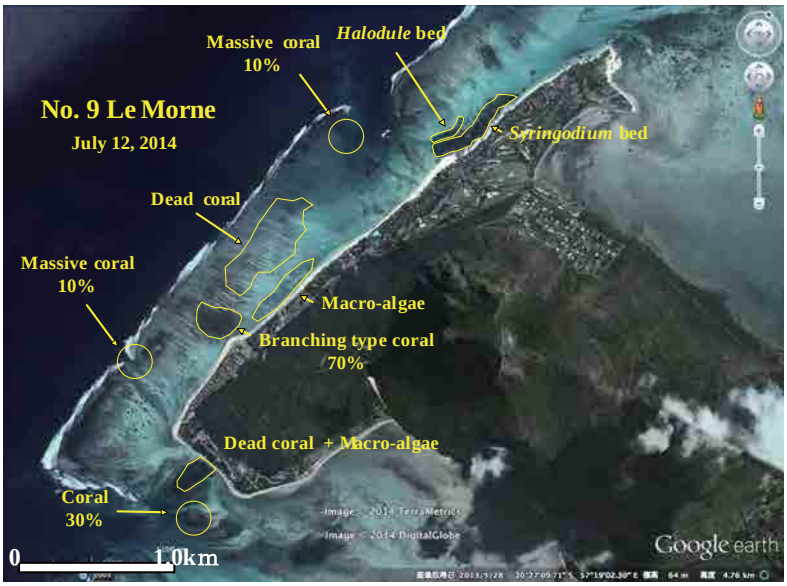
出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 9.2.1　Le Morne の海岸状況と検討範囲

出典：JICA 調査団

図 9.2.2 Le Morne の海岸状況：左：写真 A ホテル導流堤周辺の侵食、右：写真 B 公共海浜公園の浜崖

### 9.2.2 リーフ環境




出典：JICA 調査団

図 9.2.3 Le Morne でのグラスボートによる調査結果

1996年の航空写真及びそれを解析した地図と比較すると、サンゴの分布域は減少し、逆に海草藻場は増加している。背礁のサンゴ群集は1996年には生存していたと思われるが、2003年のサンゴの白化現象で大量死した可能性が高い。2012年10月のSC法による調査では、公共海浜公園の沖では枝状、円卓状ミドリイシの遺骸が散在し、生きたサンゴの被度は0%であった。サンゴの死亡要因として、2003年のサンゴの白化が指摘されている。しかし、透視度は15m以上で、シルト分の堆積もみられなかった。その後、2014年7月のグラスボートによる調査で、礁湖内の一部に被度70%の枝状ミドリイシを中心としたサンゴ群落が確認され、同時に*Syringodium, Halodule*よりなる海草藻場も確認された。しかしながら、南端のビーチの岸礁では1996年には生存していたサンゴが死滅し、岸礁のサンゴ遺骸上に、多くの大型海藻が繁茂していた（図 9.2.3）。大型の海藻藻場の存在などから、富栄養化が進んでいると思われるが、水質環境についてはサンゴの生育に好適と判断された。移植用のドナーに適した枝状ミドリイシ群集も礁湖内に見つかり、同じ礁湖内への移植には好条件となっている。マリンスポーツが盛んで、南端のラグーンではパラサーフィンが行われており、サンゴへの影響が懸念される。

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表9.2.1に示す。透明度は15m、シルテーションは無い。近隣のIle aux Benitiersは、透明度5m、シルテーションは中程度であ

る。クロロフィルaと濁度は、それぞれ、平均で0.37 ug/L、0.66 NTUであり、サンゴの生息として概ね良好なレベル（サンゴ被度としては20～50%の範囲にある水質レベル）にある。当海岸は、下水道の未整備地区であり、排水は主にホテルからの処理施設（オンサイト型）や家庭からの吸収ピット（AP: Absorption pit）、浄化槽(ST: Septic Tank)、素掘りピット（Pit Latrine）を通して海岸へ流入している。

表 9.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.25-0.58(#) (Ave. 0.37) | | | |
| | Turbidity (NTU) | 0.11-1.10(#) (Ave. 0.66) | | | |
| | $NO_3$-N (mg/L) | | | | |
| | $PO_4$-P (mg/L) | | | | |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | 60 | | | |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Le Morne VCA<br>SS: NIL, AP: 148,<br>ST: 156, PL:107 | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants.<br>Restaurant uses septic tanks. | | | |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | NIL | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | None | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | None | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

#： 水質調査は、海岸からリーフエッジまで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団

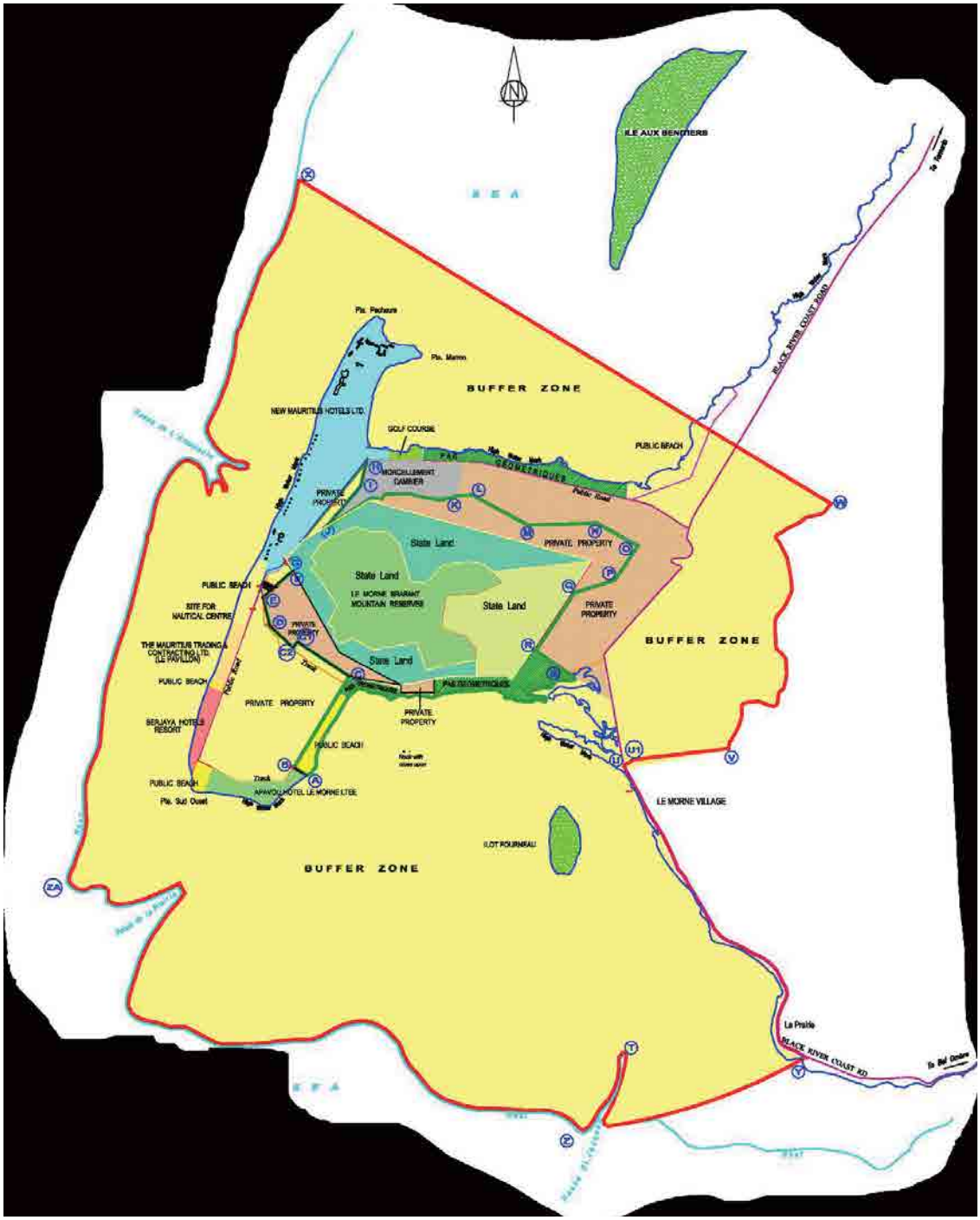
### 9.2.3 海岸利用

海岸に沿っては公共海浜公園、ホテルが位置し、サンゴ礁内は南側で風の条件が良いためカイトサーフィンが盛んである。この海岸はユネスコの世界遺産、Le Morne文化的景観として2008年に指定された。これに関して、ラグーン管理計画が2013年に策定され、図 9.2.4に示す海浜公園及びラグーンがバッファゾーンとして指定されている。

ラグーン管理計画では、10の戦略と対応する行動計画が策定され、その中で、海岸保全に関連して次の項目があげられ、この中に、水に関する生態系と生物多様性を保護することが含まれている。

- 重要な傷つき易い生態系と生物多様性を保護する。

- 公共利用及び生態系と自然環境の機能を維持するための適切な水質を確保する。
- ラグーンの持続的、多様で適切な利用を推進することが挙げられている。




出典：Le Morne Cultural Landscape Lagonn Management Plan Ver.1, 2013, Le Morne Heritage Trast Fund(LMHTF)

図 9.2.4 Le Morne の文化的景観区域(世界遺産)のコアゾーンとバッファゾーン

海岸の特性と課題を表 9.2.2に示す。

表 9.2.2 Le Morneの海岸特性と課題

| 基礎調査番号 | | No. 16 (Sediment Cell No.10) | PB番号 | No.72,73,74,75 |
|---|---|---|---|---|
| 海岸名称 | | Le Morne | | |
| 自然・地形特性 | 海象条件 | 西南端に位置し、南西からの波浪が来襲する場所である。 | | |
| | 地形条件 | 砂浜海岸で、前面には650m~900m程度のラグーンがある。<br>浜勾配は1/8程度、中央粒径はリーフ内で0.6mm程度であり、リーフエッジに近い箇所で若干粗くなる。一様に浜崖が形成されている。 | | |
| 環境特性 | サンゴ礁 | リーフエッジ背後のサンゴ被度0%、藻類の被度20%である。AFRCによるIle aux Benitiersにおけるサンゴのモニタリング結果から推定すると、2000年から2010年にかけてリーフエッジ周辺のサンゴ被度は減少傾向にある。 | | |
| | 水質特性 | 透明度15m、シルテーションは無い。風の影響が強く、海浜流による外海との海水交換は活発であり、水質は比較的良好である。 | | |
| 海岸変形特性 | 災害・構造物 | サイクロンCarol（1960）により被災した場所である。現在も浜崖が生じている。泊地維持の導流堤が存在する。 | | |
| | 海岸変形 | 航空写真による地形判読結果より堆積傾向の場所が多く安定海浜と判断されるが、Paradise Hotel水路部の導流堤北側に10mの海岸侵食が生じている。また、現地調査を行った結果、公共海浜公園では部分的に浜崖が発生している。 | | |
| 海岸利用特性 | 海浜利用 | 公共海浜公園の設定があり、ホテル、ゲストハウスとして高度な利用が行われている。パラサーフィンも盛んで、海岸道路も整備されている。 | | |
| 課題 | | 全体的には安定傾向にあるが、一部の箇所で導流堤建設による侵食が見られ、維持管理計画を含めたソフト対策による保全計画の策定が必要であると考えられる。また、海浜利用が盛んな海岸であり、背後地も高度利用されており、利用面の配慮が必要である。 | | |

出典：JICA 調査団

## 9.3 海浜変形と漂砂特性

### 9.3.1 海浜変形

海岸線の変化を、サブセルに分割して航空写真より検討した範囲として図 9.3.1に示す。北から南に向かい、サブセルNo.1 からNo.7までとなる。

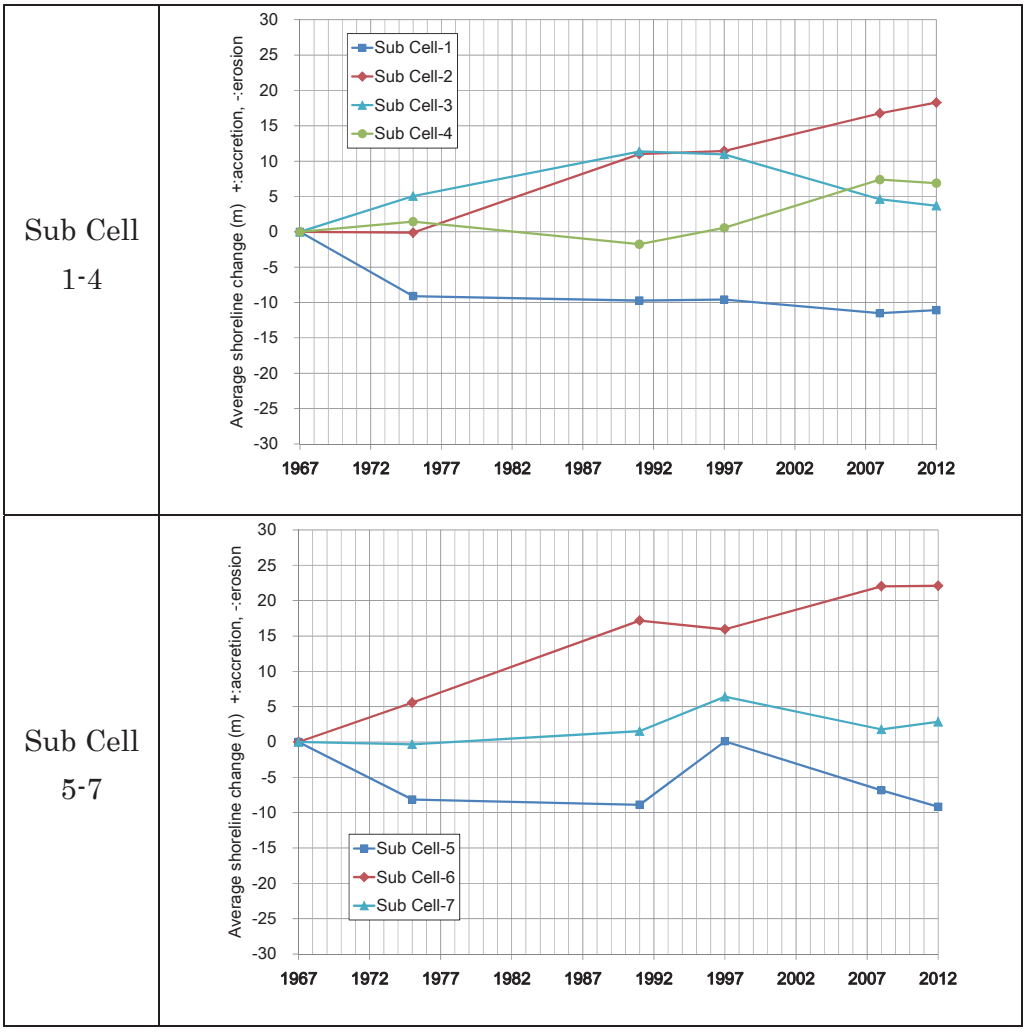
出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 9.3.1 Le Morne のの検討範囲と汀線変化状況

海岸線の変化をサブセル毎に示したのが図 9.3.2である。侵食は、半島の北端のサブセルNo.1と南端のNo.5で生じており、それ以外は堆積の状況にある。サブセルNo.1の侵食は1967年から1975年の間で、約10mとなっており、それ以後は安定している。サブセルNo.2では、継続的に堆積が生じて1967年以来15m以上となっている。サブセルNo.3は1967年から1997年にかけてはNo.2 と同じ傾向を示していたが、1997年以後は侵食に変化した。現在でも1967年よりは前進している。一方、サブセルNo4では1997年以前は安定であったが、以後は堆積変化し、No.3の侵食と対応しているように見える。

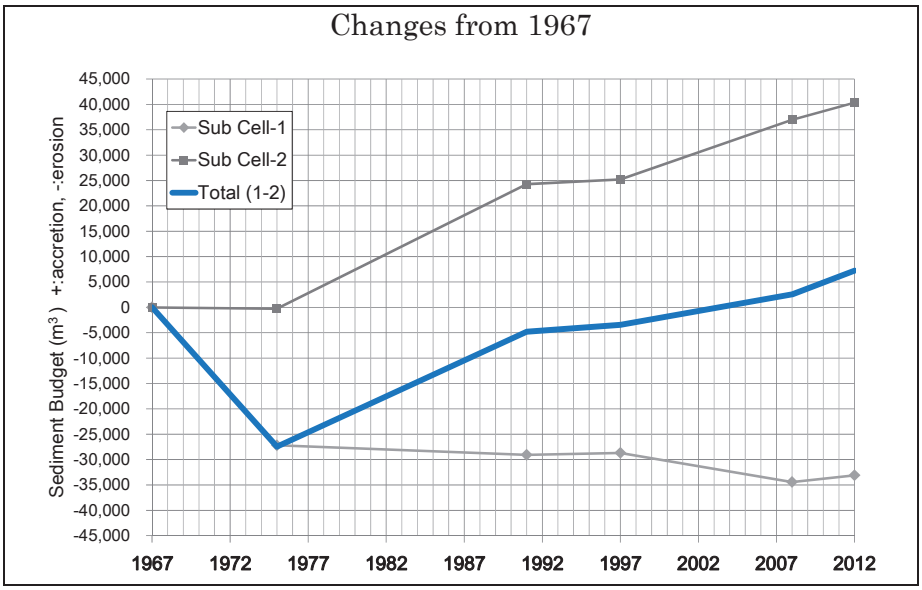
南側のサブセルNo.5では変動があり、1975年には侵食され、1997年に堆積したが、以後は再び侵食となっている。サブセルNo.6はNo.2と同様に継続的に堆積が生じ、1967年以来20m以上となっている。サブセルNo.7はほぼ安定であり、緩やかな増加の傾向を示している。

土砂収支に関しては、図 9.3.3、図 9.3.4、図 9.3.5に示す。全体の土砂収支は1967年から2012年の間で約5万$m^3$の堆積となっている。



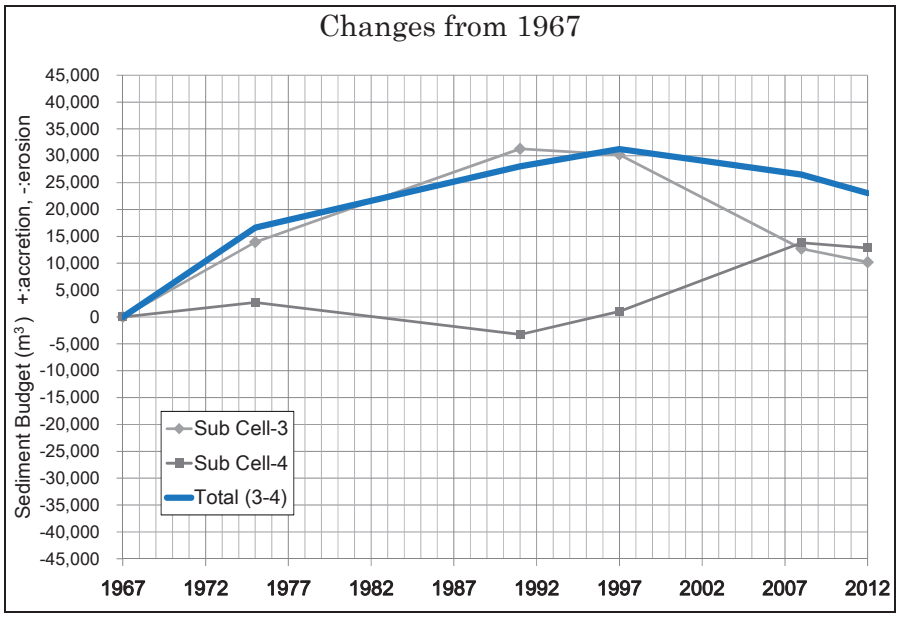

出典：JICA 調査団

図 9.3.2 Le Morne における海岸線変化



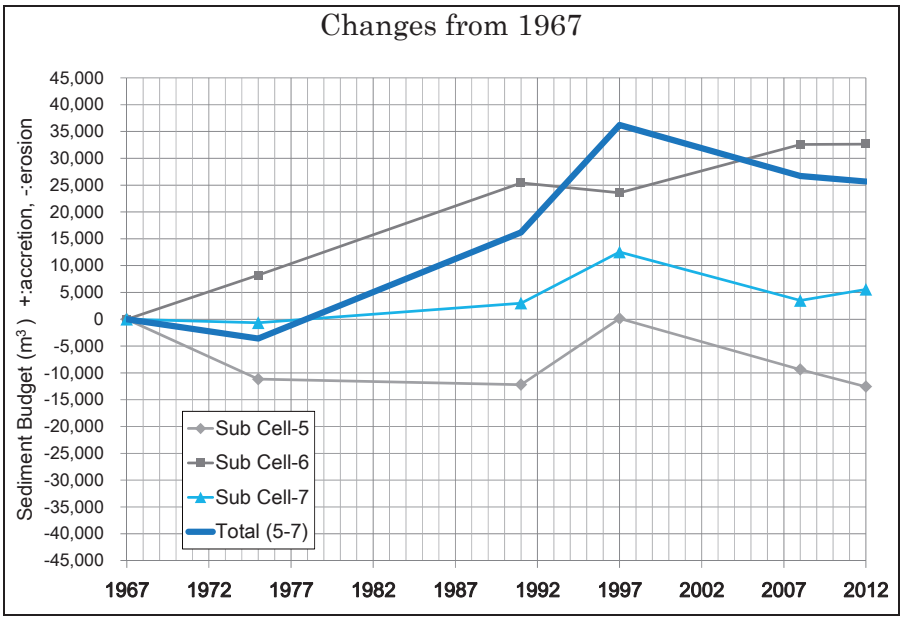

出典：JICA 調査団

図 9.3.3 土砂収支 (Sediment Cell No.10, Sub Cell-1-2)




出典：JICA 調査団

図 9.3.4 土砂収支 (Sediment Cell No.10, Sub Cell-3-4)




出典：JICA 調査団

図 9.3.5 土砂収支 (Sediment Cell No.10, Sub Cell-5-7)

### 9.3.2 漂砂特性

海岸の前面に広がるサンゴ礁では、沖から岸へのサンゴ砂の供給があり、それが沿岸方向、南または北側に輸送され堆積している。サンゴ礁に存在する水道を通して一部は沖に流出していると想定される。また、サンゴ礁内のサンゴや海草の群落の消波効果により海浜の変形が生じている。

Le Morne南の海浜では、図 9.3.6左に示すように1967年の航空写真では沿岸方向に変化の無かった状況が、沖でのサンゴまたは海草による浅瀬の形成により1997年頃から堆積が始まり、2008年の衛星画像では図 9.3.6右のように、沿岸方向約200mにわたり舌状の海浜形状が形成されている。この地点では海浜流と底質の移動状況を示す海底の筋目が沖から岸に向かい、北および南に海浜に沿って分れている。1967年では浅瀬が見られず、その後浅瀬が形成され、その波浪減衰効果と沖から岸への砂の移動により徐々に堆積が進んだものと考えられる。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 9.3.6 Le Morne 南でのサンゴ群落による地形変化：左 1967 年航空写真、右 2008 年衛星写真

出典：MHLの資料を基にJICA調査団で加工

図 9.3.7 Le Morne 北での浅瀬による地形変化：左 1967 年航空写真、右 2008 年衛星写真

サブセルNo.1、導流堤北側の海浜では、図 9.3.7に示すように導流堤により沿岸漂砂が止められ、侵食が発生している。この侵食対策として突堤が設置され、サンドバイパスが実施されている。その沖、岸近くに海草による浅瀬が存在し、浅瀬と汀線がほぼ平行になっている。ここでは浅瀬と汀線の間は北向きの流れが、浅瀬の沖では一部南向き、一部北向きの流れが生じているように筋目から伺える。浅瀬を形成する海草は、消波効果や底質の保持機能を有しており海浜の安定に寄与している。しかし、岸に向かって成長することにより海草と海浜の間で沿岸流が存在することにより、海浜が後退する状況となっている。

海浜変形とサンゴや海草の変化の状況を対応させてみると、次のようは漂砂特性が伺われる。すなわち、サンゴ礁の縁端で生成されたサンゴ砂は岸に向かい、ラグーン内を移動し、一部は北へ、一部は南へ移動している。北への移動は突堤により一時は阻止され、その北側で侵食を生じたが、突堤を通過する漂砂及びサンドバイパスにより大きな侵食は生じていない。これは、海浜前面の海草の繁茂の影響もあると考えられる。導流堤の南では継続的に堆積を生じていたが、1997年以後、サンゴ群落が海浜の前面に形成され、その背後に堆積が生じたことから、群落の北側、沿岸漂砂の下手では侵食が生じたものと考えられる。南へ移動した漂砂は、先端に存在する水道へ一部が流出していると想定される。

## 9.4 海岸保全計画

### 9.4.1 海岸保全の課題

海岸侵食に関しては、全体としては堆積であるが、一部、水路維持のための導流堤の漂砂下手で、沿岸漂砂を止めているために侵食が生じ、上手では堆積となっている。また、海岸はサンゴや海草群落消長により変動しており、変動域にホテル等が構造物を建設すると、その影響により侵食が生じる場合がある。このため、規制等が求められる。特に、ラグーン内のサンゴや海草の保全が必要である。すなわち船の航行や引網等が影響を与える可能性がある。

ホテルで建設した水路を維持するための導流堤が北への沿岸漂砂を止め、北側のホテルが利用している海浜で侵食、また水路の閉塞が生じている。これに対しホテルでは、水路浚渫とその土砂を利用した北側海浜への養浜を実施している。水路の導流堤の撤去はホテルの北側海浜の侵食対策にはなるが、その南側の侵食をもたらす可能性がある。

この海岸は堆積海岸であり、特に現在問題の個所は少ないが、長期的には海浜砂の供給源であるサンゴの劣化、サンゴ礁内のサンゴや海草の消長で海浜変形が生じており、その動向を把握し、現在から対策を検討する必要がある。

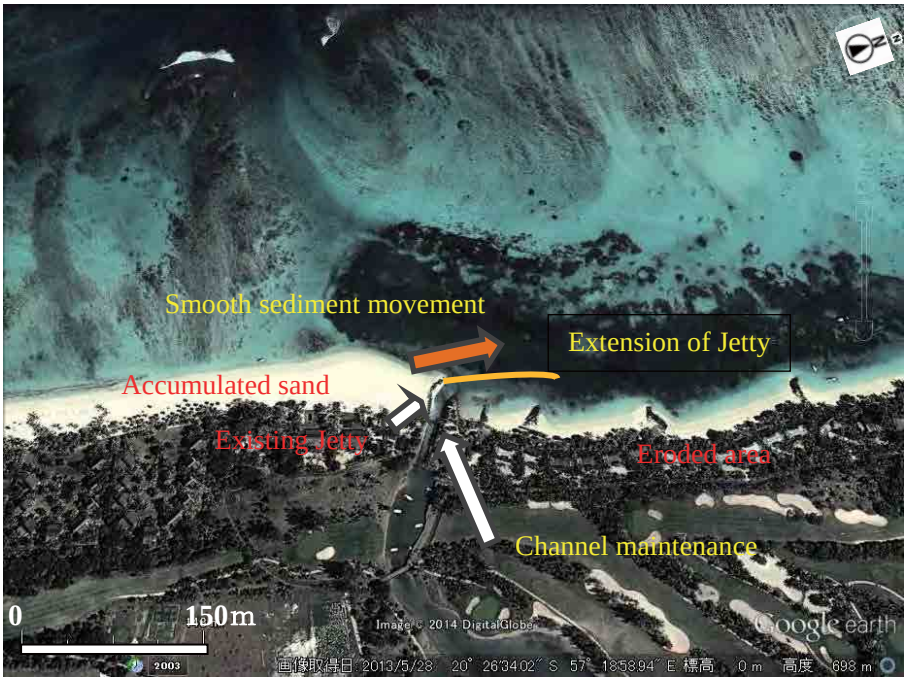
### 9.4.2 海岸保全対策

当海岸は海浜公園、ホテル等に利用されており、自然の特性を保持する方針とする。沖に連続したリーフがあり、波により砂の供給が期待され、海岸全体としては堆積の傾向があり、一部の海浜で侵食が生じているが、その規模は海岸線の変化解析によると小さいことから、現状を維持することとする。

長期的には将来のサンゴの保全のために、サンゴの移植を現在から始める。水質環境は悪くなく、歴史遺産に関連してサンゴ礁内は保護区域になり、規制がかかっている。また、サンゴ礁内のサンゴの被度も高い所があり、移植には条件が整っていると考えられる。

短期対策として、泊地の水路維持のための導流堤により生じているサブセルNo.1の侵食に関しては、現在サンドバイパスを実施しており、これを継続する。この地点の沖には海草による浅瀬があり、浅瀬と海浜の間で北への沿岸流による漂砂が生じていると考えられる。また、浅瀬は波浪の減衰効果を有している。海岸線の変化は浅瀬の形成と関連している可能性もある。

対策案として、長期的には導流堤を滑らかな形状として、図 9.4.1に示すように漂砂を水路の北側に送ることが考えられる。導流堤の配置形状は、まず現在の周辺地形と沿岸流の流況を把握し、検討することになろう。沖の浅瀬との間で北への漂砂移動を図ることができれば下手の海浜の維持が可能となる。また、場合によっては既存の突堤を撤去することが可能になろう。水路の維持に関しては静穏域が形成されることからある程度の砂の堆積は想定され、浚渫で対応するが、堆積量は現状よりは少ないと考えられる。ただ、この間を採用するには各種の検討が必要である。なお、この検討は必要に応じホテル側が実施することになると考えられる。




出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 9.4.1 Le Morne の水路維持対策案

気候変動による海水温の上昇等を考慮すると、長期的にサンゴの養殖が必要であり、そのためにこの海岸で検討を始める必要があろう。現在、透視度も高く、外洋水の交換も良いため、Pte. d'Esny同様サンゴの生育環境としては良好である。また、この海域は、Le Morne地域が世界遺産に登録され、その関連で緩衝区域となっている。(LMHTF, 2013) しかも、サンゴの生殖期間の海流が南から北へと流れることから、地理的にサンゴ幼生の供給域としては極めて重要な海域である。

現在は、一部のサンゴ群集を除いて、礁湖内のパッチリーフ、バックリーフでは生きたサンゴの被度は低い。しかし、礁湖の広さと比較して生きたサンゴ群集の面積が狭いことから、生きたサンゴ群集の保全· 保護に加え、サンゴの生息域拡大のため、積極的な移植が必要と考えられる。現在、保護海域の検討がなされていることから、移植域を保護海域として設定するとともに、その後のモニタリングを行うことが必要である。

一方、海草藻場については増加傾向にあるため、特に問題はないが、その後の傾向についてはモニタリングを行う必要がある。

半島の南端の岸礁ではパラサーフィンが盛んに行われているが、今後マリンスポーツとの共存を図る必要がある。

サンゴ及び海草の移植に関連して、短期的にはラグーンの富栄養化状態を詳細に把握するための分析精度の高い水質モニタリング調査を実施する必要がある。その結果を解析して必要であれば中長期対策として、海岸背後の下水道整備や効率の高い浄化システムへの転換を推進する。

## 9.5 維持管理計画

### 9.5.1 維持管理の課題

海岸の維持管理に関する課題としては、次のものがある。（図 9.5.1を参照）

まず、ホテルによる泊地の水路を維持として、年に1回程度浚渫が行われ、浚渫した土砂が陸上にストックされている。また、水路の北側で侵食が生じている。

公共海浜公園の後浜に多くの車両が駐車していたが、調査期間中に進入防止柵を設置し、現在は公園内の車両の駐車は改善された。ただし、南側の公共海浜公園内は、自由に車両が進入できる状態にあり、後浜上に多くの車両が駐車している。これにより海岸利用空間が制限されることと、樹木や海生生物への影響、排ガス、さらには海岸利用者への安全面での問題がある。

雨水の海岸への自然排水によって、海岸の一部海浜で局所的な洗掘が生じている。

ホテルの水路に設置された導流堤

侵食域での建設中のホテル

後浜での車両駐車

公共海浜公園における雨水排水による砂浜の洗掘

出典：JICA 調査団

図 9.5.1 Le Morne における海浜維持管理の課題

### 9.5.2 維持管理

ホテルによる水路の維持管理に関しては、ホテル独自の判断で浚渫および砂の移動・投入が行われている。侵食の影響が出ている箇所はホテルの借地エリアに限定されているため、公共海浜海岸には影響はない。しかし、連続した海岸を良好な状態および景観を保つためには、独自の判断のみならず、その維持管理について技術的な観点からの評価を受ける必要がある。定期的なモニタリング自体はホテル側で実施し、1－2年に1回程度はモニタリングの結果を海岸管理者側に提出し、維持管理方法の妥当性を評価することを推奨する。

海浜への車の乗り入れに関しては、段階的に駐車場または駐車スペースを設置し、海岸への車両の乗り入れを制限することが望ましい。バイクなどの乗り入れも見られることから、進入防止の柵以外にも標識、注意案内などを設置することも効果があると考えられる。また、より景観に配慮して低木、花木などで駐車スペースとの境界を設けることも考慮する。さらに、駐車場から海岸では進入口をある程度限定し、ペデストリアンデッキや遊歩道を設け、バリアフリー対象者への配慮、オートバイの進入を抑制、海岸植栽を保全するなど考慮することも必要である。

海岸背後での雨水排水による海岸の洗堀が発生している箇所については、背後での道路計画・設計に合せて、排水の検討を行う必要がある。ここでは、現在の海岸管理の課題に対する改善案を以下に示す。

**a. 動的海岸域内（セットバックエリア）での既存施設/構造物に関する課題**

- 既存施設の建設位置および建設時期の検証結果に基づく撤去または移設計画
- 堆積域での境界位置の管理。借地境界は契約更新時などに沖側に移設しないことを借地契約書に明記する。

**b. 動的海岸域（セットバックエリア）での施設/構造物の新設に関する課題**

- 動的海岸域内での不適切な施設建設を管理するためにMHLおよび郡政府による管理組織の設立
- 動的海岸域内での不適切な施設・構造物に関する定期的なモニタリング

**c. 海岸上の植栽に関する課題**

- 海岸植栽に関する適切な配置および構成
- 樹種の適切な選定（可能な限り在来種の選定）

**d. 沿岸域における浚渫に関する課題**

- 継続かつ定期的なモニタリングの実施
- 借地者からのモニタリングデータ提出の義務付けと適切な評価

**e. 排水施設の不足**

- 沿岸域背後の道路改修時における排水施設の計画策定
- 駐車場と道路または公共スペースの間への浸透式排水の設置

**f. 公共海浜公園内への車両進入に関する課題**

- モーリシャス全国での段階的な駐車場の整備
- 標識や案内板の設置、低木や花木の配置による海岸域と駐車スペースの境界の明確化

出典：JICA 調査団

図 9.5.2 ホテル施設とセットバックラインとの位置関係の確認（Le Morne）

### 9.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の長期的侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量に海面上昇による侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）+ 海面上昇により侵食量となる。

海面上昇に伴う侵食の機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

期間を50年、長期的海岸侵食量をこの海岸の0.2m/年、一時的侵食量としてサイクロンCarolによる最大値13mを採用すると、以下のように必要なセットバック量は25mとなる。(Vol.1 Ch.2参照)　これは設定されている現在のセットバック量30m以下である。したがって、現在のセットバック量で十分である。

セットバック量=0.2*50+13+2=25m

# Chapter 10

*Flic en Flac*

# 10 Flic en Flac

## 10.1 概要

東に面した砂浜海岸で、比較的狭いラグーンが存在し、平面形状は凸型である。砂浜が広がり、背後は公共海浜公園（PB）、ホテルとして利用され、「モ」国の主要な観光地となっている。また、海浜公園の岸側、元の砂採取場で住宅が建てられている。

## 10.2 現況把握

### 10.2.1 海象特性

海岸は、本島の西部中央に位置し、西に面していることから、主要な波は稀に来襲するサイクロンによる波である。大潮時の潮位範囲はポートルイスの観測から0.5mと推定される。なお、ラグーン内の水位は、潮位に加え高潮と波によるセットアップを考慮しなければならない。

### 10.2.2 海岸状況

溶岩台地の前面、幅500mのラグーンで囲まれた凸型の海浜であり、両側には沿岸流が流出する水道(Pass)、また中間には規模の小さい水道が存在する。全体に砂浜が形成され、二つの小河川が流入している。それらはMarouem川とその支川である。北側では公共海浜公園が中心であり、南側はホテルが位置している。

図 10.2.1に示すように、この海岸を北からサブセルNo.1 からNo.5に分割して、侵食状況を調査した。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 10.2.1 Flic en Flac（Cell No.11）の検討範囲と侵食状況

海岸の特徴としては、南側にはホテルが位置し、一部で図 10.2.2の右に示すようにGold Beach ホテルでは直立護岸が設けられ、その前面の砂浜が狭い状況が見られる。また、北側では図 10.2.2の左に示しように堆積域となっており、広い砂浜が存在する。

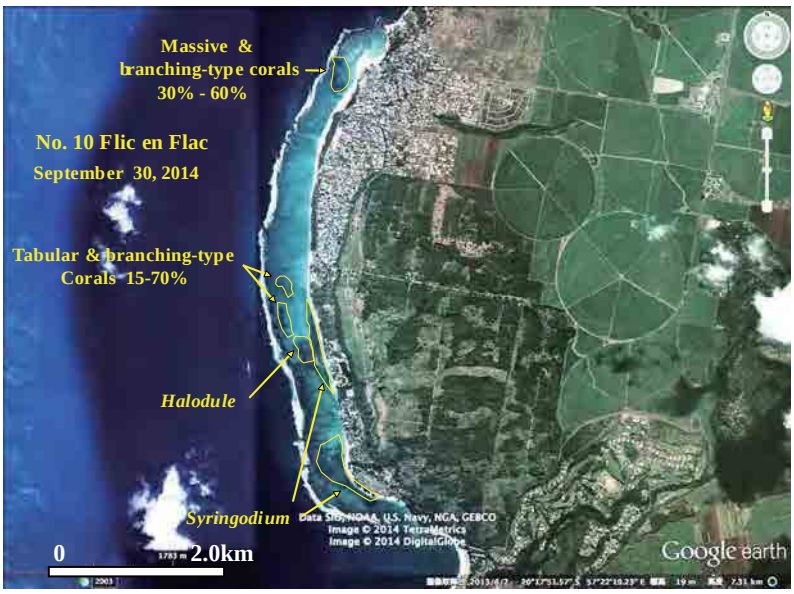
北側は、海岸に沿って公園、レストラン、商店、住宅等が位置しているが、南側はホテルが主体となっている。

出典：JICA 調査団

図 10.2.2 Flic en Flac の海浜状況：左(写真 A)：借地前面の護岸、右(写真 B)：海浜の利用状況

### 10.2.3 リーフ環境

現地調査によると、礁湖の北側ではハマサンゴ、枝状のミドリイシを中心に被度は30～60%。砂底のところどころあるパッチリーフ上に枝状のミドリイシやハマサンゴが分布している。透視度は5mほどで、シルト分の堆積は少ない。サンゴ礁の評価基準ではやや不良から良。稚サンゴの加入はみられなかった。海草藻場は見られず。また海藻も殆ど見られない。公共海浜公園の南端にあたる中央部では生きたサンゴは殆どみられず、MOI によるサンゴの移植実験が行われている。一方、礁湖の南では一部の海域で卓状及び枝状のミドリイシが優先する群落が広がっているが、それ以外は*Syringodium* 及び*Halodule* よりなる海草藻場が広がっている。




出典：JICA 調査団

図 10.2.3 Flic en Flac でのグラスボートによる調査結果

1996年の航空写真及びそれを解析した地図と比較すると、サンゴの分布域は減少し、逆に海草藻場は増加している。礁湖の中央部やや南のサンゴ分布域では枝状ミドリイシを中心に60%から75%の高い被度を保っているが、分布域は狭まっている。逆に北端のサンゴ群落は枝状ミドリイシ及びハマサンゴを中心に、やや分布域を広げている。

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表10.2.1に示す。透明度は、Flic en Flacで8mであり、南のTamarin川に近いWolmarで5mである。シルテーションは比較的低い。海岸近くのクロロフィルaは、0.5 ug/Lであり、サンゴの生息として概ね良好なレベル（サンゴ被度として20～50%の範囲にある水質レベル)にある。AFRCによる水質モニタリング結果によると、大腸菌は比較的低い状態(100 MPN/100ml以下)にある。当海岸は、下水道の未整備地区であり、排水は主にホテルからの処理施設（オンサイト型）や家庭からの吸収ピット（AP: Absorption Pit）や浄化槽（ST: Septic Tank）を通して海岸へ流入している。

表 10.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.50(*) | | | |
| | Turbidity (NTU) | - | | | |
| | $NO_3$-N (mg/L) | - | | | |
| | $PO_4$-P (mg/L) | - | | | |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | 104 | | | |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Flic en Flac VCA:<br>SS: NIL, AP: 1294,<br>ST: 1975, PL: 6 | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants.<br>Restaurant uses septic tanks. | | | |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | In pipeline for development, Study stage | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | Yes. River Mouth<br>Lagoon Width: 446m | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | Yes.<br>Area: 1,635 Ha | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

*:水質調査は、海岸近くで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団

### 10.2.4 海岸利用

海浜の背後には公共海浜公園が位置し、観光客及び地元住民に広く利用されている。また、海岸に沿って道路が走り、ホテルやレストランが位置しており、北側では低平地及びそれにつながる丘陵地で住宅開発が行われている。一部低平地では地盤の低い個所が見られる。ラグーンではジェットスキーなどの観光活動が盛んである。

Flic en Flacの海岸特性を表 10.2.2に示す。

表 10.2.2 Flic en Flacの海岸特性と課題

| 基礎調査番号 | | No. 17 (Sediment Cell No.11) | PB番号 | No.79，80，81，92，83 |
|---|---|---|---|---|
| 海岸名称 | | Flic en Flac | | |
| 自然・地形特性 | 海象条件 | 島の西側に位置し、南西からの波がほとんどで、サイクロンの時期は北からの波の影響を受ける。 | | |
| | 地形条件 | 前面に幅500m程度のリーフを有する凸型砂浜海岸である。浜勾配は1/8～1/10程度であり、中央粒径は陸上で0.3mm程度と他の海岸に比べて細かい。 | | |
| 環境特性 | サンゴ礁 | サンゴ被度1～30%の範囲にあり、河口（Black River, Grand River Noire）に近づく程、被度は低下する傾向にある。 | | |
| | 水質特性 | 透明度は2.5～8m、シルテーションはPreneuseで高く、TamarinおよびFlic en Flacで低い。AFRCの水質モニタリング結果によると、TamarinおよびFlic en Flacは比較的良好な水質状況にあるが、PreneuseはBlack Riverからの影響を受け、水質汚濁が進行していると考えられる。 | | |
| 海岸変形特性 | 災害・構造物 | 蛇籠（1995年、延長700m）、突堤（1995年、10基）、 護岸の撤去（2007）、サンドバイパスの実施(2008)、蛇籠の撤去（2008） | | |
| | 海岸変形 | 航空写真による地形判読結果によれば、Pearle Beachホテルの南側は比較的安定している。その北側は広域的に0.3m/yearの侵食域であり、一部の公共海浜公園で浜崖が発生している。ManisaホテルからVillas Carolineまでは沿岸漂砂により0.5m/yearの堆積であり、北端の砂州は拡大傾向である。部分的に浜崖ができやすい特性があり、2013年1月のサイクロンでも1.5m程度の浜崖が生じた。 | | |
| 海岸利用特性 | 海浜利用 | 「モ」国を代表するリゾートエリアであり、海浜は公共海浜公園、ホテルのビーチとして利用されている。背後地は、主に観光地でレストランや商店がたち並び、やや陸側は住宅地である。 | | |
| 課題 | | Flic en Flacは「モ」国有数の観光地であり、海浜・背後地も高度に利用されている。浜崖の形成が利用・保全上の問題となっており、その対策は重要である。また、保全対策として養浜工事が行われたが、その材料の殆どが流出している状況であることから、適切な保全計画を検討すべき場所である。 | | |

出典：JICA 調査団

## 10.3 海浜変形と漂砂特性

### 10.3.1 海浜変形

#### a. 海岸線変化

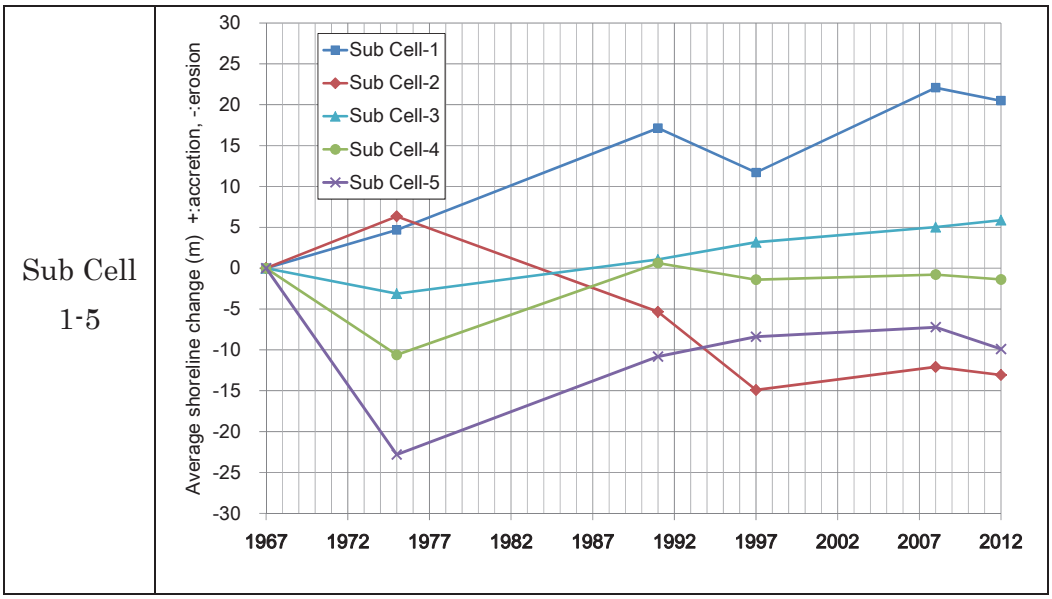
海岸線の変化を、サブセルに分割して航空写真より検討した範囲と侵食堆積の状況を図 10.3.1に示す。長期的変化は、北側のサブセルNo.1では堆積を、その南のNo.2では侵食を示しているが、それより南では安定となっている。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 10.3.1 Flic en Flac の検討範囲と汀線変化状況

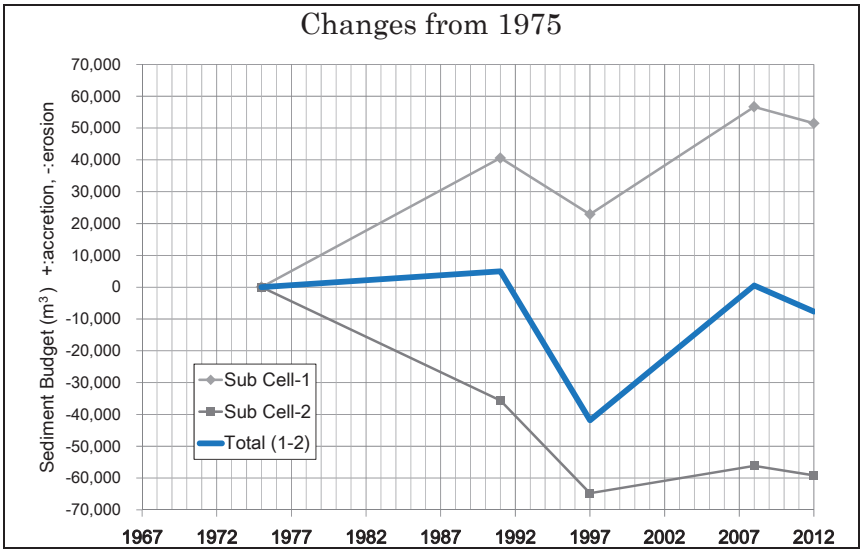
各サブセルの海岸線の時系列変化を図 10.3.2に示す。北側のサブセルNo.1では1967年以後、継続的に堆積しており、現在では20mの前進となっている。一方、その南に位置するサブセルNo.2では1975年以後、侵食が継続し、侵食量は10mを超えている。サブセルNo.3、No.4では長期的には大きな変化を示していないが、No.3では堆積の傾向がうかがわれる。南の端に位置するサブセルNo.5では1975年には大きく後退し、それ以後は1967年の海岸線までは戻っていないが、回復の傾向を示している。

全体として土砂収支は1967年以後約2万$m^3$の堆積となっている。また、サブセルNo.1では6万$m^3$の堆積、No.2では4万$m^3$の侵食となっている。それ以外のNo.3からNo.5では、収支は均衡している。



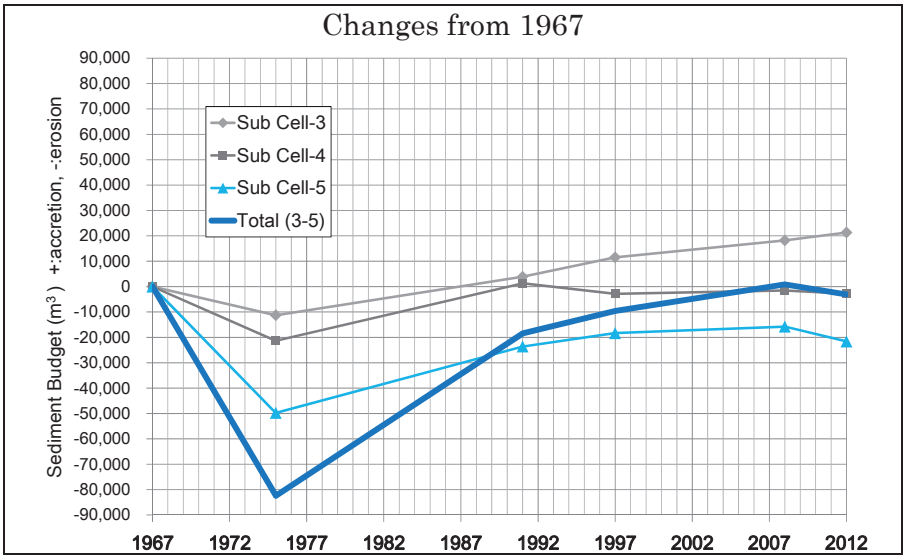

出典：JICA 調査団

図 10.3.2 Flic en Flac における海岸線変化




出典：JICA 調査団

図 10.3.3 土砂収支 (Sediment Cell No.11, Sub Cell-1-2)




出典：JICA 調査団

図 10.3.4 土砂収支 (Sediment Cell No.11, Sub Cell-3-5)

### b. 海浜モニタリング

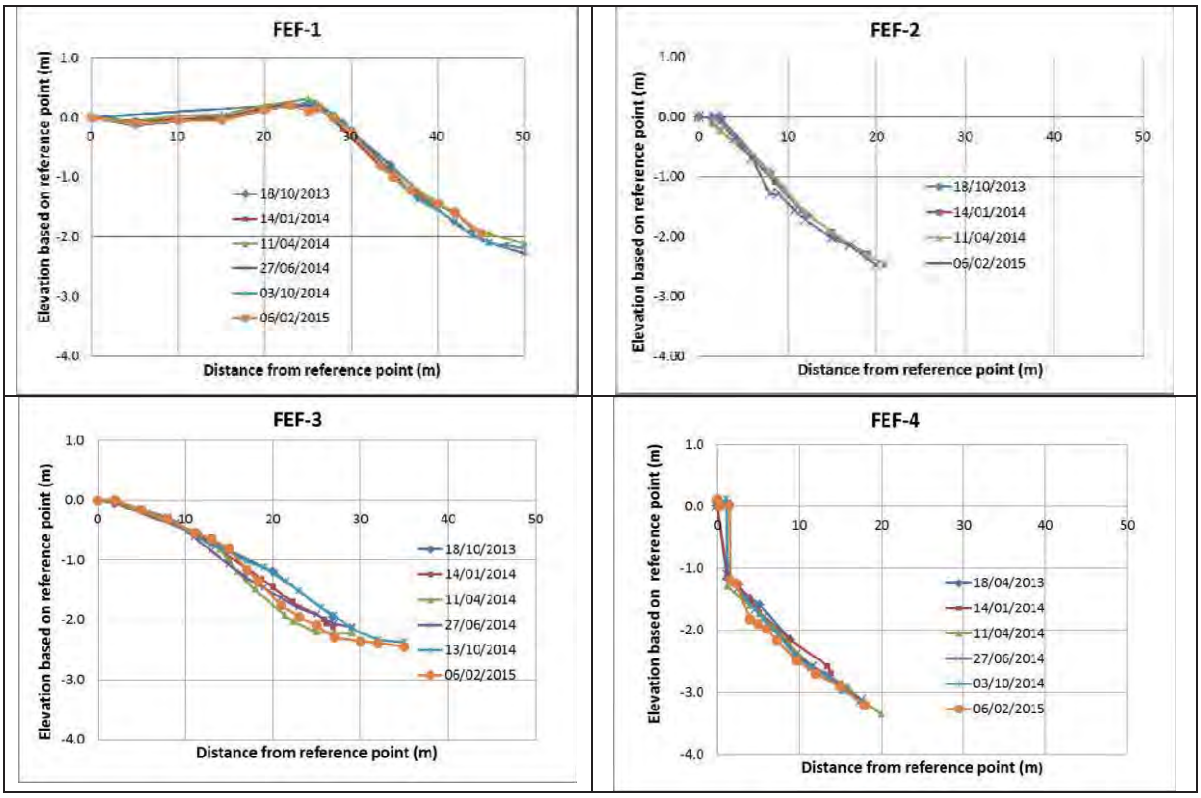
海浜の横断形状変化を定期的に把握するために海浜モニタリングが行われてきた。この海岸では、南から北へ延長4.5kmの間、FEF-1からFEF-11まで11の測線を図 10.3.5に示すように設け、約3か月間隔で測定を行った。

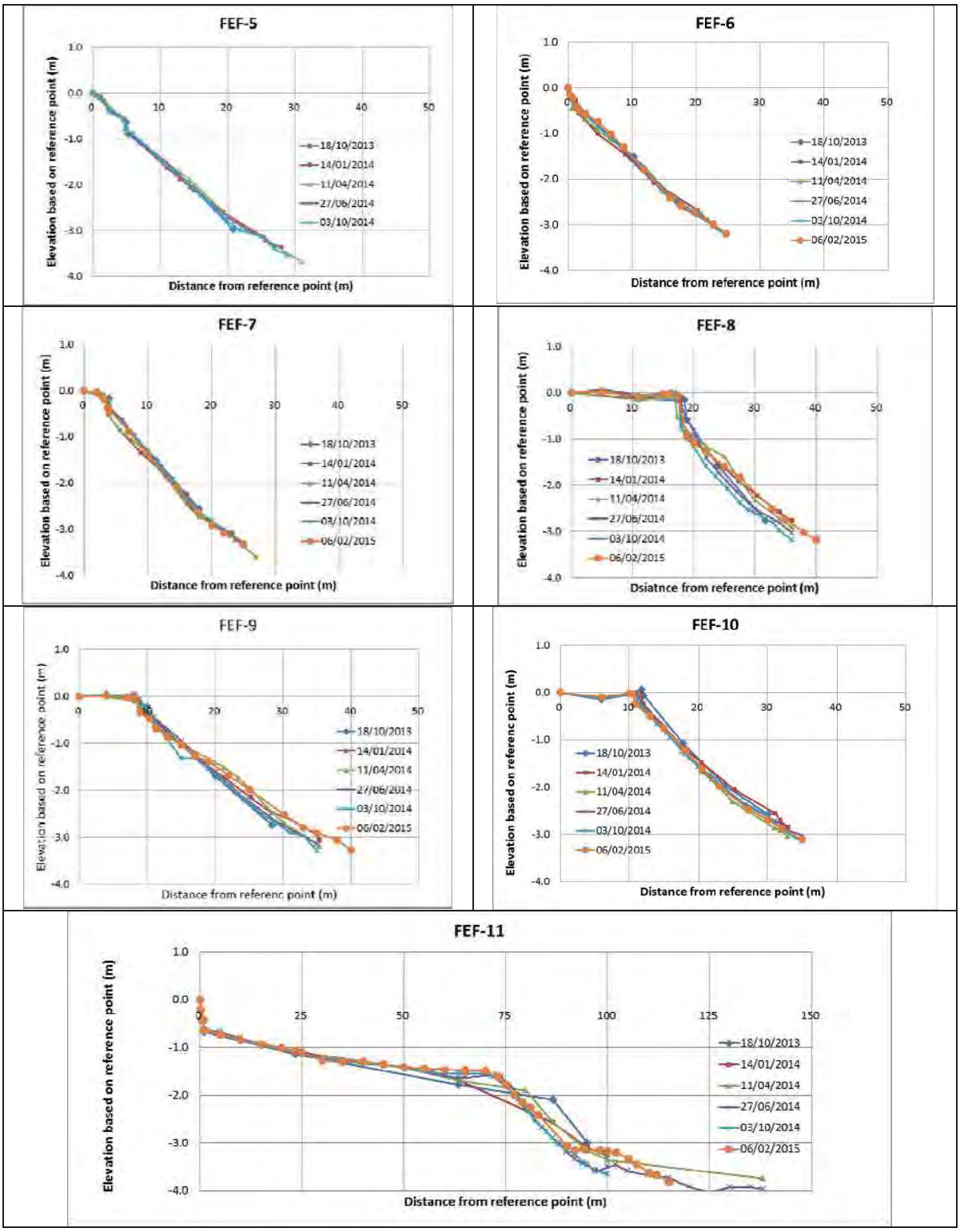
出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 10.3.5 海浜モニタリングの測線配置図

海浜形状について2013年11月から2015年2月までの6回にわたり測量した結果を図10.3.6示す。ここで、測線FEF-1からFEF-3は長期的には安定域、FEF-4からFEF-8は侵食域、FEF-9からFEF-11は堆積域に位置している。堆積域では海浜勾配が緩く、侵食域ではきつくなっている。なお、地盤高は相対的なものであり、絶対高とはなっていない。

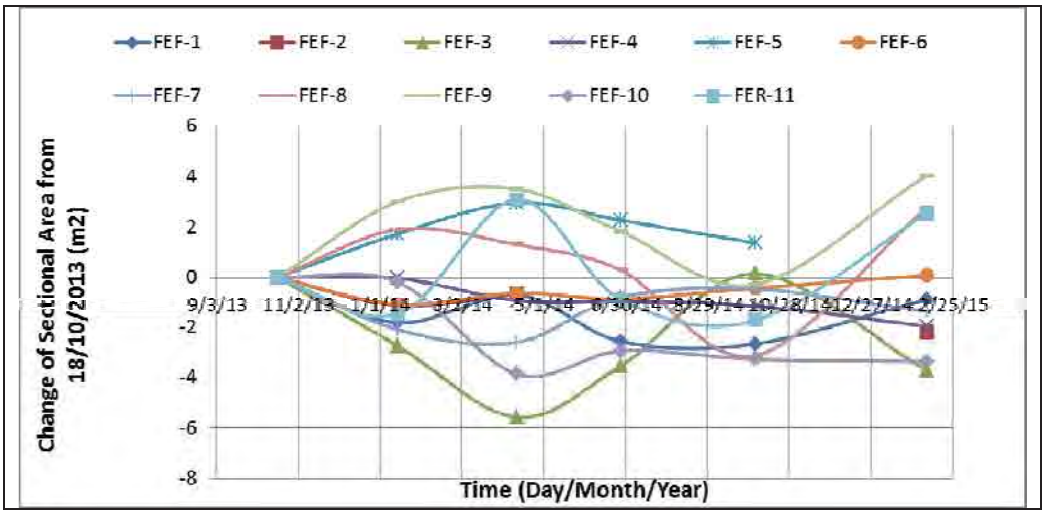
海浜断面積の時系列変化を、2013年10月の断面積を基準として図 10.3.7に示す。ここで、特徴的なのは季節的変化があることと、測線により変化の状況が異なることである。測線FEF-3、FEF-7、FEF-10では2013年10月から2014年5月の間で海浜は侵食を、その後2014年10月までの間では堆積の傾向を示している。一方、その間に位置する測線FEF-5とFEF-8、FEF9では2013年10月から5月の間で堆積を、その後の2014年10月までの間で侵食の傾向を示している。すなわち、沿岸方向に侵食と堆積が交互に生じている。また、航空写真から求めた長期的な安定域では堆積を、侵食域では侵食となる傾向が伺われる。これらは波浪条件の変化と対応していると考えられるが、波浪観測データが無いことから明確ではない。






出典：JICA 調査団

図 10.3.6 Flic en Flac の海浜モニタリング結果




出典：JICA 調査団

図 10.3.7 Flic en Flac の海浜断面積変化

### 10.3.2 漂砂特性

凸型海岸であり、来襲波はサンゴ礁縁端でほぼ直角に入射する特性を有している。このために、海浜流は縁端から岸に向かい、海岸に沿って流れ、両端から流出する。このため、漂砂も同様の傾向を示す。またサンゴ礁内に存在する水道を通した沖への漂砂もある。

すでにBaired（2003）の報告でも述べられているように、サブセルNo.2の侵食は人為的なサンゴの採取、すなわちLime Kilnの原料や建設資材としての採取の影響と考えられる。

図 10.3.9にMOIで測量した海底に地形を示すが、サブセルNo.2の沖、ラグーンの海底の地盤高は-1.5m程度であり、その両側の-0.5m程度よりも深くなっている。また、海底の形状は滑らかになっている。水深が深く流速が遅くなるため、縁端で発生したサンゴ砂は、ラグーン内に堆積し海浜には到達しない。海岸では汀線が凸型のために沿岸流により主に北側に向かう漂砂があるため侵食が生じ、その砂はサブセルNo.1に堆積することになる。

サブセルNo.1での堆積は、ラグーン内、海浜沖でのサンゴの群落の存在も影響していると考えられる。すなわち、群落岸側の汀線形状は凸型になっており、群落の消波効果により砂が堆積しやすいと考えられる。

サンゴ礁に形成される水道を通した沖への砂の損失が想定される。MOIがこの海岸で堆積量を調査した結果によると、表 10.3.1のようになっている。（Assessment of Sand Accumulated at Reef Passes in the Region of Flic en Flac: MOI, 2010）この表でPear Beach沖の堆積は水道出口のリーフ内でサンゴ塊と死んだサンゴであり、他はリーフの外である。

この結果より水道を通した沖への漂砂損失は、サンゴ礁内の漂砂量に比較して少ないと想定される。すなわち、サブセルNo.1の45年間の堆積量6万$m^3$に対し、水道沖の堆積は、これより長い期間で堆積したと想定されるにもかかわらず、最大で1万$m^3$強であり、20%程度である。

表 10.3.1 サンゴ礁水道の砂の堆積状況

| 位置 | 堆積量 | 水深 | 底質 |
|---|---|---|---|
| Pear Beach 沖、水道出口礁原 | 2,760m³ | 3m | 粗砂と細砂の混合 |
| La Pirogue 沖、水道沖 200m | 12,240 m³ | 14m~17.5m | 細砂 |
| Sofitel 沖、水道沖 150m | 5,000 m³ | 13m | 粗砂と細砂の混合 |

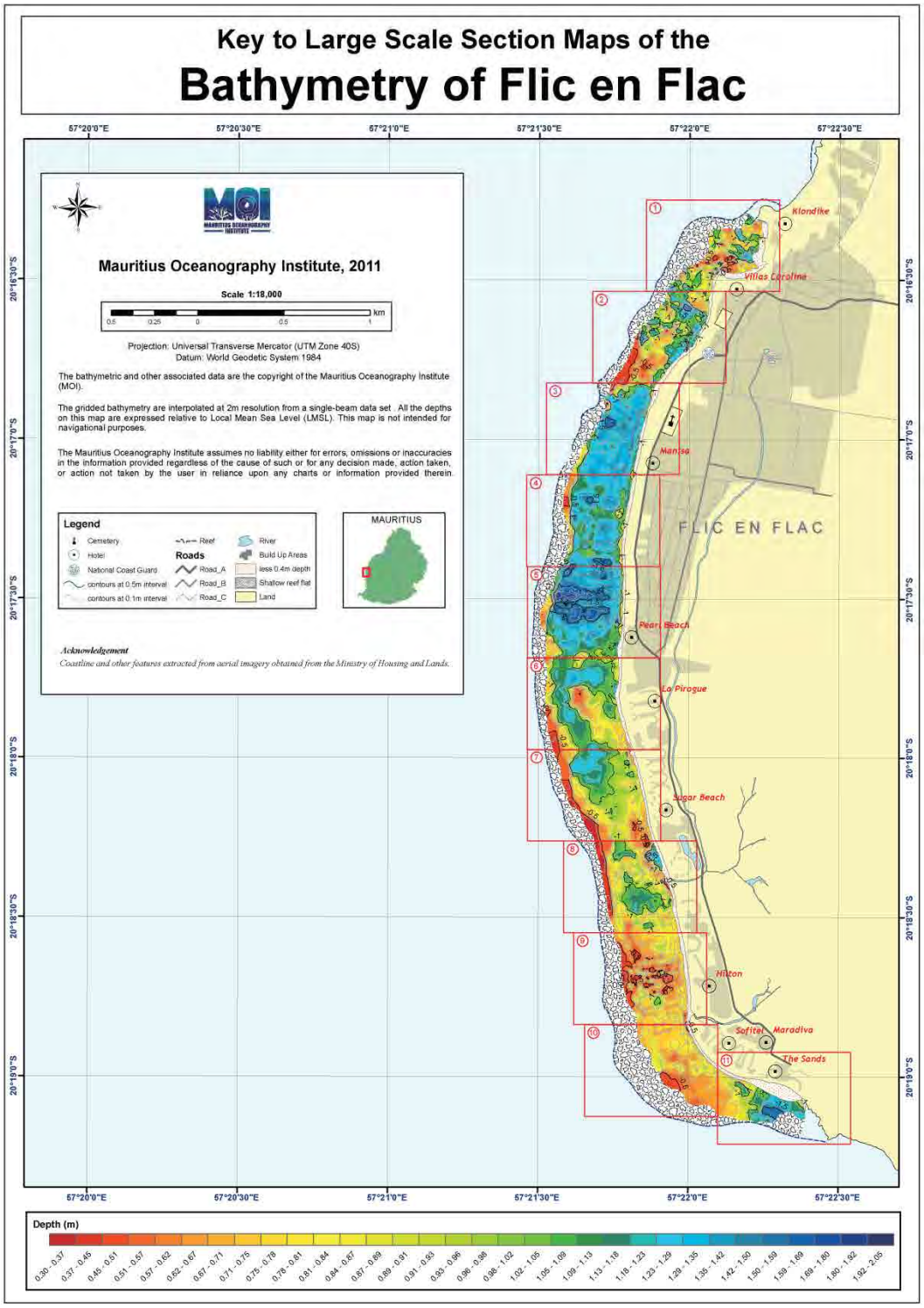
南側のサブセルNo.3とNo.4では、沖からのサンゴ砂の供給があり、量は少ないながらも堆積の傾向を示す。また南端のサブセルNo.5では、No.4 からの沿岸方向漂砂によると考えられる堆積を最近は示している。

短期的な変化に関しては、MOIによる報告によると次のようになっている。（Bissessur, D. and O. Pasnin: Preliminary Report on the State of the Public Beaches of Flic en Flac and Mont-Choisy after Cyclone Event Giovanna, MOI, 2012）

2012年2月に来襲したサイクロンGiovannaにより、生じた海浜変形に関して測量が行われた。2011年10月と2012年2月から3月の海浜断面の変化として、サブセルNo.1に位置する測線では3m$^2$の堆積、サブセルNo.2に位置する2測線では4.5 m$^2$と3 m$^2$の侵食となっている。また、中間の測線では変化がないとしている。2013年1月のサイクロンでもサブセルNo.2に位置する地点で高さ1m以上の浜崖が生じた。（図 10.3.8を参照）

出典：JICA 調査団

図 10.3.8 Flic en Flac における 2013 年 1 月サイクロンにより生じた浜崖(図 10.2.1地点 C)




出典：MOI

図 10.3.9 Flic en Flac における深浅図

## 10.4 海岸保全計画

### 10.4.1 海岸保全の課題

海岸全体としては堆積の傾向を示すが、主に過去のサンゴ採取に起因する侵食が海浜公園の前で生じている。もし構造物が動的変動域に作られれば、海岸侵食をもたらす。また、ラグーン内のサンゴや海草は海浜の安定に寄与している。それ故、サンゴや海草

の保全が必要であり、またその劣化を防ぐために、航行活動や引網を規制することが求められる。また、海浜の安定のためにはその維持管理が重要である。

沖からの波により発生した流れが凸型のリーフに沿っているために、中央付近から北または南に砂が移動し、中央付近の侵食が生じているが、全体としては堆積海岸である。ただ、中央付近では人為的な影響か、ラグーンの水深が深くなっており、縁端からのサンゴ砂の供給があってもそれが海浜に到達せず、侵食に傾向を示している。特に、高波浪が来襲すると浜崖ができ易く、海浜の利用に問題が生じている。過去、1994年のサイクロンにより侵食が生じたことから、蛇籠が設置されたが、Bairdの提言により2008年に撤去された。これはPearl Beachホテルの直立壁の撤去とHWMからのセットバックに続いてい実施された。しかし、現在でもサイクロンや暴風時にはHWMより陸側で浜崖が生じ、海浜の整形が実施されてきた。しかし、浜崖の発生に迅速に対応する日常的な管理は、海浜の整形業者は実施していない。

海浜では堆積が生じているVillas Carolineに隣接して魚揚場がある。ここでは車が直接の海へアクセスしている。また、観光船の運航者が、四輪駆動車を使用して、この場所に船を係留している。これらの活動は長期的には海浜の砂を締固め、豪雨時の海浜砂の浸透性の低減し、海浜の浜崖形成と砂の損失を導くであろう。現在は斜路や駐車場が無いことから、多くの四輪駆動車が海浜に毎日駐車している。加えて、トレーラーも浜に残されている。車両が海にアクセスする道は締め固められ、豪雨時には道に沿って深い溝が形成されている。車両が浜を利用するため、草やつる草、また他の植生がこの浜では生育していない。

日常的にサンゴが集められ、そのサンゴは駐車場を均すために袋に入れられている。MOESDDBMが実施した調査期間では海浜の変動域から年間400m$^3$のサンゴが集められていると推定される。ここでは、侵食域で年間400~10,000m$^3$が補充されてきたことを指摘すべきである。それ故、海浜の砂の供給源であり、集められたサンゴは海浜の変動域で浜崖を埋めることにより、海浜へ補充するために必要な量はかなり減少するであろう。

日常の海浜維持管理として、砂丘では落ち葉やごみが熊手で集められ、捨てられている。プラスチック、紙、紙箱、その他は集めて捨てる必要がある。しかし、落ち葉や海草は有機的な生分解性のものであり、海浜や海の有機物にとって必要な食料源である。これらの重要な食料源を食物連鎖から取り除くことは海岸の生態系と海浜の健康に影響を与える。

2008年にPearl Beachホテルは直立壁を除去し、HWMからセットバックすることとした。しかし、Pearl Beachホテルに隣接するGold BeachホテルはHWMから15mの同じセットバックを保持していたため、時間の経過によりGold Beachホテルの前では海浜幅が減少し、海浜の変動域にある擁壁は、海浜の動的変化に支障を与えるであろう。

長期的には、漂砂の供給源と消波機能を有するサンゴの劣化が想定され、その対策が求められる。

### 10.4.2 短期対策

当海岸は、海浜公園やホテルが位置する重要な観光地であり、自然の特性を保持する方針とする。一部の海岸での侵食及び波浪条件の変化による浜崖の発生等の問題が生じており、対策としては、表 10.4.1のように堆積域から侵食域への砂の移動、すなわちサンドバイパス、海浜の侵食及び変動を許容するセットバック、構造物による対応等の案がある。砂の堆積域が明確で採取が容易であること、自然の状態を維持できることからサンドバイパスが最も適していると考えられる。構造物による対策は侵食を助長する問

題があり、適切ではない。一時的な浜崖の発生が波の条件によっては生じるが、これには海浜整形で対応する。

サンドバイパスの量、期間、場所等については、侵食・堆積量を見積もると年間2,000m$^3$程度であり、この量を毎年または5年毎にバイパスすれば良いと考えられる。また、その効果と影響を継続的にモニタリングする。なお実施機関としては侵食域が公共海浜公園に位置していることから海浜庁が適切と考えらえる。

サンゴの状況は被度が1~30%の範囲にあり、劣化の傾向を見せていることから、その保全計画を策定し、実施する必要がある。この実施機関ついては、MoFとMOIが想定される。

表 10.4.1 Flic en Flacにおける対策案の比較

| 対策案 | サンドバイパス案 | セットバック案 | 構造物による対策案 |
|---|---|---|---|
| 概要 | 沿岸漂砂で運ばれた砂が北端で部分的に堆積しており、それを活用する案である。海岸全体としては堆積傾向にあり、部分的な侵食に対するものである。砂浜は貴重な観光資源であり、その状態を保つことが求められることから、堆積量が減少した場合には、別の場所から砂を持ってくる養浜への転換も考えられる。 | セットバックは、侵食箇所のセットバックにより沿岸漂砂の減少が期待できれば可能な案であり、また、長期的に全体としての侵食が進むようであればこの案を検討する必要がある。 | 突堤等により沿岸漂砂の移動量を減少させ、海浜の安定等図る案である。また、人工リーフの活用も考えられるが、その際には十分な現在の現象の理解、各種対策案の効果と影響の評価、その実証等多くの課題を有しており、直ちに適用可能な案とは言えない。 |
| 長所 | 北側の著しい堆積域の砂を侵食域にサンドリサイクルすることにより、砂浜の回復が期待できる。また、堆積域と侵食域が隣接していること、双方が公共海浜公園であることから、サンドリサイクルを実施しやすい。 | 侵食域が公共海浜公園であるため、背後のスペースに余裕があれば有効な対策である。 | 構造物の建設により侵食域での改善に即効性がある。 |
| 短所 | 定期かつ継続的な工事が必要となる。 | 「モ」国西部の最大の公共海浜公園であり、週末には多くの住民や観光客で賑わっており、セットバックによる背後地の減少による利用面への影響がある。 | 突堤設置後に下手側で汀線後退を促進させる可能性があるため、広域における十分な調査・解析が必要である。 |
| まとめ | 自然の海浜を維持するサンドバイパスを推薦する。 | | |

出典：JICA 調査団

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 10.4.1 Flic en Flac における保全対策配置図

サンドリサイクルの量については、平均的に5年間の移動量である10,000m$^3$とし、結果をモニタリングしながら調整する。方法としては、現在すでに実施している方法による。

### 10.4.3 長期対策

サンゴの被度は1%から30%であり、劣化の傾向を示していることから、サンゴ礁の環境保全計画を策定し、環境条件を改善する必要がある。サンゴは漂砂の供給源であり、長期的に対策が求められる。特に、侵食域前面の水深が深い範囲でのサンゴの移植による地形の回復が求められる。このためには、サンゴ、海草、水質の実態把握のためのモニタリングとその解析をまず実施する必要がある。

この礁湖内ではサンゴ分布域は減少し、主として礁湖の南半分で海草藻場の増加がみられる。水質は概ね良好であるが、後背地に人口密集域やサトウキビ畑が広がるため、生活排水、肥料への対策が必要である。サンゴの分布域は礁湖の北側にあり、徐々に増加しているが、この海域の保全・保護が必要である。また、南の一部にもサンゴが生き残っている海域があり、この海域についても保全・保護の対策必要である。サンゴの少ない中央部のバックリーフで、MOIとMOESDDBMによる移植実験がなされている。移植されたサンゴの多くが生き残り、移植が可能なため、隣接海域への展開を図ることが出来よう。しかし、ラグーン内は航行活動や地引網漁からの影響に対して保護すべきである。サンゴの移植区域は、漁業や航行の非活動域として宣言すべきである。漁業や機械化された航行活動はラグーンの外側で実施すべきである。

地引網に関しては、漁業省からの情報によると、本島周辺で全体14の認可がなされており、Flic en Flacはその一つである。もしラグーンのサンゴを復元すべきであれば、破壊的漁業活動をラグーン内では禁止することは不可欠である。地引網は段階的に廃止すべきである。現在、買戻し政策が存在し、これによれば認可を変換することに対し政府が漁民に補償金を与えることが出来るようになっている。

地引網に従事している漁民に対して仕事の機会を作り出し、効果的な海洋保護区域の効果的な管理のためには、管理と保護に対する責任を有し、保護区での強制力を有する海洋保護（MPA）局を樹立することが出来よう。規則はMOFやMOESDDBMが策定し、それによりMPA局により施行されよう。

代替案として、MPAの監視員として、地引網をしている漁民を新たに会員にできるNGOに保護区域の管理を任せることである。例えば、MWFのように改革され、Ile aux Aigrettesを良好に管理しているような例がある。同じ原則をMPAの管理に適用できよう。

他の選択は、現在地引網漁に従事している漁民に対して、代わりの生活の糧を得るための訓練を準備することである。

水質に関する当海岸における早急な取り組み（短期的対策）としては、富栄養化状態を詳細に把握するための分析精度の高い水質モニタリング調査を実施するとともに、背後の民家、Villa、ホテル等からの排水による影響について調査をする必要がある。

これら水質モニタリングの結果を受けて、必要であれば中長期対策として、例えば下水処理施設の改善などの効率の高い浄化システムへの転換を推進する。

魚揚場の海浜管理に関しては、魚揚場とKlondikeホテルの間に位置する海浜公園から海への適切な車両のアクセスのため船揚場を建設することが出来よう。浜は岩礁でボートのアクセスのため深い場所が近くで見出すことが出来る。船揚場の建設による周辺海浜への影響は少ないであろう。加えて、車両はすでに海浜に建設されている駐車場を使用することが出来る。魚揚場の海浜は適切に植物を植え、乗り物のアクセスを禁止することが出来よう。

## 10.5 維持管理計画

### 10.5.1 維持管理の課題

ホテルに挟まれた未開発の区域では大量のごみが堆積し、また海岸草が繁茂し、海岸の景観や利用に支障を来している。

ホテルのフェンスの前面に殆ど砂浜が存在しない箇所が存在する。当海岸では、Gold Beach HotelおよびHilton Hotelが該当し、Gold Beach Hotelは2004年にオープンしたが、その当時に所有したオーナは既存施設を購入し、そのときには直立護岸が存在したとのことであった。護岸は1970年～80年代に建設されたものと推測されている。

ホテルに挟まれた未開発区域の前に堆積したごみと繁茂した草

浜幅の狭いホテル前面の海岸

公共海浜公園への車両乗り入れ

出典：JICA 調査団

図 10.5.1 Flic en Flac の海岸状況

### 10.5.2 維持管理

ごみについては、その土地の管理者が処理するよう働きかける必要がある。また、構造物の建設に関しては、状況を調査し対応する必要がある。

### a. Hotel Hilton

当海岸のHilton Hotelの前面には護岸のようなコンクリート製のデッキが存在する。この構造物は、2000年までの航空写真では確認できず、2004年の衛星写真で確認することができた。2004年のHWLのラインから15mおよび30mのセットバックラインを衛星写真上に追加する。これより、この構造物は、HWLおよび当時の15mセットバックラインの間の区域に位置することが確認できる。（図 10.5.2を参照）

この構造物は、2004年以前に制定されている15mセットバックの規制に反して建設された可能性がある。今後、この構造物が沿岸漂砂の連続性の阻止に起因する可能性があるため、関係機関とホテルと協議し、施設の撤去または移設などを計画的に行う必要がある。

出典：JICA 調査団

図 10.5.2 ホテル施設とセットバックラインとの位置関係の確認（Flic en Flac-1）

### b. Pearl Beach Hotel

当海岸のPearl Beach Hotelの前面には、前述のHilton Hotelと同様に護岸のようなコンクリート製のデッキが存在する。この構造物は、2000年までの航空写真では確認できず、2003年の衛星写真で確認することができた。2003年のHWLのラインから15mおよび30mのセットバックラインを衛星写真上に追加する。これより、この構造物は、HWLおよび当時の15mセットバックラインの間の区域に位置することが確認できる。また、この護岸構造物以外に、ホテル内の建物やプールの一部もこの区域内に存在する。（図 10.5.3を参照）

これらの構造物や施設は、2004年以前に制定されている15mセットバックの規制に反して建設された可能性がある。今後、これらが沿岸漂砂の連続性の阻止に起因する可能性があるため、関係機関とホテルと協議し、施設の撤去または移設などを計画的に行う必要がある。

出典：JICA 調査団

図 10.5.3 ホテル施設とセットバックラインとの位置関係の確認（Flic en Flac-2）

**c.　海岸清掃に関する課題**

- リーフレットなどを用いた借地者への海岸清掃に対する意識の高揚
- 地方行政による定期的な視察・指導
- 新たな海岸清掃体制の確立と適切な海岸清掃の実施義務に関する借地契約書への明記

**d.　公共海浜公園内への車両進入に関する課題**

- モーリシャス全国での段階的な駐車場の整備
- 標識や案内板の設置、低木や花木の配置による海岸域と駐車スペースの境界の明確化

**e.　海岸上の植栽に関する課題**

- 海岸植栽に関する適切な配置および構成
- 樹種の適切な選定（可能な限り在来種の選定）

**f.　養浜工における維持管理面に関する課題**

- 適切な前浜勾配および後浜高の設定
- 適切な砂の粒径の設定（既存の海岸の砂と同等または大きい粒径）
- 適切な頻度による縦断測量モニタリングおよび解析の実施

**g.　浜崖形成に関する課題**

- 関係機関連携によるモニタリング体制の強化
- 海岸域での植栽に関する適切な管理

### 10.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の長期的侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量に海面上昇による侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）+ 海面上昇により侵食量となる。

海面上昇に伴う侵食の機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

期間を50年、長期的海岸侵食量をこの海岸の0.3m/年、一時的侵食量としてサイクロンCarolによる最大値13mを採用すると、以下のように必要なセットバック量は30mとなる。(Vol.1 Ch.2参照)　これは設定されている現在のセットバック量30mと同じである。したがって、海浜のモニタリングを継続し、必要に応じてセットバック量を改正することが求められる。

セットバック量=0.3*50+13+2=30m

# Chapter 11

*Albion （海浜）*

# 11 Albion（海浜）

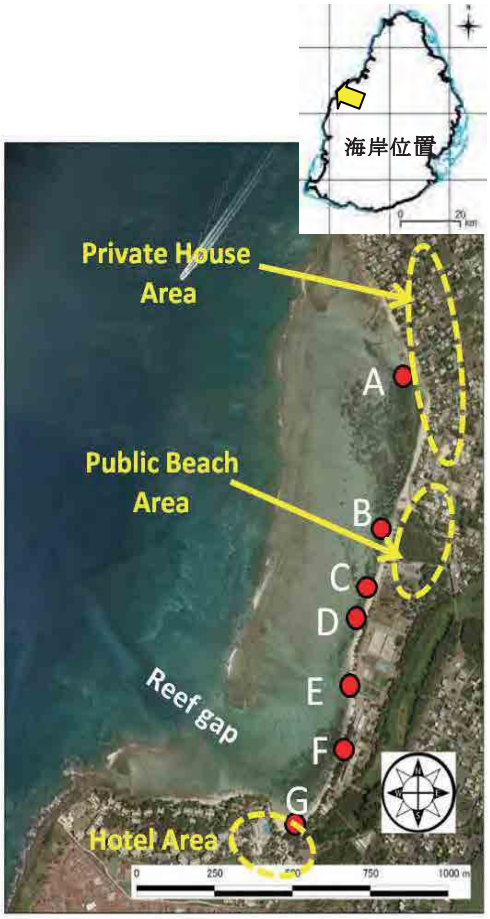
## 11.1 概要

当海岸の中央部に、約300mの公共海浜公園が位置し、その北側は住宅地、南側は研究所が存在する。研究所の南に河口、さらに南にはホテルが存在する。約1.5kmの岬に挟まれた海岸空間に住宅地、公共海浜公園、公共施設、河川、ホテル、湿地等が存在する。

## 11.2 現況把握

### 11.2.1 海象特性

海浜はモーリシャス本島の西に位置し、西からの波を受ける。主要な波は12月から3月のサイクロンによる北西からの波である。波はリーフによる屈折及び砕波により、海浜へはほぼ直角に減衰して到達する。大潮時の潮位範囲はポートルイスの観測から0.5mと推定される。なお、ラグーン内の水位は、潮位に加え高潮と波によるセットアップを考慮しなければならない。




出典：JICA 調査団

図 11.2.1 Albion の海岸地形

### 11.2.2 海岸状況

海岸は、北端および南端が海食崖に囲まれ、約1.5kmの海岸線を有するサンゴ礁海岸である。リーフ幅は300～400mであり、海岸南側にはリーフギャップが存在する。リーフ上にはリーフギャップに向かう北から南への強い流れが存在する。

当海岸は大きく、①北側エリアにおける個人の住宅・別荘エリア、②中央エリアにおける公共海浜公園エリア、および③南部のホテルエリア、の3つの海岸エリアに分けられる。中央部の公共海浜公園エリアと南側エリアのホテルエリアとの間には、Albion水産研究所（AFRC）がある。またこの南側エリアのホテルエリア背後には小規模な湿地が存在する。通常時はこの湿地は海岸の堆砂により閉鎖されているが、年に1～2度程度の大量の出水時には、前面の堆砂はフラッシュされ、淡水がラグーン上に流れ込む。

図 11.2.1に示す各位置から撮影された海岸状況写真（2013年1月撮影）を図 11.2.2と図 11.2.3に示す。これにより、当海岸の現況の海岸状況について以下に示す。

地点A（北側）

地点A（南側）

地点B

地点C（北放水路）

地点C（北放水路）とD（南放水路）の中間地点

出典：JICA 調査団

図 11.2.2 Albion の海岸状況（2013 年 1 月撮影）

地点Aは、当海岸の北側の住宅・別荘エリアの海岸状況を示す。地点A北側では前面に砂浜がなく、護岸や突堤が建設されている。以前は砂浜が存在していたことが、ヒアリング結果および過去の空中写真より確認される。また、これらの護岸・突堤は、1975年～91年の間に建設された。

地点D（南放水路の北側）

地点D（南取水口の南側）

地点E

地点F

地点G（背後の湿地）

地点G（湿地前面の海岸）

出典：JICA 調査団

図 11.2.3 Albion の海岸状況（2013 年 1 月撮影）

地点Bは、海岸中央付近の公共海浜公園エリアの海岸状況を示す。1:8.5の前浜勾配を持つ砂浜海岸が存在する。現地踏査時には特に浜崖も見られず、安定している様子が見られた。

地点Cは水産研究所の2つの放水路（北放水路、南放水路）のうち、北放水路から北側の海岸状況である。この放水路までの海岸状況は、特に侵食傾向が見られない。なお、この水産研究所は1980年代に建設され、放水路も同時期に建設された。

この北放水路の南側から海岸状況は悪化し、写真に示すような顕著な浜崖が見られるようになる。浜崖の高さは南に行くにしたがって徐々に高くなり、地点Dの南放水路の北

側付近で1.5m程度となる。地点D付近では、汀線後退により、水産研究所敷地内の埋設管が既に露出し、緊急対策が必要となっている。ヒアリング結果より当地点での侵食傾向は、ここ数年顕著に見られるとの情報が得られている。

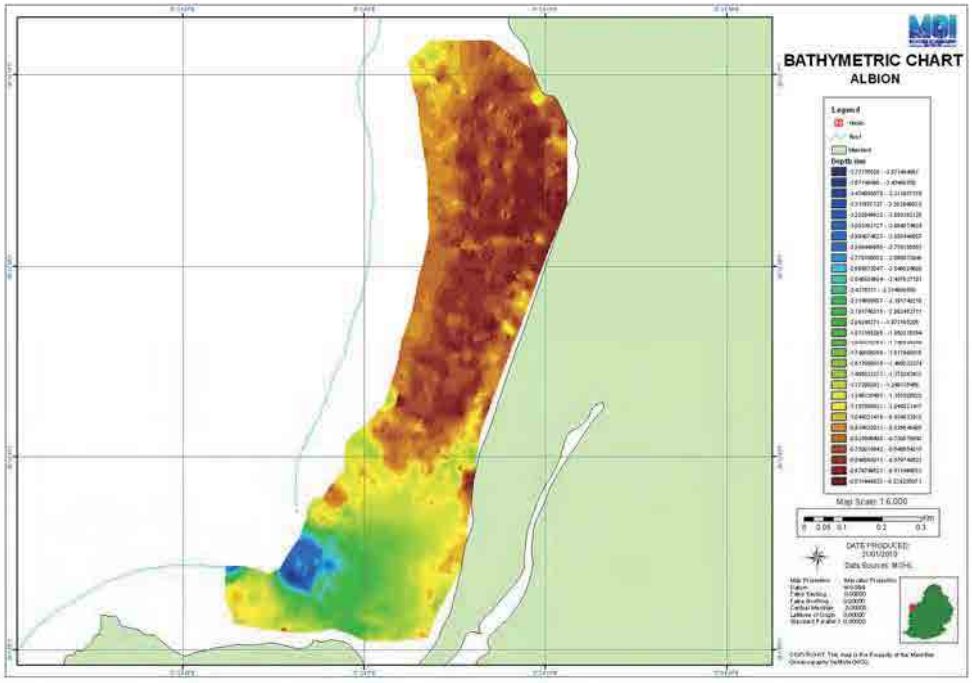
地点Dから南側に行くにしたがって浜崖は徐々に小さくなり、地点E付近では完全に消滅し、緩勾配の砂浜が広がる。

地点Fは、リーフギャップの岸側付近であるが、リーフギャップの存在による局所的な海岸変化は見られない。なおこのエリアには、1997年以降に建設されたホテルが存在する。

南端の地点G背後には湿地が存在する。前述のように、通常は海岸での漂砂により、河口部は閉塞されているが、大量の出水が生じる時には、この砂はフラッシュされ、淡水がラグーン上に放出される。ヒアリング結果から、近年フラッシュされる回数が増している傾向があるとのことであった。

海浜の底質は中央粒径が約1㎜と他の海浜に比較すると粗く、これはリーフの幅が約400mと狭いことによると考えられる。

ラグーン内の深浅図をMOIより提供を受けたので、図 11.2.4に示す。茶色は地盤高 - 1.0mで、中央から北は浅いことを示し、南側の水路付近でも地盤高は - 2.0m(青色)である。




出典：MOI

図 11.2.4 Albion におけるラグーンの深浅図

### 11.2.3 リーフ環境

基礎調査によるサンゴ被度調査結果によると、サンゴ被度は、2～33%の範囲にあり、海岸近くで低くなる傾向にある。また、AFRCによるモニタリング結果によると、2000年から2010年にかけてリーフエッジ周辺のサンゴ被度は60～0%まで減少している。

図 11.2.5に示すように、塊状およびコリンボース状を中心に2%で、稚サンゴの密度も0.1/ $m^2$と低い。1998年にはこの周辺は枝状ミドリイシが優占し、被度も70%近くであったが、完全に消失した。また、バックリーフでは、ハマサンゴを中心に被度が33%、稚サンゴの加入はみられない。透視度は3mほどで、シルト分の堆積も少ない。パッチリーフ、サンゴの遺骸上に*Padina, Surgassum*が少し見られる。礁湖の北側に*Halodule*（一部*Syringodium*）よりなる海草藻場が広がる。藻場のさらに沖合は枝状ミドリイシの遺骸からなるサンゴ礫が広がっている。一部の海域では、ハマサンゴの群体が散在し、被度は5%である。1996年当時の航空写真からは礁湖の中央部に枝サンゴよりなるサンゴのパッチが広がっていたが、現在は全く見られない。また*Halodule*よりなる藻場は18年前と比べ、やや沖合に拡大傾向にあるが、AFRCの岸沿いにあった藻場は縮小した。

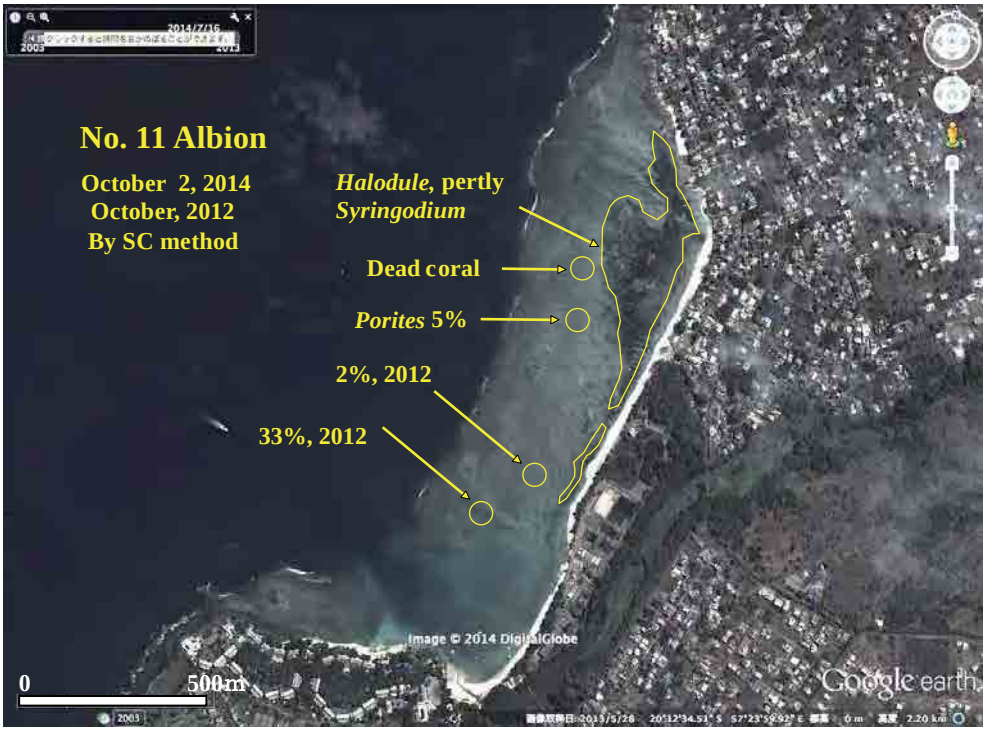
ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表11.2.1に示す。透明度は3m、シルテーションは低い。クロロフィルa、濁度および栄養塩類は、それぞれ、平均で0.51 ug/L、0.95 NTU、0.03 mg/L ($NO_3$)、0.008 mg/L ($PO_4$)であり、サンゴの生息として概ね良好なレベル（サンゴ被度として20～50%の範囲にある水質レベル)にある。AFRCによる水質モニタリング結果によると、大腸菌は2010年に200 MPN/100mlを超える高い濃度が検出されており、家庭排水による水質汚濁が進行している。また、当海岸の南側に流入する小河川の水質は、特に窒素は$NO_3$で<0.005-4.60 mg/Lの範囲にあり、時期によりラグーンに比べ、数十倍以上高い状態で流入する。当海岸は、下水道の未整備地区であり、排水は、主に家庭からの吸収ピット（AP: Absorption Pit）や浄化槽（ST: Septic Tank）を通して流入している。当海岸の富栄養化の要因としては、民家等からの排水および小河川からの汚濁負荷の影響が考えられる。

表 11.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.23-1.50(#) (Ave. 0.51) | | | |
| | Turbidity (NTU) | 0.44-2.30(#) (Ave. 0.95) | | | |
| | $NO_3$-N (mg/L) | <0.01-0.04(#) (Ave. 0.03) | | | |
| | $PO_4$-P (mg/L) | <0.005-0.01(#) (Ave. 0.008) | | | |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | 298 | | | |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Albion VCA<br>SS: NIL, AP: 754,<br>ST: 1303, PL: 55 | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Hotels >75 rooms uses onsite treatment plants.<br>Restaurant uses septic tanks. | | | |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | In pipeline for development, Study stage | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | Yes. River Mouth<br>Lagoon Width: 483 m | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | Yes.<br>Area: 2,907 Ha | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

#： 水質調査は、海岸からリーフエッジまで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団




出典：Google earth を JICA 調査団が加工

図 11.2.5 Albion でのスポットチェック法による調査結果

### 11.2.4 海岸利用

海岸の北側は別荘、中央付近に公共海浜公園、その南にAFRC、ホテルと続いている。南端の河口が位置する前面は船舶の泊地として利用されている。

海岸の特性を取りまとめ、表 11.2.2に示す。

表 11.2.2 Albion(beach)の海岸特性と課題

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 基礎調査番号 | No. 18 (Sediment Cell No.12) | | PB番号 | No. |
| 海岸名称 | Albion(beach) | | | |
| 自然・地形特性 | 海象条件 | 島の西側に位置し、西側からの波浪とサイクロンの影響を受ける。 | | |
| | 地形条件 | ポケットビーチで、前面に400m程度のリーフを有する。リーフ幅はLe Morne, Flic en Flac, Pointe d'Esnyに比べて短い。中央粒径はリーフ内で1mm程度となり、他の海岸に比べて比較的粗い。 | | |
| 環境特性 | サンゴ礁 | サンゴ被度は、2～33%の範囲にあり、海岸近くで低くなる傾向にある。AFRCによるモニタリング結果によると、2000年から2010年にかけてリーフエッジ周辺のサンゴ被度は60～0%まで減少している。 | | |
| | 水質特性 | 透明度は3m、シルテーションは低い。水質は、これまで比較的良好であったが、最近$PO_4$や大腸菌は「モ」国の環境基準を超すような濃度が検出されるようになり、水質汚濁が進行している。水深が非常に浅く、水温上昇に | | |

| | | |
|---|---|---|
| | | よるサンゴの白化現象を受けやすい。 |
| 海岸変形特性 | 災害・構造物 | 小規模な土留めとフェンスが設置されている。浜崖により一部被災している。 |
| | 海岸変形 | 航空写真による地形判読結果によれば、全域が31~49cm/yearの侵食海岸である。公共海浜公園は比較的安定しているが、南側のAFRC前面は侵食、浜崖（1-2m）が2007-2008に発生している。 |
| 海岸利用特性 | 海浜利用 | 公共海浜公園が位置し、その利用があり、AFRCの実験場として利用されている。南端にはホテル（2008年）が建設された。 |
| 課題 | | 当海岸の全域が侵食傾向にあり、研究所前面で著しい浜崖、フェンスの倒壊、パイプラインの損傷など様々な被害が生じており、保全計画の策定に関して緊急性と必要性が高い海岸である。海草の消失、サンゴの悪化も著しい。 |

出典：JICA 調査団

## 11.3 海浜変形と漂砂特性

### 11.3.1 海浜変形

#### a. 汀線変化

汀線の変化を、サブセルに分割して航空写真より検討した範囲と侵食堆積の状況を図11.3.1に示す。長期的変化は、北側のサブセルNo.2及びNo.4で侵食を、No.1とNo.3では安定、No.5では大きな変動を示している。

なお、サブセルNo.1とNo.2では住宅や別荘、No.3では公共海浜公園とAFRC、No.4ではAFRCが位置している。

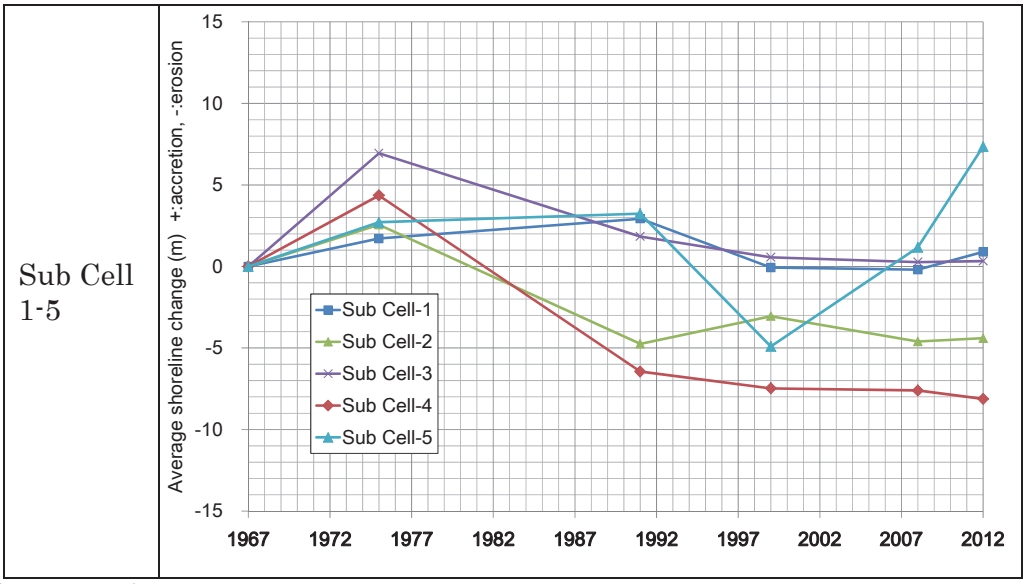
出典：JICA 調査団

図 11.3.1 Albion での海岸侵食状況

各サブセルの汀線の時系列変化を図 11.3.2に示す。最も北に位置するサブセルNo.1は、ほとんど変化せずに安定している。サブセルNo.2からNo.4は、1975年から1991年にかけて侵食を生じているが、No.4が最も大きく10mを超え、その次はNo.2で、次いでNo.3となっている。これらのうち、No.3は1967年から1975年の間に前進していることから、長期

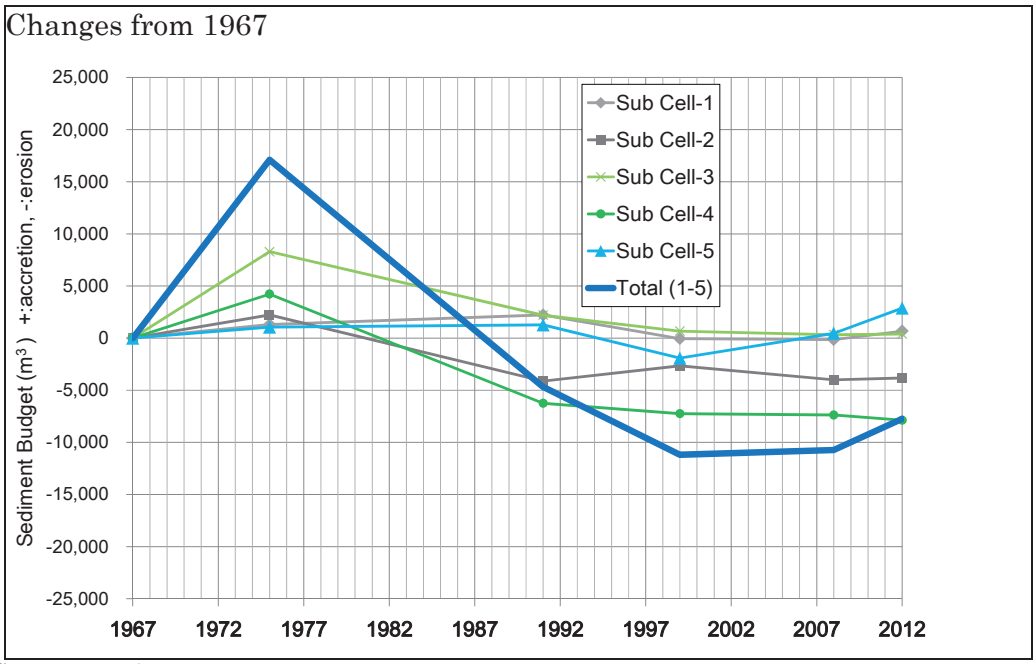
的には侵食とはなっていない。また、1991年以後の侵食はそれほど大きくはない。南のNo.5では、1999年に侵食となっているが、それ以後は大きく堆積しており、他のサブセルと変動特性が異なっている。

土砂収支に関しては、図 11.3.3に示すように1967年から1975年の間に1万5千$m^3$増加し、1975年から1999年の間に2万5千$m^3$以上の侵食で、1999年以後は3千$m^3$の堆積となっている。1967年から2012年までの45年間では約8千$m^3$、年間200 $m^3$の侵食である。




出典：JICA 調査団

図 11.3.2 Albion における汀線の変化




出典：JICA 調査団

図 11.3.3 土砂収支 (Sediment Cell No.12, Sub Cell-1-5)

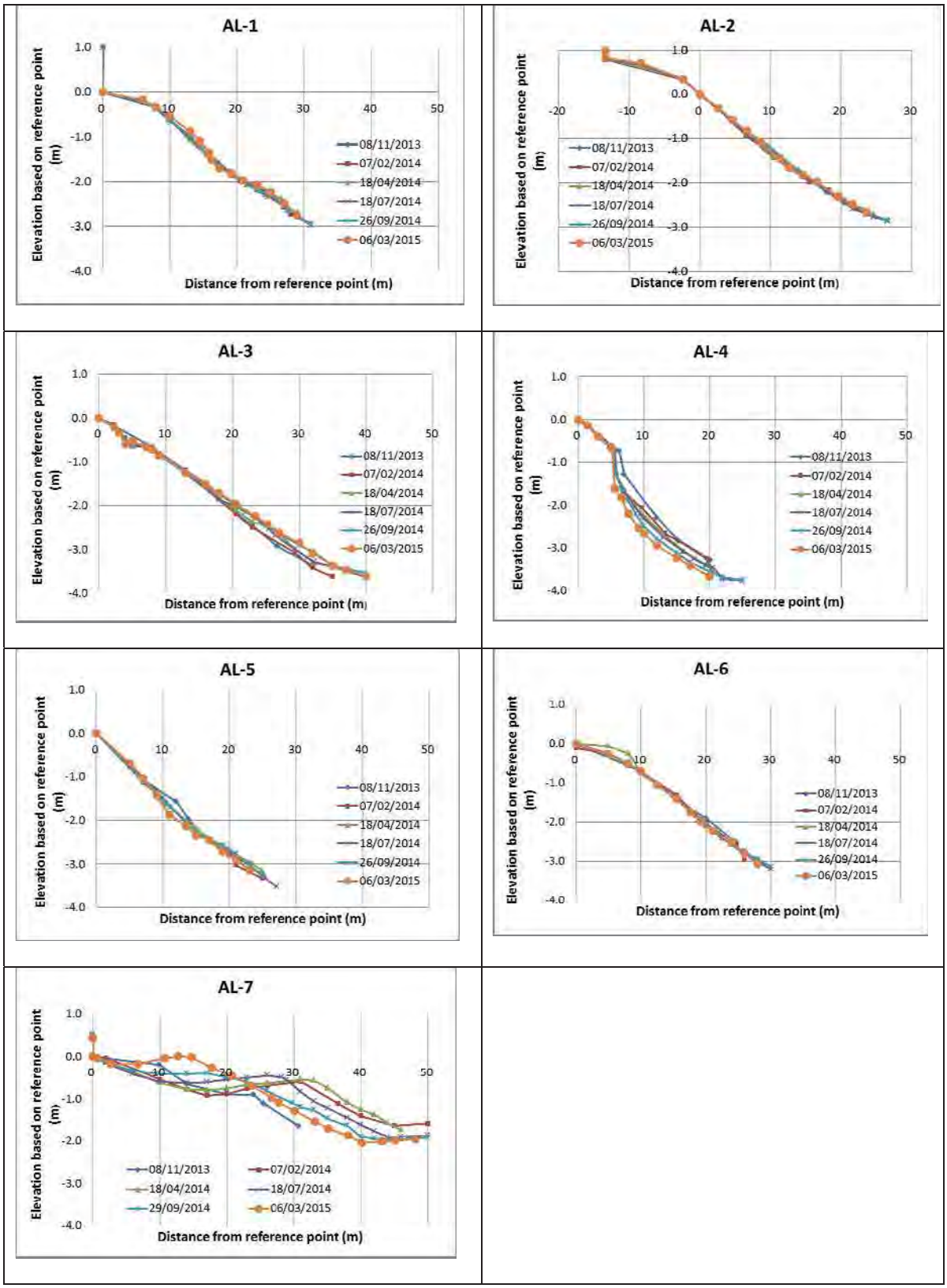
### b. 海浜モニタリング

海浜の横断形状変化を定期的に把握するために海浜モニタリングが行われてきた。この海岸では、南から北へ延長4.5kmの間、AL-1からAl-7まで7の測線を図 11.3.4に示すように設け、約3か月間隔で測定を行った。

出典：MHL の資料を基に JICA 調査団で加工

図 11.3.4 海浜モニタリングの測線配置図

海浜形状について2013年11月から2015年3月までの6回にわたり測量した結果を図 11.3.5示す。ここで、測線AL-1からAL-2は及び長期的には侵食域、AL-3は安定域、AL-4からAl-5は侵食域、AL-6からAL-7は堆積域に位置している。侵食域に位置するAL-4とAL-5では海浜勾配はきつくなっている。地盤高は相対的なものであり、絶対高とはなっていない。

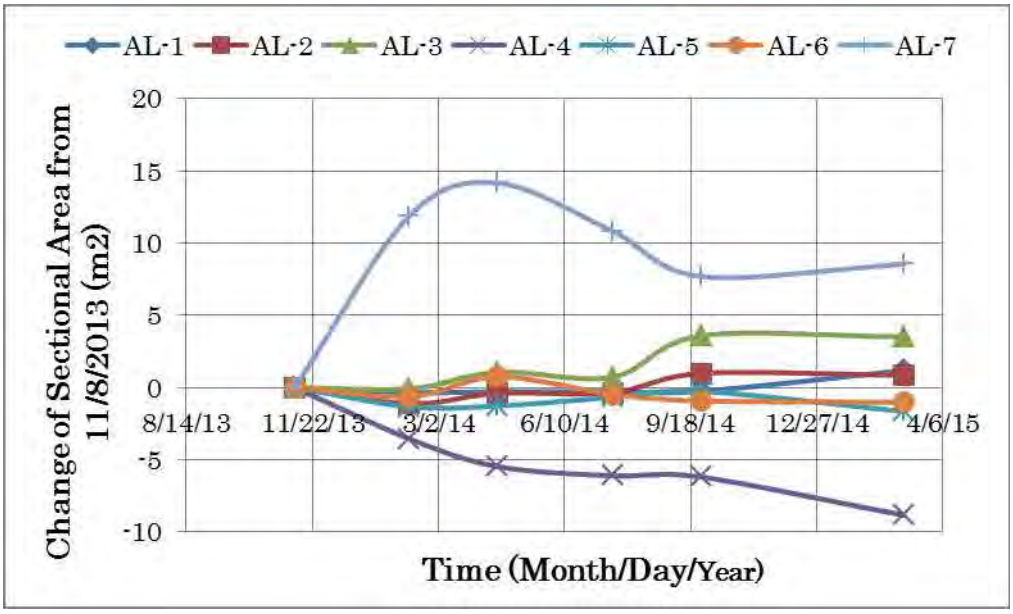



出典：JICA 調査団

図 11.3.5 Albion の海浜モニタリング結果

時系列断面積変化を、2013年10月の横断形状を基準として図 11.3.6に示す。ここで、特徴的なのは長期的変化とモニタリング結果が必ずしも一致しないことである。また、

季節的変化は比較的少ない。すなわち、長期的変化で侵食となっていたAL-1やAL-2の測線では、最近では安定化または堆積に傾向を示している。モニタリングで侵食の傾向を示しているのはAFRCの前に位置するAL-4のみである。また、最も南の河口に位置し変動の大きかったAL-7では長期的変動と同様に、堆積の傾向と大きな変動を示している。



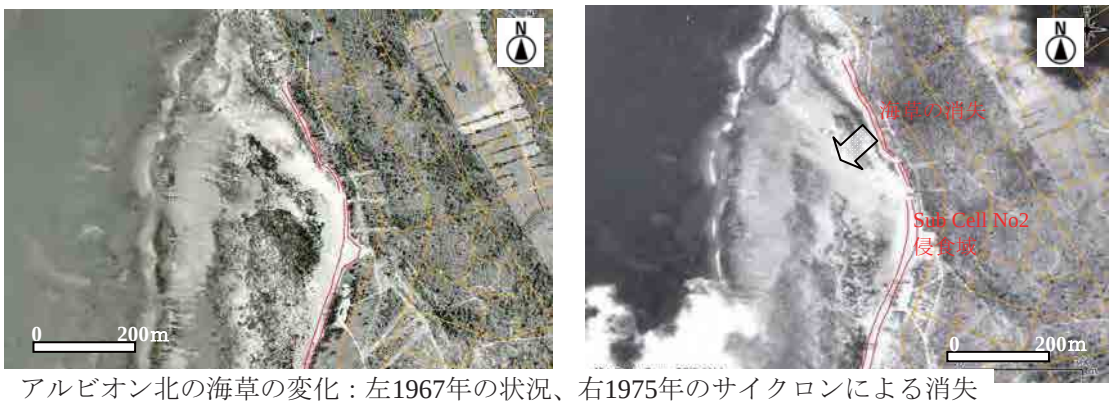

出典：JICA 調査団

図 11.3.6 Albion の海浜断面積変化

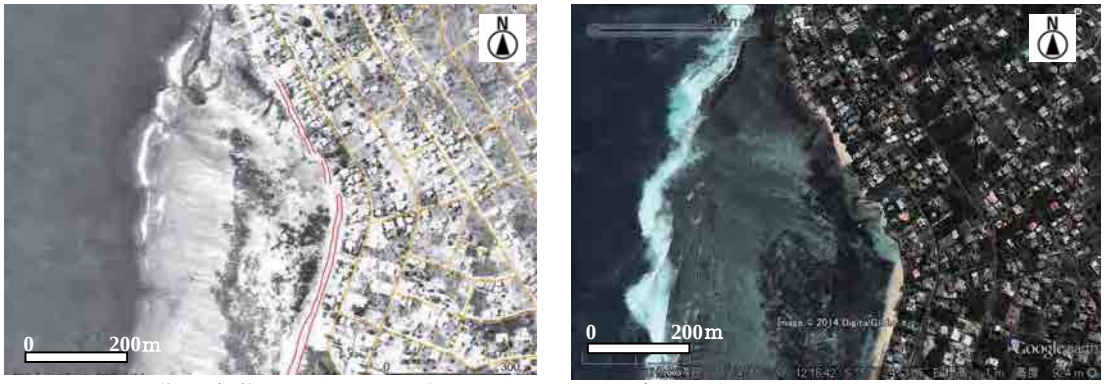
### 11.3.2 漂砂特性

沖にリーフが存在し、海浜砂はサンゴ砂であることから、主要な漂砂供給源は高波浪により砕かれたサンゴであると想定される。大きく侵食の生じた1967年から2008年にかけての北側のサブセルNo.2の海浜前面の状況を見ると、図 11.3.7に示すようになっている。

1967年の航空写真にはラグーン内で、海浜の前面に広い範囲に影が映っており、岸近くは海草、沖側はサンゴと想定される。一方、1975年の航空写真では影の部分が白く変化しており、これは1975年に来襲したサイクロンGervaiseにより砂が海草を覆ったものと考えられる。ここは、サブセルNo.2の侵食域に対応している。前面の海浜を保護していた海草が消失したために、侵食が始まったと思われる。侵食は1991年以後には進んでおらず、1991年の航空写真では、海草は回復している。その後の2013年の衛星写真では海浜前面の海草は連続している。しかし、その幅は南側に比較して狭くなっている。この位置には護岸が設置されており、それが侵食を防止しているが、また反対に砂浜の形成を阻害している可能性も考えられる。現在に、前面に海草があるが、これは最近面積を広げたものである。




アルビオン北の海草の変化：左1967年の状況、右1975年のサイクロンによる消失




アルビオン北の海草の回復状況：左1991年の状況、右2013年の状況

出典：JICA 調査団

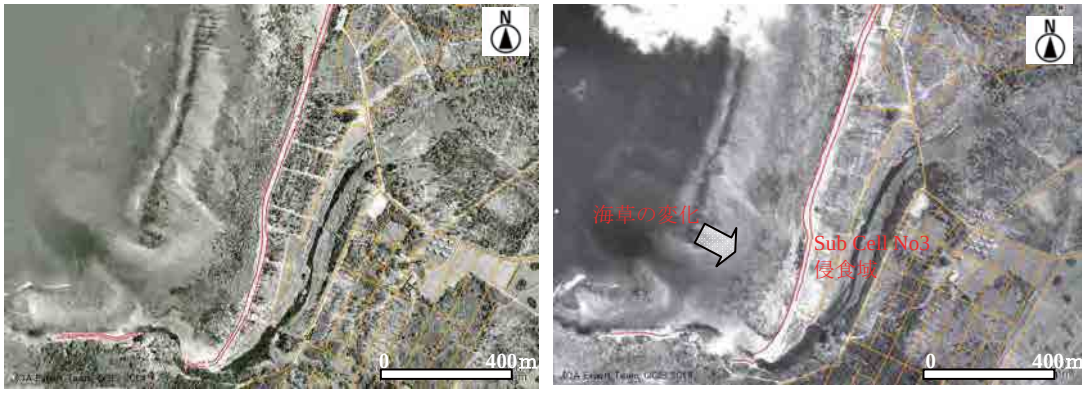
**図 11.3.7 アルビオン北での海草の消失と回復状況**

同じく侵食が生じているサブセルNo.4の前面のラグーンの状況を示したのが図 11.3.8である。1967年の航空写真では海浜の前面に広く海草が存在している。1975年の航空写真では海草は存在するが、減少の傾向を示している。1991年ではこれが完全の消失しており、それが2013年の衛星写真でも明らかなように回復していない。

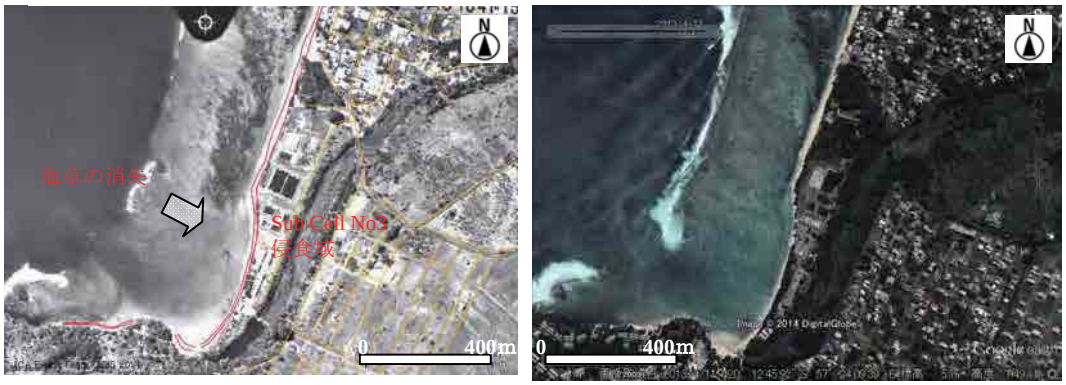
1967年の航空写真では海浜前面に海草があることから、ラグーン内での流れの状況を示す筋目が、海草の前面から方向を変えて南の水道へ向かっている。一方、現在は沖からの流れが海浜前面までおよび、そこで方向を変えて水道へ向かっている。すなわち、1967年には沖から岸に向かう流れは、海草のより遮蔽され、方向を変えて沿岸方向から沖方向に流れている。これが、2013年には岸まで到達して沿岸方向及び沖方向に向かっている。このような海草の消失とそれに伴う流れの変化が砂の移動状況を変えたと考えられる。また、海草の消失は波及び流れが強くなり、漂砂量が増加し、侵食が生じたと推定される。

サブセルNo.2とNo.4の間にあるNo.3では、前面の海草がある程度保持されていたことから、大きな侵食が生じなかったと考えられる。

サンゴ礁の形状から、沖から岸に向かう流れにより、サンゴ砂が岸に向かい、それが海岸に沿って南に流れ、水道を通して沖へ向いているのは確かであると考えられる。ラグーン内のサンゴ及び海草の消長とサイクロンによる影響により変化が生じたものと考えられる。海草の海浜砂の保持機能は大きいものである。また、リーフギャップからの入射波が回折し、海岸に沿う南への漂砂が止められている状況も見られる。




アルビオン南の海草の変化：左1967年の状況、右1975年のサイクロンによる変化




アルビオン南の海草の変化：左1991年の消失、右2013年の状況
出典：JICA 調査団

図 11.3.8 アルビオン南での海草の消失状況

## 11.4 海岸保全計画

### 11.4.1 海岸の問題とその要因

長期的には全体として侵食の傾向を示しており、その原因としては、海浜前面のサンゴと海草、特に海草藻場の消失が想定される。サンゴ礁の規模が沿岸方向には1.5㎞、幅は約300mと規模が小さく、また河川が流入しサンゴ礁発達が良くない。このために、サイクロンや洪水、環境変化の影響を受けやすい。

15年前までは中央部からバックリーフにかけて、ミドリイシ属のエダサンゴの群落がみられたが、ほぼ全滅した。また、北側のHaloduleを中心とした海草藻場は分布域が増加傾向にあるものの、南側の河口に隣接した藻場はほぼ消失した。

1975年のサイクロンGervaiseの高波浪によりラグーン内のサンゴ、海草の一部が消滅し、北側での侵食が始まった。また、南側では、原因は明確でないが河口付近に広く存在していた海草が消失し、侵食が始まった。このために、AFRCの前面で浜崖の発生、フェンスの倒壊、パイプラインの損傷など様々な被害が生じている。

これら、サンゴや海草の消失は、海水温の上昇による白化、サイクロンによる影響、洪水の影響、地引網漁などが想定される。

海岸の侵食は海浜の前面に存在する海草の消失の影響が大きいと考えられる。また、海草は北側では回復の兆しを見せ、消失少ない個所では侵食の程度が大きくない。

### 11.4.2 海岸保全対策

当海岸では住宅地及び研究所を背後に有し、全体として侵食が生じている海岸であり、侵食対策を主体とした保全対策及び漂砂の供給源となる劣化したサンゴの回復と海浜の安定に寄与している海草の回復を図るリーフ保全が必要である。

侵食対策としては、侵食を許容するセットバック、侵食された砂を補給する養浜、北側の住宅地前面の侵食を防止する突堤案が考えられる。これらの案の比較を表 11.4.1に示す。これよりセットバック案を採用する。

保全対策としてのセットバックとしては、一般的に現時点ではその量を30mとしているが、この海岸では長期的な侵食量10m(変化量-0.20m*50年)+変動量13m+海面上昇による侵食量2mを加えると25mとなり現在のセットバックの範囲に入る。ただ、河口部については、河口砂州の変動があることから、モニタリングによる資料の蓄積とセットバック量の妥当性の評価が必要である。

**a.　構造物の建設**

短期的にはさらにリスクを高めないように、セットバック内の施設の建設を防止することが求められる。北側サブセルNo.2の侵食域では護岸が建設されているが、この前面の海草が回復する兆しを見せており、緩傾斜の護岸にするか、撤去することにより海浜の回復を図れる可能性がある。したがって、リーフ内のモニタリングにより海草の消長と海浜の変形の関係を明らかにして対応する。この際、現在の護岸が沿岸漂砂の移動を防いでいる可能性に関しても検討する。

**b.　セットバック**

南側のサブセルNo.3では、ホテル建設の可能性もある。この区域は波とともに洪水による河口砂州の変動が想定されることから、その変動を考慮したセットバックを設定し、リスクを高めないよう管理する。

**c.　サンゴと海草の再生**

長期的にはサンゴ、海草の再生を目標とする。海岸の北側ではリーフが存在し、砂の供給源及び来襲波の減衰が期待できる。また、海岸の安定に寄与する海草が回復する可能性がある。南側は河川が流入し淡水の存在のために、リーフが発達していない。北から波が来襲すると海浜砂は南に移動し、沿岸流及び河川の洪水流により沖へ流出している可能性がある。しかし、この状況については既存の資料では解析することは困難で、まず、モニタリングで検討する必要がある。

サンゴの状況は被度が2～33%の範囲にあり、劣化の傾向を示し、またリーフが浅いために水温上昇による白化の影響を受けやすい。このため、サンゴの保全計画を策定し、実施する必要がある。

現在の水質はサンゴの生育環境としては悪くはない。また現在、試験的なAFRCによる試験的なサンゴ移植が行われている。短期的にはこれらの活動を継続するとともに、モニタリングを実施し、サンゴに影響を与えると考えらえる地引網等の活動を規制する。また、同じ礁湖内にドナーとなるミドリイシ属のエダサンゴの群落がないため、移植には他の礁湖からのドナーが必要である。諸般のことを考慮すると、Pte. d’Esnyなど、ミドリイシ属の一斉産卵期に南東側の礁湖からスリック（受精卵のかたまり）をバケツ等に汲取り、それをAlbionの礁湖内に分散させる方法も有効と考えられる。

水質に関する短期的対策としては、富栄養化状態を詳細に把握するための分析精度の高い水質モニタリング調査を実施するとともに、河川からの汚濁負荷による影響や背後の民家からの排水による影響について調査する必要がある。

長期的には、海水温の上昇によるサンゴの劣化から回復させるよう、サンゴの移植の規模を拡大する。また、富栄養化の影響があれば、河川流域および海岸背後における水処理システムの改善や下水処理場の整備も含めた効率の高い浄化システムへの転換を行う。

海草の移植に関しては、基礎資料が不足していることから、短期的にはモニタリングにより、現在の状況と海浜の変化状況を把握し、海草移植の可能性を検討する。長期的には、その結果を活用して、移植可能な種等を選定し、移植を実施する。

海浜砂はリーフの沖へ流出している可能性があり、堆積域が見いだせれば、それを養浜砂の供給源として活用することが可能であろう。また、河口砂州が洪水により失われているようであれば、それを活用することも考えられる。これには海浜のみならず、河口砂州のモニタリングが数年にわたり必要である。

表 11.4.1 対策案の概要及び比較

| 対策案 | セットバック案 | 養浜案 | 突堤とセットバックの組み合わせ |
|---|---|---|---|
| 概要 | セットバックは計画年、50 年間に侵食される量と、サイクロン等による海浜変動量を加えた量をセットバック量とし、高潮位から岸側のこの範囲には施設建設を規制する案である。すなわち、自然の状況に任せる案である。 | 養浜は、定期的に侵食される量を養浜する案で、人工的に現在の状況を守る。養浜案は養浜砂の供給源が求められ、現在「モ」国では陸上の砂の採取場所が枯渇する状況にあり、新たな供給源を見出す必要がある。 | この案は、海岸線が方向を変えている地点に突堤を建設し、水路に落ち込む砂を補足する案である。これより北側の住宅地、海浜公園の侵食を防止し、研究所の地点では海浜の後退を許容する。南側の研究所が元々海岸及び河川および湿地に挟まれており、地形的に高度の土地利用には適せず、自然環境の保全を図るべき地域と考えられ、この特性を生かした案である。 |
| 長所 | 北の侵食域では海草の回復により堆積が期待できる。南の侵食域では研究所の敷地に比較的に余裕があり、セットバックが可能と考えられる。また、セットバックを実施することにより、海岸に構造物がない自然の景観を保持することが可能である。 | 現在よりも浜幅が広がり、かつ汀線変化量が平均で 0.2m/年程度であることから、一度の養浜で比較的に長期的な海岸の保持が可能である。また、海岸からリーフギャップなどへ流出した砂の再利用（サンドリサイクル）の一環であり、自然の特性を活かす考えに合致する。 | リーフギャップへ移動する砂を突堤によって捕捉し、その砂をサンドリサイクルでき、施工後の維持管理が比較的容易な工法である。 |
| 短所 | 公共海浜公園においては、週末には多くの住民や観光客で賑わっており、セットバックによる背後地の減少による利用面への影響が想定される。 | 侵食の原因が海浜前面の海草の消失によると考えられ、根本的な解決にはならず、継続的な養浜が必要である。また、砂採取時の周辺サンゴ等への影響、養浜の際の汚濁拡散の対策等、環境への配慮が必要である。沖の砂が養浜材料として適するか、質および量 | 突堤の建設は上手側の汀線の安定に寄与するが、継続的に下手側の侵食をコントロールする必要がある。また、当国が目指す構造物に頼らない自然性を活かした対策に合致しない工法となる。 |

| 対策案 | セットバック案 | 養浜案 | 突堤とセットバックの組み合わせ |
|---|---|---|---|
| | | に関する十分な調査が必要である。 | |
| 評価 | 推奨案 | 海草やサンゴの移植が困難になった場合や、サイクロンにより一時的に砂が失われた場合の代替案となる。 | 詳細調査により漂砂移動機構と具体的な対策の検討により代替案となる。 |
| 必要検討課題 | 適切なセットバック量の設定とその適用性 | 漂砂の移動機構と具体的な対策の検討 | 漂砂の移動機構と具体的な対策の検討 |

出典：JICA 調査団

## 11.5 維持管理計画

### 11.5.1 維持管理の課題

北側の海岸では練り石積み護岸が存在し、その前面には砂浜が殆ど存在せず、その両側に堆積している。直立護岸による反射波で砂が巻き上げられ、両側に散らされ、護岸前面に砂が堆積しない可能性がある。

研究所の前面に浜崖が形成され、海岸の沿いの移動が出来ない状況であり、さらに侵食が進み樹木やフェンスが倒壊・流出する可能性がある。

公共海浜公園では毎日清掃が行われ非常に良好な環境が保たれている一方で、研究所前面の海岸では大量のごみや海草が放置されている。また、海岸に接する水路内にごみが堆積しており、降雨後に海岸への流入の可能性がある。（図 11.5.1を参照）

海岸に接する水路内にはごみが堆積している。

公共海浜公園から連続する研究所前の海岸には大量のごみが放置

研究所前の海岸に漂着した大量の海草やごみ

出典：JICA 調査団

図 11.5.1 Albion における海浜状況

### 11.5.2 維持管理

直立護岸に関しては、保全計画での検討した方向で実施することとする。浜崖の発生は、海浜整形を状況に応じて実施する。

研究所前面の海岸は、公共海浜公園と連続していることから、多くの一般住民に利用されており、海岸管理の所在やBeach Authorityの協力等を明確にする必要がある。水路内のごみは、定期的なごみの除去や回収作業が必要である。水路内のゴミ清掃の責任の所在を明確にした上で、定期的な清掃を実施する必要がある。ここでは、現在の海岸管理の課題に対する改善案を以下に示す。

**a. 既存海岸施設に関する課題**

- 直立護岸の形状から透過式傾斜護岸（植栽）等への改修

- 既存施設の効果の検証結果に基づく、突堤の撤去または改修

**b. 浜崖形成に関する課題**

- 関係機関連携によるモニタリング体制の強化
- 海岸域での植栽に関する適切な管理

**c. 海岸清掃に関する課題**

- リーフレットなどを用いた借地者への海岸清掃に対する意識の高揚
- 地方行政による定期的な視察・指導
- 新たな海岸清掃体制の確立と適切な海岸清掃の実施義務に関する借地契約書への明記

### 11.5.3 セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の長期的侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量に海面上昇による侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）+ 海面上昇により侵食量となる。

海面上昇に伴う侵食の機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruunの提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

海面上昇量は1987年から2011年の平均で3.9mm/yearであり、係数Cは汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は1/10程度で、係数Cを10、期間を50年と設定すると侵食量E=10 x 0.0039m/year x 50 years=2mとなる。

期間を50年、長期的海岸侵食量をこの海岸の0.2m/年、一時的侵食量としてサイクロンCarolによる最大値13mを採用すると、以下のように必要なセットバック量は25mとなる。（Vol.1 Ch.2を参照）これは設定されている現在のセットバック量30m以下である。したがって、現在のセットバック量で十分である。

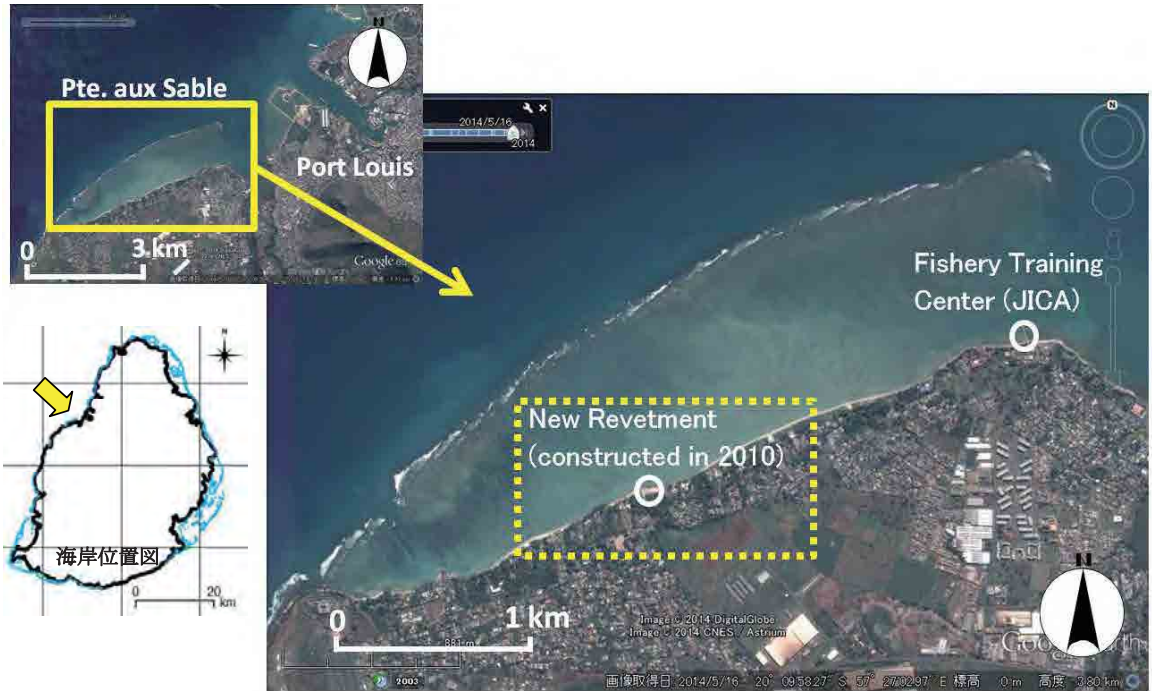
セットバック量=0.2*50+13+2=25m

このセットバック量には洪水による砂州の変動が含まれていないことから、河口ではこれを考慮する必要がある。現在、砂州の変動についてはデータが無いことから、モニタリングにより変動状況を把握し、その結果より砂州による変動を設定することになろう。

# Chapter 12

*Pte. aux Sables*

# 12 Pte. aux Sables




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 12.1.1 Pte. aux Sables 海岸

## 12.1 海岸概況

Pte. aux Sables 海岸は、ポートルイスから南西約 5km 地点に位置する延長約 4km の海岸線を持つサンゴ礁海岸である。当海岸の大部分は借地エリアとして、個人の住居、別荘や小規模なホテルが点在する。なお当海岸域の借地エリアは、グレードの異なる 5 段階のカテゴリー分けの中で 3 番目に属し、中流エリアとしての位置付けとなる。当海岸エリアには 2 つの公共海浜公園が制定されている。このうち中央部に位置する海浜公園では、海岸線の後退に対する対策案として、2010 年に延長 170m 程度の傾斜護岸が建設された。また東端付近には JICA の無償援助により 2002 年に建設された漁業訓練施設が存在する（図 12.1.1）。

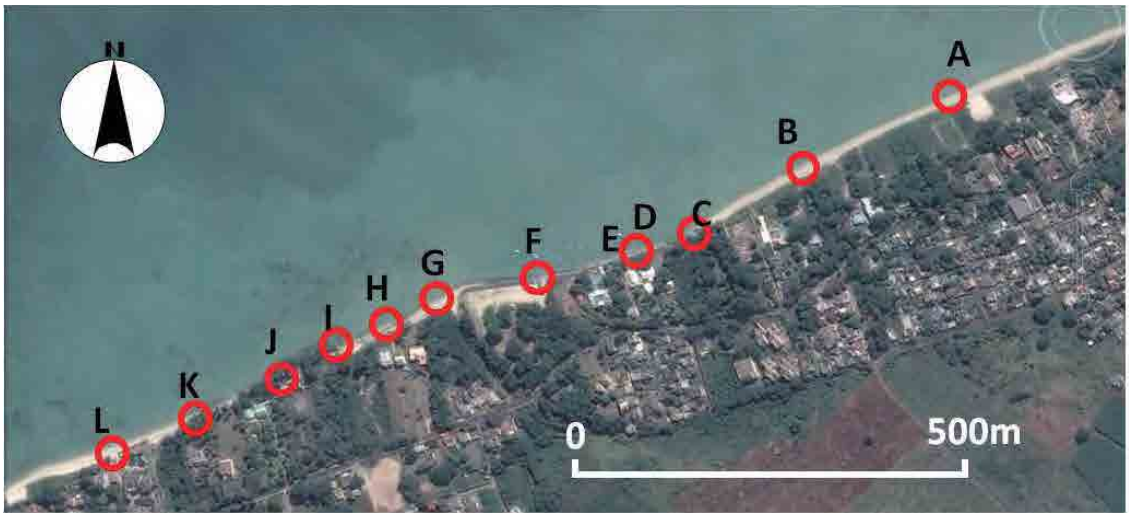
リーフ幅は西側で約 400m 程度であるが、東側に行くに従って広がり、東端では約 900m 程度となる。海岸はサンゴ礁起源の白砂で構成されている。

## 12.2 現況把握

### 12.2.1 現地踏査による現状把握

図 12.2.1に示す位置から 2014 年 4 月に撮影された海岸写真を図 12.2.2および図 12.2.3 に示す。

- 地点 A は、公共海浜公園の新設護岸位置を基準とした場合、東側約 600m 地点の海岸状況である。ここでは広い浜幅の砂浜が存在し、後浜域には植生が見られる。
- 地点 B は、A 地点から西側約 250m 地点の海岸状況である。この辺りから浜幅が減少傾向となるが、まだ十分な前浜、後浜が存在する。遠くに見えるのが次に示す地点 C である。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 12.2.1 海岸状況撮影位置

- 地点 B から更に 150m 程度西側に行ったところが地点 C である。海岸は高さ 1m 程度の浜崖が存在し、一部の古木の根がむき出しとなっている。この先は個人の住居地となっている。
- 個人の住居前面の海岸状況を示したものが、地点 D、E である。なおこの西側に、公共海浜公園の新設護岸が存在する。土地の海側境界はフェンスで仕切られており、その前面にはそこの住民により捨石が投入されている。この住民からのヒアリング結果より、この地点の汀線後退は、新設護岸建設以前から生じていたが、護岸建設後に加速し、最近追加で捨石を投入したとのことである。
- 地点 F は、2010 年に新設された公共海浜公園における捨石傾斜護岸である。延長は約 170m 程度で 1 トン内外の捨石により 1:1 勾配の法面が形成されている。なお、護岸法線位置は、空中写真解析より、建設前の海岸線から前浜部を潰して 10～20m 程度前出しされ、護岸背後には砂が投入されている。
- 地点 G は、新設護岸西端から西側の海岸状況である。護岸位置が、現在の汀線位置よりも沖側にあるため、東向きの漂砂が護岸西端で止められているため、この地点では局所的に砂が堆積している状況が観察される。
- 地点 G から西側約 100m 地点の海岸状況を示したものが地点 H である。再び海岸状況は悪化し、砂浜は徐々に消滅していく。海岸には以前存在していたと思われるコンクリート護岸の残骸が多く見られる。
- 地点 H から更に約 100m 西側に行った地点 I では、陸上部は大きくえぐられ、樹木の根元が露出している。前面には人頭大の砕石が存在するが、これは人為的に投入されたものと考えられる。地点 I から西に約 70m 行った地点 J 付近で砕石は消滅し、その先は直立護岸が続く。この付近では砂浜はほとんど消失している。
- 更に西側に 150m ほどの地点 K では護岸基部が露出しており、護岸建設以降も侵食が進んでいることが示唆される。さらに 150m 西側に行った地点 L 付近で、ようやく砂浜が見られるようになる。なお地点 G から K は、個人の住居や別荘が存在する。

これより、現地状況から判断される当海岸の問題範囲は、新設護岸の両側エリアの沿岸方向約 900m 間（護岸東端から約 200m 区間および護岸西端から約 500m 区間）である。

地点A　（新規護岸から約600m東の地点）

地点B（新規護岸から約350m東の地点）

地点C（新規護岸から約200m東の地点）

地点D（新規護岸から約100m東の捨石防護）

地点E（新規護岸から約100m東の捨石防護）

地点F（公共海浜公園の新規護岸）

出典：JICA 調査団

図 12.2.2 Pte. aux Sables の海岸状況（2014 年 5 月撮影）

地点G（新規護岸西端から西を望む）

地点H（地点Gから西側100m地点）

地点I（地点Gから西側約200m地点）

地点J（地点Iから西側約70m地点）

地点K（地点Jから西側約150m地点）

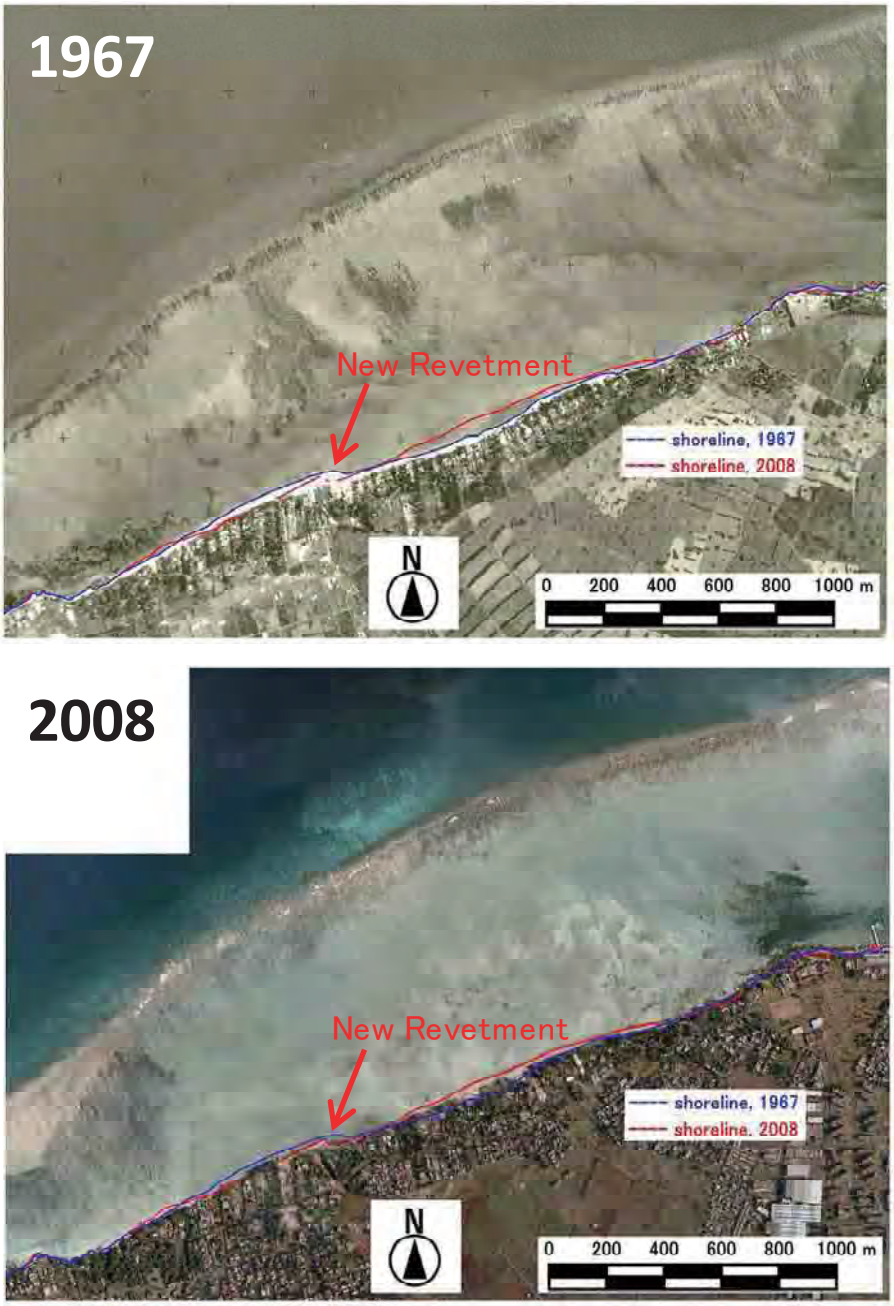
地点L（地点Kから西側約150m地点）

出典：JICA 調査団

図 12.2.3 Pte. aux Sables の海岸状況（2014 年 5 月撮影）

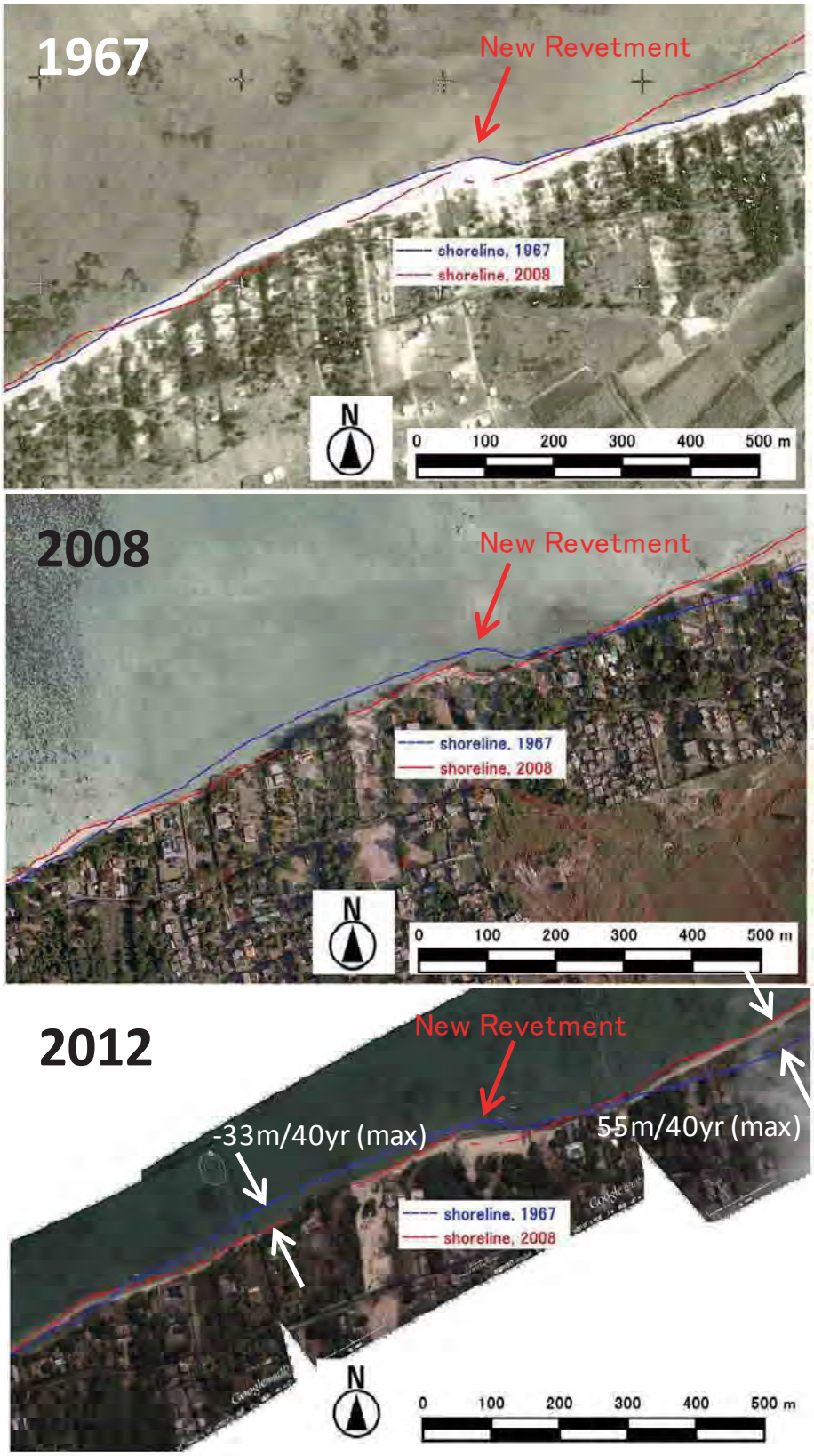
### 12.2.2 長期海岸変化および土砂収支

図 12.2.4は、1967 年と 2008 年における広域の空中写真およびその間の汀線変化を示したものである。また当海岸の問題エリアである中央部の公共海浜公園付近の約 1km 間の空中写真および汀線変化を示したものが図 12.2.5である。空中写真に示されるリーフ上の変化や筋目模様により、流れや砂の移動方向、サンゴや海草の変化状況がある程度把握できる。そこで、図 12.2.6は、1967 年から 2008 年の間の 5 時期のリーフの変化を示したものである。海岸地形に変化を及ぼすと考えられるリーフ上における 2 箇所の識別エリアを赤および青枠で示す。図 12.2.7は 1967 年から 2012 年までの 6 時期における各サブエリアの土砂収支およびその総量の変化を示したものである。土砂収支の推定においては、他海岸と同様、過去の空中写真からの汀線変化に移動高 2.5m を乗じて算出している。



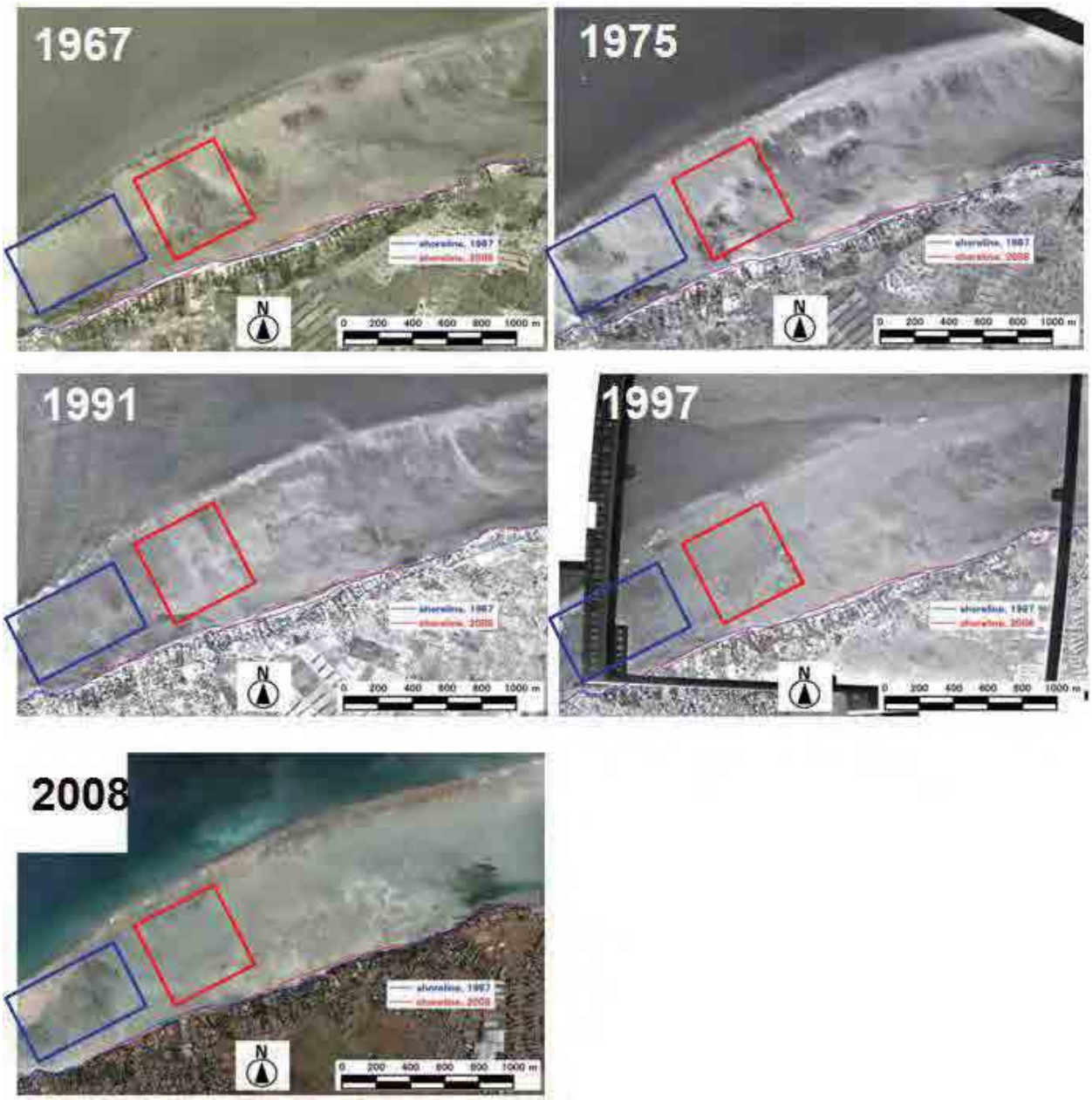

出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 12.2.4 空中写真の比較（広域）



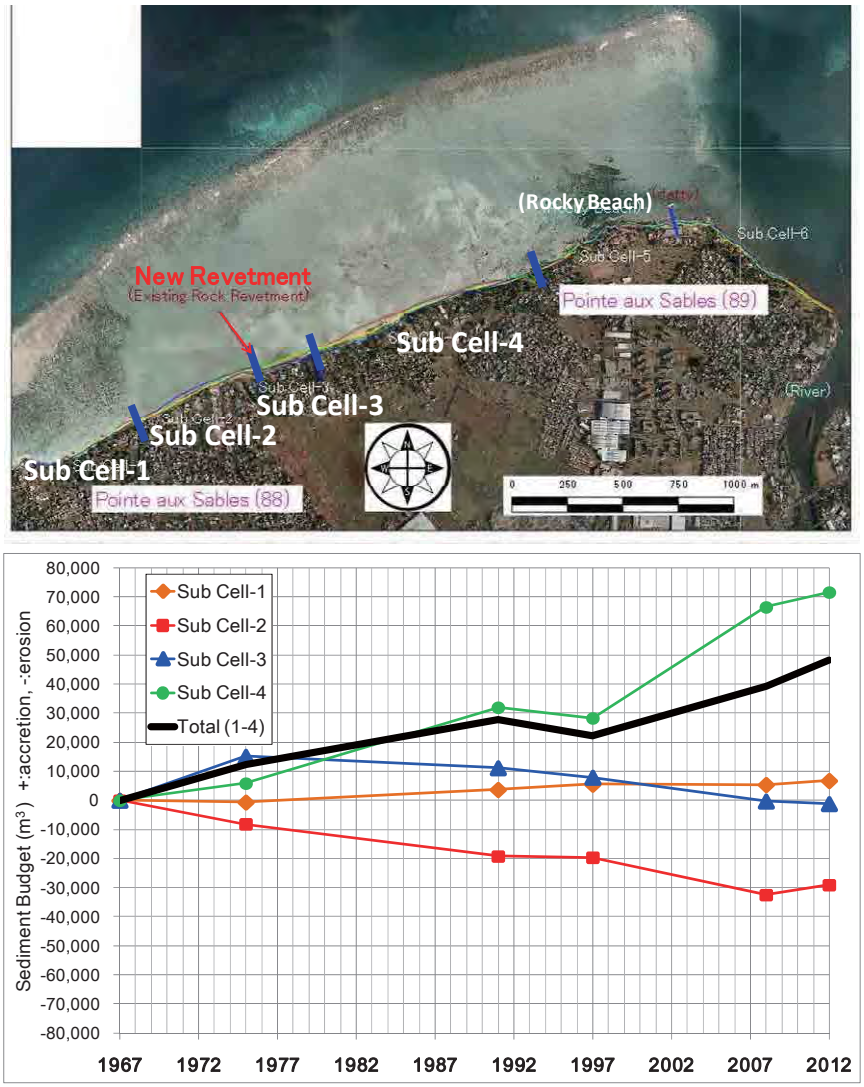

出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 12.2.5 空中写真の比較 （公共海浜公園新設護岸周辺）




出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工

図 12.2.6 1967 年から 2008 年の 5 時期のリーフ変化




出典：上) MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工、下)JICA 調査団

図 12.2.7 各エリアの土砂収支の比較

- 図 12.2.4および図 12.2.5より、当海岸の汀線変化の特徴として、公共海浜公園護岸位置から西側約 500m 間（Sub Cell-2）では、1967 年以降ほぼ一定して汀線後退が生じている。特に、1997 年から 2008 年間では減少傾向が顕著となっている。40 年間の汀線後退量は区間平均で約-20m 程度（-0.5m/年）、最大地点で-33m 程度（-0.8m/年）である。この最大の汀線後退が生じているところは、図 12.2.3における地点 I および J 付近である。
- 一方、護岸の東側約 300m 地点付近から東の約 1km 間（Sub Cell-4）では、逆に一定して汀線の前進傾向が見られる。Sub Cell-2 と同様、1997 年から 2008 年間で増加傾向が顕著となっている。40 年間の汀線前進量は区間平均で約 25m 程度（＋0.6m/年）、最大地点で 55m 程度（＋1.4m/年）である。この最大の汀線後退が生じているところは、図 12.2.2における地点 A および B 付近である。
- 護岸設置位置付近は、1967 年から 1976 年あたりまでは、フック状の海岸線が形成されていた。しかし 1991 年以降、これが徐々に減少し、2008 年では逆に凹型となっている。このような局所的な海岸線変化は、前面のリーフ状況変化と関係があると考えられる。図 12.2.6の赤枠で示される当地点前面のリーフの状況は、フック状の海岸線が見られた 1967 年～1097 年ではサンゴ群生とみられる色の違いが識

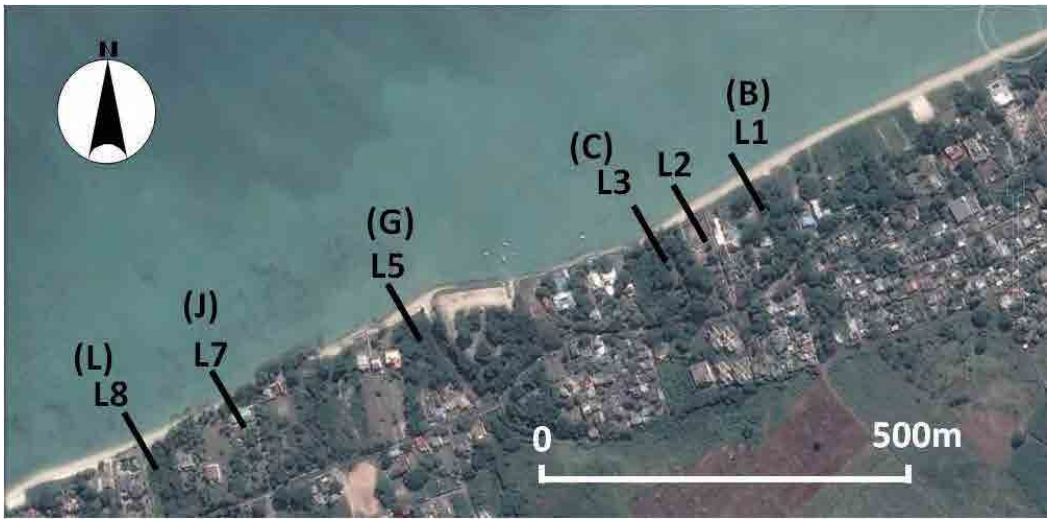
別されていたが、その後は見られない。これより、リーフ状のサンゴ群生の消失が、海岸線の変化に影響を及ぼした可能性がある。一方図中の青枠で示すエリア（Petit Verger）では、2008 年にサンゴ群生とみられる顕著な色の違いが見られる。後述するリーフ調査より、これは枝状サンゴ（ミドリイシサンゴ）が高い被度（60%）で生息していることが確認された。

- リーフ上の東端付近では、沖から東に向かう顕著な筋目模様が見られる。これは東端での河川（GRNW）の存在によりリーフが急激に消滅するため、沖からの流れが東に抜けていることを示す。
- 全体的な土砂収支は、40 年間で＋50,000m$^3$（1,250m$^3$/年）と、顕著な増加傾向をしめしている。その増加傾向は、1992 年～1997 年の間以外は、ほぼ一定して増加している。侵食の顕著な Sub Cell-2 では-30,000 m$^3$（-750m$^3$/年）、堆積域の Sub Cell-4 では 70,000 m$^3$（1,750m$^3$/年）である。

### 12.2.3 短期海岸変化（継続的モニタリング結果）

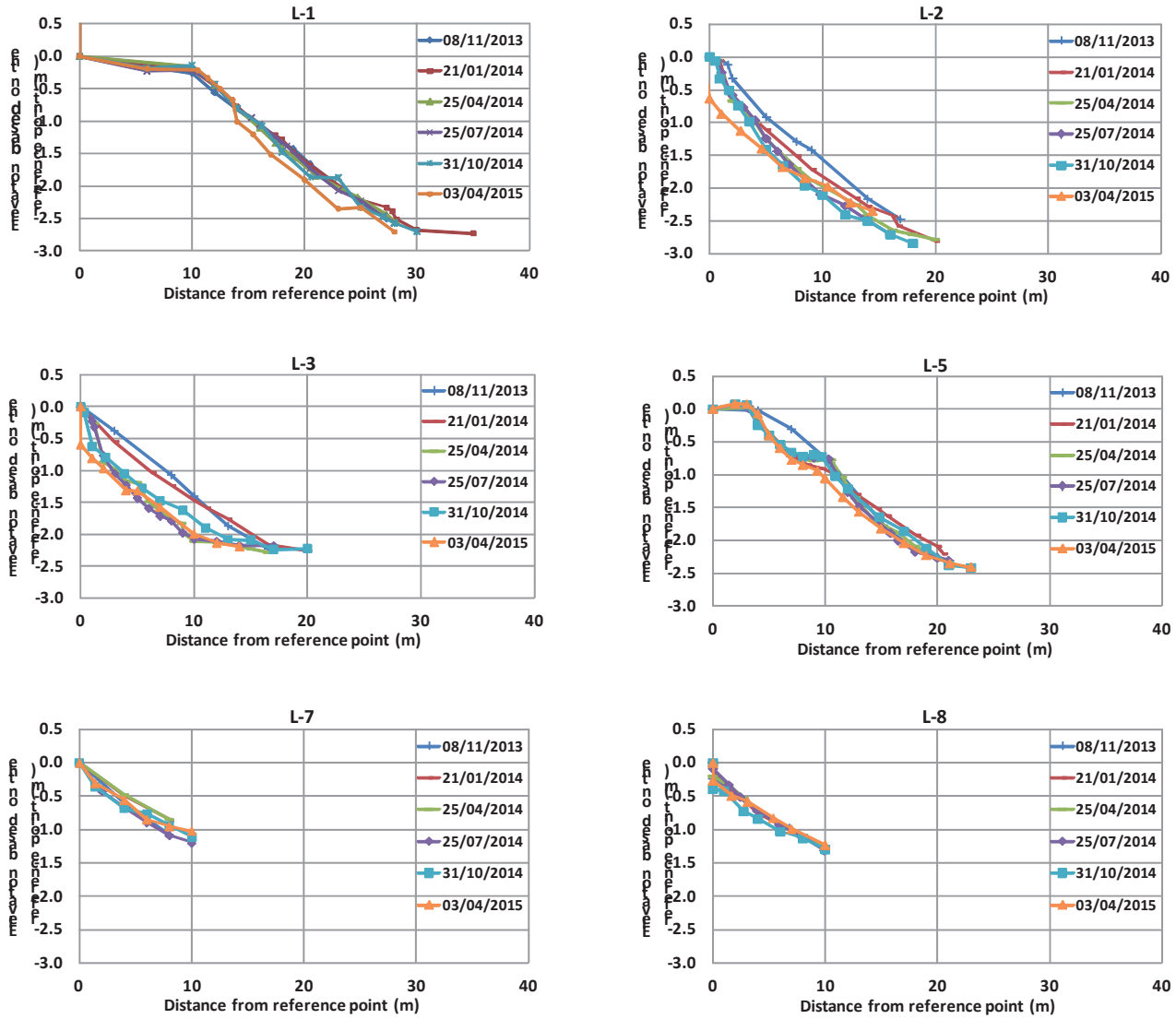
当海岸は、本事業における継続的モニタリング対象海岸の 1 つである。公共海浜公園を含む約 1.5km 間に 10 測線を設け、2013 年 11 月よりほぼ 3 カ月毎に海岸モニタリング測量を実施中である。約 1 年間のモニタリング結果より、図 12.2.8に示す代表 6 地点の結果を示したものが図 12.2.9である。なお、図 12.2.8中には、各測量地点に近い写真撮影地点(図 12.2.1参照)もあわせて示す。これより、

- 護岸東側の L1～L3 において、L1 地点では顕著な断面変化は見られないが、L2、L3 ではほぼ一定して汀線の後退が見られる。2013 年 11 月 8 日～2014 年 10 月 31 日までの約 1 年間での後退量は L2 で約 3m 程度、L3 で約 4～5m 程度に及ぶ。このような汀線後退は、1967 年～2008 年間での長期汀線変化には見られておらず、その後に生じた変化であると言える。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 12.2.8 海岸測量位置図




出典：MOESDDBM　and　JICA 調査団

図 12.2.9 代表6地点における継続的海岸モニタリング測量結果

- 護岸西側の L5～L8 地点において、L5 地点では顕著な断面変化は見られないが、L7、L8 地点は後退傾向が見られる。ただしその後退量は 1 年間で 1～2m 程度と護岸東側に比べて小さい。この汀線後退一定に後退している訳ではなく、季節的な変動が見られる。また長期汀線変化から推定された最大地点での年後退量（-0.8m/年）とほぼ同程度である。

以上により、護岸東側では現在、限られた区間ではあるが汀線後退が顕著に進行している。これが 2008 年以降に顕著となったと考えられることから、2010 年に建設された護岸が影響していることが考えられる。一方、長期的汀線変化で識別された護岸西側の汀線の後退は、現在も続いていることが示された。

### 12.2.4 気象、海象（波浪・水位・流況）、地形、底質、リーフ環境特性

#### a. 気象・海象

当海岸は、モーリシャス本島の北西側に位置し、海岸線は東西の方向に延びる。これより、当海岸の海浜変形に大きく影響を及ぼすのはサイクロン襲来時の高波浪と考えられる。また、島の北西部に位置する海岸の中ではリーフ幅が広いため、沖からの伝播波による海岸到達波高は小さい。このためリーフ内で発生する風波の影響も海浜挙動に影響を及ぼすと考えられる。沖波の入射方向は、図 12.2.6の 1991 年の空中写真からも識別されるように、北西から西北西が支配的と考えられる。

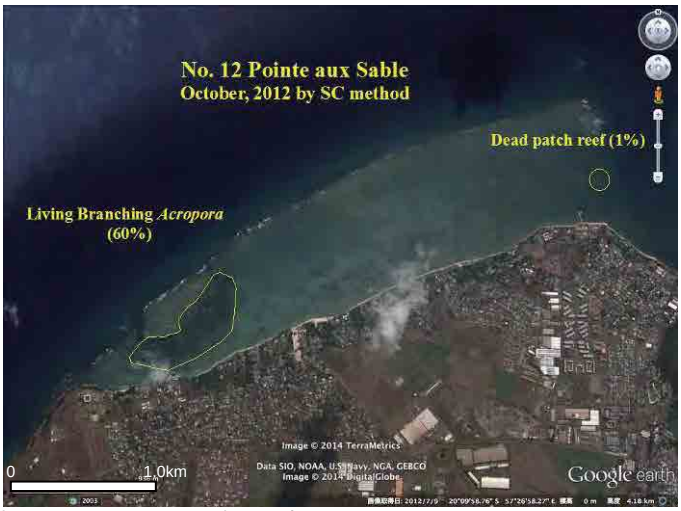
#### b. 地形・底質

海岸域は、ほぼサンゴ起源の白砂海岸であるが、東端付近では所々岩礁部が存在する。西端には岩礁による岬があり、ここからリーフが東側に約 4km 続く。リーフ幅は西端で 300m 程度から、東端では 1km 程度と徐々に広くなる。東端には河川（GRSW）が流れ込み、リーフは急激に消滅する。海岸の前浜勾配は概ね 1:8 程度である。粒度解析を実施していないため粒径に関する定量データはないが、目視では 0.3～0.4mm 程度と比較的粗い。

#### c. リーフ環境・水質

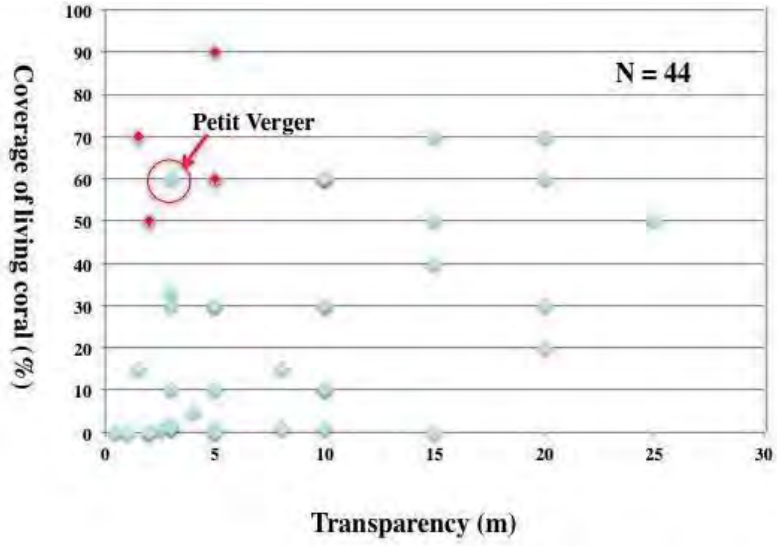
2012 年スポットチェック法による調査では、塊状及びコリンボース状のサンゴが沖合のパッチリーフ上に 1 %ほどみられたのみで、パッチリーフの周辺は枝サンゴの遺骸で覆われている。稚サンゴは見られない。海草藻場は見られない。パッチリーフ上にも海藻はみられない。透視度は 3m で、シルト分の堆積が多い。一方、同じ礁湖内の西端に位置する Petit Verger では透視度が 3m で、シルト分が多い環境条件にも関わらず、枝状ミドリイシが優占するサンゴの被度が 60%と推定された。

1996 年の航空写真及びその解析結果では、西半分のバックリーフのサンゴは生存し、東半分では海藻に覆われていたと推定される。また、中央部の岸よりには海草藻場があったと推定される。Pte. aux Sables のパッチリーフ上にもサンゴは生息していたと推定される。Petit Verger の礁湖内のサンゴ群落は、18 年前は面積的に少なく、この 18 年の間に分布域を拡大したものと推察される。なお、このミドリイシ属エダサンゴを中心としたサンゴ群落は、サンゴ被度と透視度の正の関係、シルト分の堆積との負の関係から離れたスポットにあり、シルト分による汚濁に耐性の群体である可能性がある（図 12.2.10）。




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 12.2.10 スポットチェック法による調査結果




出典：JICA 調査団

図 12.2.11 透視度と生きたサンゴの被度との関係

ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果を表 12.2.1に示す。海岸近くの水質は、湾奥の GRNW（Grand River North West）川の影響を受けており、濁度やシルテーションは高い。クロロフィル a は、平均で 0.63 ug/L であり、サンゴの生息としてあまり適さないレベル（サンゴ被度として 10-20%の範囲にある水質レベル）である。AFRC による水質モニタリング結果によると、大腸菌は 500 MPN/100ml を超えており、常に高い状態にある。GRNW 川の水質は、ラグーンに比べて、特に窒素濃度は $NO_3$ で 1.09-2.10 mg/L の範囲にあり、数十倍以上高く状態にある。当海岸は、人口密集地（2,946/km2）であり、下水道はほぼ整備されているが、未だ吸収ピット（AP:Absorption pit）やセプティックタンク（ST:Septic Tank）を利用する家庭は相当数ある。当海岸の富栄養化の要因としては、下水道に接続していないこれらの民家等からの排水および GRNW 川からの汚濁負荷の影響が考えられる。また、当海岸は 2007 年に水質改善事業としての下水処理施設が建設され、それまでリーフ内に排水されていた下水がリーフ沖に排水されるようになった。今後、当海岸の水質が改善されていくことが期待されるが、GRNW 川流域の上流側にはまだ多くの下水道未整備地区を抱えている。

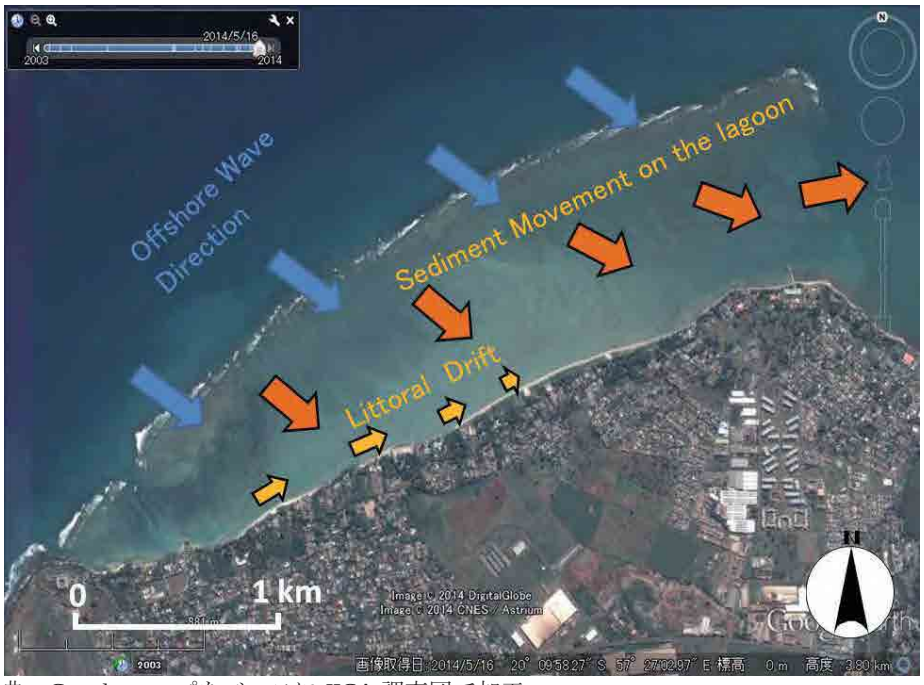
表 12.2.1 ラグーンの水質と水質影響要因に関する調査結果

| Check items | | Conditions | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Water quality | Chlorophyll a (ug/L) | 0.33-1.20(#) (Ave. 0.63) | | | |
| | Turbidity (NTU) | 1.07-9.05(#) (Ave. 2.28) | | | |
| | $NO_3$-N (mg/L) | <0.01-0.07(#) (Ave. 0.04) | | | |
| | $PO_4$-P (mg/L) | <0.005-0.01(#) (Ave. 0.007) | | | |
| Population density behind coast(per $km^2$) | | 2,946 | | | |
| Sewerage disposal behind coast | Status of development of sewerage facilities behind coast | Sewerage Systems(Trunk Sewer), Absorption Pit, Septic Tank, Pit Latrine | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from houses (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Town of Plouis VCA<br>SS: 2215, AP: 997,<br>ST: 236, PL: 33 | | | |
| | Present condition of sewerage disposal from hotels and restaurants (Sewerage system, Septic tank, Pending arrangement, etc.) | Septic tanks, Absorption pits | | | |
| | Development plan of sewerage system for houses and hotels behind coast | NIL | | | |
| Impact of pollution from sugarcane | Incidence of red-soil runoff from land side | None | | | |
| | Existence of sugarcane field behind coast. If there is it, area of the field behind coast. | None | | | |
| Relation between living coral and water quality** | Coral coverage | Chlorophyll a (ug/L) | Turbidity (NTU) | $NO_3$-N (mg/L) | $PO_4$-P (mg/L) |
| | >50% | <0.2 | <0.5 | <0.012 | <0.007 |
| | 20-50% | 0.2-0.6 | 0.5-1.3 | 0.012-0.051 | 0.007-0.016 |
| | 10-20% | 0.6-0.9 | 1.3-1.9 | 0.051-0.081 | 0.016-0.023 |
| | <10% | >0.9 | >1.9 | >0.081 | >0.023 |

#: 水質調査は、海岸からリーフエッジまで実施された。
**: サンゴ被度と水質の関係は、本プロジェクトの水質調査により得られた。Vol.1 の表 2.6.3 参照
SS: Sewerage Systems, Ap: Absorption Pit, ST: Septic Tank, PL: Pit latrine
出典: JICA 調査団

## 12.3 想定される漂砂特性、当海岸の問題とその要因

### 12.3.1 漂砂特性




出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工

図 12.3.1 Pte. aux Sables の波浪および漂砂パターン

前述の様々なアプローチから、推定される波の入射方向、リーフ上の砂移動方向および海岸の漂砂移動を示したものが図 12.3.1である。当海岸では西寄りの波の入射により、リーフ上で沖から岸側に移動した底質は、全体として東向きの漂砂により、少しずつ東側に運ばれると考えられる。海岸全体としての漂砂量は、長期の土砂収支結果（図 12.2.7）より 1,000～1,500m$^3$/年程度と推定される。ただし、場所的に漂砂量の違いがあり、これにより侵食域と堆積域が存在する。

### 12.3.2 当海岸の問題とその要因

当海岸の問題とその要因を以下に示す。

**a. 公共海浜公園西側で長期的に生じている海岸侵食**

公共海浜公園の新設護岸西端からの約 500m 間（Sub Cell-2）では 1967 年以降、一定して汀線が後退している。40 年間での後退量は、区間平均で約 20m 程度（-0.5m/年）、最大地点で 33m 程度（-0.8m/年）である。また 1 年間の海岸モニタリング結果から、現在もこの侵食は進行していることが確認された。ただ、現在新設護岸西端部で東向き漂砂が阻止されている状況が見られることから、護岸建設後はその侵食速度が建設以前よりも落ちている可能性がある。

この侵食要因としては、リーフ上のサンゴおよび海草生息状況の変化、またサンゴ環境悪化に伴うリーフからの砂供給量の現象、等が考えられる。またこれに加えて、侵食が顕在化した後に実施されてきた直立護岸の構築による前浜の消失、洗掘の助長等も考えられる。

**b.　公共海浜公園東側での局所的な海岸侵食**

公共海浜公園の新設護岸東端から約 200m の範囲では、2010 年の護岸新設以降、顕著な海岸侵食が生じている。海岸モニタリング結果より、汀線後退量は大きいところで 4～5m/年に及ぶ。

侵食要因としては、侵食護岸がその当時の海岸線から 10～20m 程度前出しされたため、この東向き漂砂が阻止されたためと考えられる。この侵食は、侵食量は徐々に減少するものの、今後も続くと考えられるとともに、その侵食域は少しずつ東側に拡大していく可能性がある。

**c.　生活排水に起因する水質およびサンゴ・海草生息環境の悪化**

当海岸は、モーリシャスの他の海岸に比べて濁度や生活排水に起因すると思われる富栄養化が進み、水質悪化が顕著である。またリーフ上ではサンゴの分布域が以前に比べて減少し、中央部の岸よりにあった海草藻場が消失している。当海岸は現在、全体としては土砂収支がプラスで堆積傾向にあるが、サンゴ・海草の生息環境の悪化は、長期的には砂供給源の減少を引き起こす可能性がある。またサンゴや海草による波浪低減効果が低下するため、海岸漂砂量の増加を招く可能性がある。

## 12.4　海岸保全対策

### 12.4.1　概要

当海岸で、緊急的な対策が求められるのは、公共海浜公園の西側 500m および東側 200m 間での汀線後退問題である。この問題エリアは個人の借地エリアであり、防護対策は基本的に個人が担う必要がある。しかしながら、個人で実施できる防護対策としては、護岸や小規模突堤等の構築といった、主には構造物対策に限られてしまう。一方当海岸は、全体としては比較的顕著な土砂収支の増加が生じている。すなわち、海岸全体としての侵食問題ではなく、漂砂のバランスが変わったことによる海岸変化が生じ、既に背後域の利用がされている中で、汀線後退が問題となっているものである。このような背景において、個人の土地の防護を目的とした対策では問題解決に繋がらない。また問題箇所の東側エリアでは、逆に顕著な堆積域が生じている。これらより、提案する短期対策は、当海岸の漂砂の連続性や全体の海岸状況を踏まえた包括的視点で策定する必要がある。

更に当海岸では人為的影響による水質悪化、それに伴うリーフ環境の悪化が見られる。よってその改善策を長期対策として示す必要がある。

### 12.4.2　対策の基本方針

<u>短期対策</u>

- 生じている問題は、漂砂の連続性が存在する中でのもので、単に構造物による局所対策で解決できるものではない。また、当海岸の土砂収支は全体としては比較的顕著な増加傾向にある。これより問題エリアの短期対策としては、東側に存在する堆積域からのサンドリサイクルを基本とする。
- 提案する海岸保全計画の基本方針に従い、人工構造物は極力構築しない方針とする。一方で、提案するサンドリサイクルは、基本的に定期的な維持管理（砂投入）が必要となる。その維持管理コストの低減に繋がるような投入後の砂の歩留まりを向上させる可能性がある場合には、突堤等付加的な構造物の設置も合わせて考

えるものとする。

長期対策

- サンゴ・海草生息環境を向上するための水質改善、およびリーフ上の利用改善を図る。
- 中長期的な砂浜維持管理の低減および将来的な気候変動に伴う水位上昇による居住エリアへの浸水リスクの低減を図るために、次期の借地契約更新時のセットバックを推奨する。

### 12.4.3 短期対策

#### a. 前提条件

サンドリサイクルを検討する上での前提条件を以下に示す。

- 砂投入が必要な範囲として、護岸西側 500m 間でドライビーチが存在しない 350m、護岸東側 200m 間では 150m 間とする。なお、新設護岸前面でもドライビーチは存在しないが、背後の公共エリアの防護を目的として建設されたものであるため、この間での護岸前面での砂浜の回復は考えないものとする。
- 新設護岸の存在は、現在護岸東側での局所的な海岸侵食を助長している原因となっている。これより、護岸の撤去またはセットバックを提案することは、東側での海岸侵食を緩和することに繋がる。一方で、西側で長期的に生じてきた海岸侵食に対しては、現在護岸が漂砂のコントロールポイントとなっており、侵食速度が緩和されている可能性がある。そもそもこの護岸は、限られた当海岸のスペースの中で市民の憩いの場としての公共エリアを確保する目的で構築されたものである。これらより、短期対策の中では新設護岸の撤去またはセットバックは考えないものとする。
- 目標とする海岸線位置として、1967 年当時の海岸線まで回復させることは養浜後の安定性の面から現実的ではない。現在の背後での住宅地としての利用状況を踏まえ、護岸境界から沖側に 1:8 勾配の前浜を回復させる程度と設定する。海岸モニタリング結果より、現在の侵食域での平均的な勾配として 1:5 と仮定し、バーム高 2.5m とすると、必要な初期投入量は、護岸西側で約 3,300$m^3$、東側で約 1,400$m^3$ となる。
- 長期の土砂収支より、西側侵食域での平均的な土砂損失量は 750$m^3$/年程度と算定された。海岸モニタリング結果より、東側侵食域では現在これよりも早い速度で土砂損失が生じていると考えられる。ここでは維持管理としてのサンドリサイクルの頻度としてはコストも踏まえ、2 年に 1 回程度、1 回 2,000$m^3$ 程度（西側、東側にそれぞれ 1,000$m^3$）とする。なお、堆積域での土砂増加量は 1,750$m^3$/年と算定されており、2 年毎の 2,000$m^3$ 程度の堆積域からの砂のリサイクルは、十分可能と判断される。

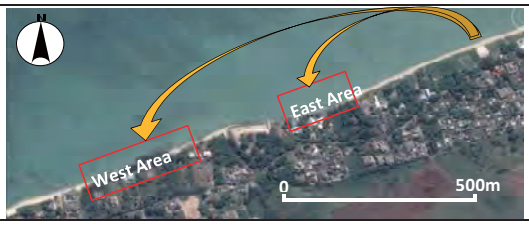
#### b. サンドリサイクルの投入エリアに対する比較検討

サンドリサイクルの方法として、以下の 2 つの方法が考えられる。

1) 護岸の西側から東側までの問題エリアを連続して扱う方法
2) 護岸を挟んで西側と東側と別々に扱い、西側と東側に別々に投入する方法

この 2 つの考えに対する比較検討を示したものが表 12.4.1である。

表 12.4.1 サンドリサイクルの土砂投入方法の比較

| 投入法 | （ケース１）<br>西側と東側を一緒に扱う場合 | （ケース２）<br>西側と東側の 2 箇所に分ける場合 |
|---|---|---|
| 概要 | |  |
| | 漂砂の上手側となる西側のみに土砂を投入し、東向き漂砂により、自然に下手側（西側）の問題エリアへの自然の砂の移動を期待する考え。この場合は、新設護岸を越えての連続した漂砂移動が前提となる。 | 新設護岸を挟んで、西側と東側の問題箇所に別々に砂を投入する。この場合、護岸が漂砂のコントロールポイントとなる。 |
| 現実性・確実性 | 護岸が前出しして作られており、現時点で護岸を通過して下手側への砂の流入はほとんどない。護岸を通過しての砂移動を期待する場合は、上手側での十分な砂供給と、護岸を通過するようになるまでの期間が必要。不均一な海岸線エリアでの動的管理が求められ、現実性・確実性が不確か。 | 投入エリアは 2 箇所とはなるが、ケース 1 に比べて確実性は高くなる。一方、西側、東側とも、東向きの漂砂移動による投入砂の流出を低減することが望まれる。護岸をコントロールポイントとする場合、西側での砂浜保持のために、付加的な突堤を設置することにより、投入砂の流出を低減できる可能性がある。 |
| 施工性および施工コスト | ケース２は投入エリアが２箇所となるが、施工性や施工コストへの影響は軽微と考えられる。 | |
| 利用面 | 両ケースの違いはない | |
| 環境面 | 両ケースの違いはない | |
| 評価 | 推奨しない | 推奨案 |

出典：JICA 調査団

これより、サンドリサイクルの土砂投入としては、護岸を挟んで西側と北側の 2 箇所に投入する方法（ケーズ 2）を推奨する。

### c. 西側エリアでの対策工法

西側エリアでのサンドリサイクルを図る場合、以下の 2 つの方法が考えられる。

1) 砂の投入のみ。すなわち砂の移動を許容する考え（動的対策）
2) 砂を投入するするとともに、流出対策の突堤を設置（静的対策）

この２つの方法の概略比較を示したものが表 12.4.2である。

表 12.4.2 西側エリアの対策の比較

| 投入法 | ケース１：動的対策<br>（砂投入のみ） | ケース２：静的対策<br>（砂投入＋突堤の新設） |
|---|---|---|
| 概要 | | |
| | 砂を投入するのみとし、東への漂砂移動を許容する考え | 砂を投入するとともに、漂砂移動による流出を防ぐための突堤を設置 |
| 初期費用（直工費のみ） | 堆積域からの砂の投入のみであり、ケース２に比べて安価となる<br>(投入量 3,300m$^3$ の場合約 1.8 百万 MUR, 砂単価 550MUR/m$^3$ を仮定) | 安定形状とするために砂の初期投入量が 3 割程度増す。また突堤建設費が新たに掛かるため、ケース 1 よりも増える<br>(例えば突堤 2 基（L=50m）とすると 2.6 百万 MUR（1m 当たり 26,000MUR を仮定）が加算される。また砂の増量を 1,000m$^3$ とすると約 0.5 百万 MUR 加算される。 |
| 維持管理コスト (10 年間、直工費のみ) | 定期的な砂投入（2 年に 1 回程度）が必要となり、維持管理費用が発生する。<br>(堆積域から 2 年毎に 1,000 m$^3$ をリサイクルする場合、10 年間で 2.8 百万 MUR, 砂単価 550MUR/m$^3$ を仮定) | 漂砂移動が阻止されるため、定期的な砂投入の必要性は低い。ただし 10 年単位程度での砂の補充は必要となる可能性がある。(10 年後に 1,000m$^3$ 補充するとした場合、0.6 百万 MUR、 砂単価 550MUR/m$^3$ を仮定) |
| トータルコスト (10 年間) | 4.6 百万 MUR/10 年 | 5.5 百万 MUR/10 年 |
| 利用面 | 対策エリアでは常に砂の移動・流出が生じる。一方移動した砂により突堤前面で砂浜がある程度期待できる | 対策エリアでの安定した砂浜維持が期待できる。突堤下手側となる護岸前面では砂浜はない |
| 環境面 | 自然の海岸景観が維持される | 景観の中に人工構造物（突堤）が入る |
| 評価 | 景観重視の場合の推奨案 | 管理の低減重視の場合の推奨案 |

出典：JICA 調査団

上記の比較からは、ケース 1 の動的対策の方が廉価となる。一方で、ケース 1 の動的対策は、モニタリング結果に基づく適切な順応管理が必要であるとともに、実際の砂の流出量の変化により、コストは大きく左右される。どちらを選択するかについては、利用面や景観、トータルコストを踏まえて判断されるが、ここではケース 1 の動的対策で対応するものとする。

### d. 東側エリアでの対策工法

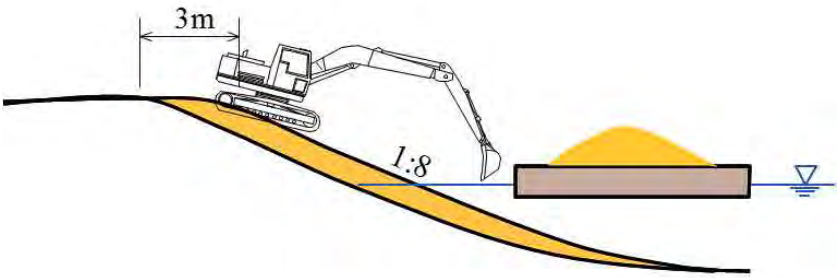
東側の侵食エリアは、西側エリアとは異なり、漂砂の下手側である東側には連続した砂浜海岸が続く。これより、西側エリアで代替案の 1 つとして示したような突堤を用いての静的安定化工法は、新たな漂砂下手側での侵食を生じさせる可能性が高く、これは推奨できない。これより東側エリアでは、定期的な砂投入により動的に海岸を維持する工法のみ考えるものとする。

### e. 具体的なサンドリサイクル方法

堆積域からの土砂掘削方法

想定する土砂取得エリアは過去 40 年間で約 1km の海岸線で約 7 万 $m^3$ の土砂増加、平均約 25m の汀線の前進が生じた Sub Cell-4（図 12.2.7）である。汀線堆積域初期投入量である 4,700$m^3$ を、図 12.4.1に示す範囲で取得するものとする。砂の取得方法として、後浜表層からの取得も考えられるが、一般的に前浜部に比べて粒径が細かいため、ここでは前浜部から現在の海浜勾配を維持しながら取得するものとする。当海岸域は既に個人の宅地や別荘として利用されており、運搬用アクセス道路の確保が困難である。これより小型のポンツーン等を利用した海上運搬が現実的と考えられる。

出典：MHL から入手した衛星画像をベースに JICA 調査団で加工



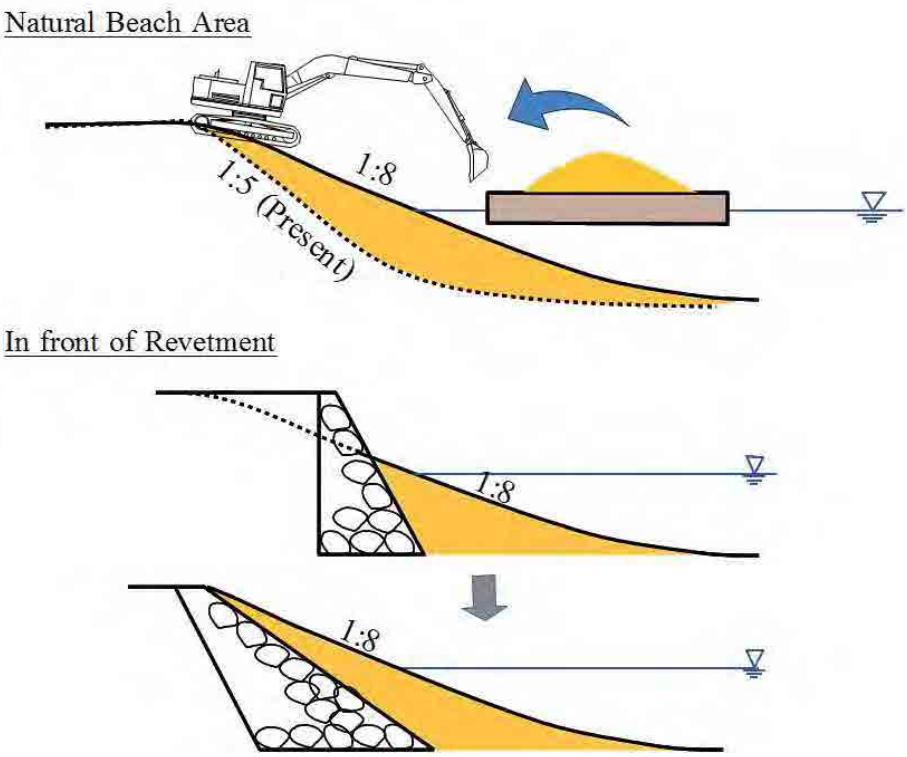

出典：JICA調査団

図 12.4.1 東側堆積域からの砂の取得

東側侵食域への砂投入方法

前提条件より、東側侵食エリアへの砂投入量としては、初期投入量が 1,400m$^3$ 、維持管理としての定期的な投入量が 1,000m$^3$/2 年と仮定する。投入範囲、断面整形イメージを図 12.4.2に示す。なお、既存護岸は現在周辺の汀線位置よりも沖側に位置する（図 12.2.2 地点 E）。投入後の砂の維持の向上には、図 12.4.2に示すように現況の 1:1 勾配の捨石護岸を可能な限りセットバックするとともに緩勾配に改良することが望ましい。

出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工




出典：JICA調査団

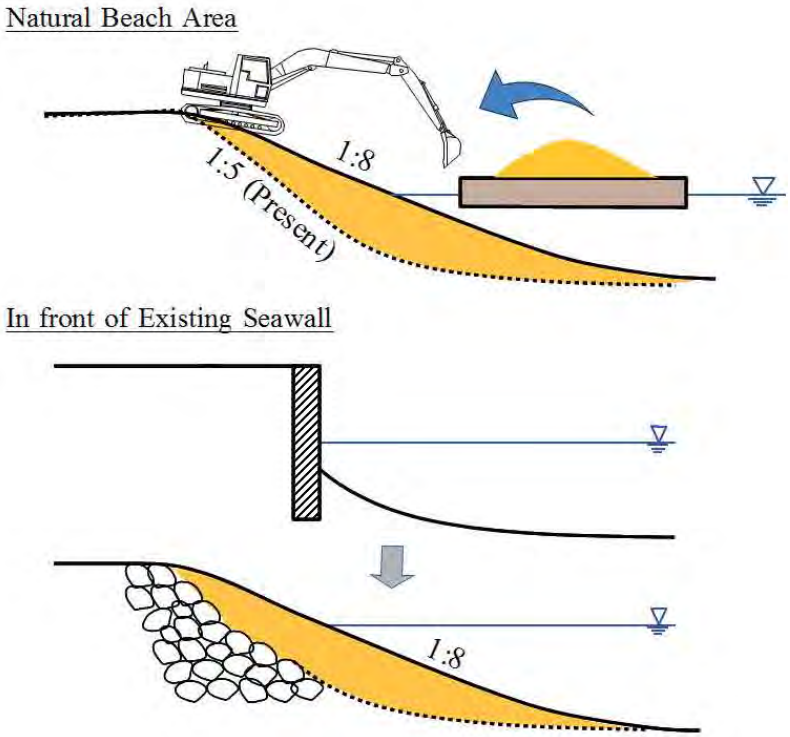
図 12.4.2 東側侵食域への砂投入範囲、断面整形イメージ

西側侵食域への砂投入方法

前提条件より、西側側侵食エリアへの砂投入量として、初期投入量が 3,300m$^3$ 、維持管理としての定期的な投入量が 1,000m$^3$/2 年と仮定する。

動的対策（ケース 1）の投入範囲、断面整形イメージを図 12.4.3に示す。また、投入エリアの西側付近には、既存のコンクリートの不透過直立護岸により陸域が防護されている（図 12.2.3地点 K）。この護岸の不透過直立タイプから緩勾配の捨石透過護岸へ改良することを推奨する。また現地踏査より、背後地にスペースが存在することが確認されているので、護岸法線位置を少なくとも周辺の自然海浜部と同じラインまでセットバックすることが望まれる。

出典：Google マップをベースに JICA 調査団で加工




出典：JICA調査団

図 12.4.3 西側侵食域への砂投入範囲、断面整形イメージ

**f.　短期対策案のまとめおよび概算工事費**

提案する短期対策およびその概算工事費を表 12.4.3 にまとめる。

表 12.4.3 Pte. aux Sable における提案する短期対策･概算工事費

| 項目 | |
|---|---|
| 対策範囲 | 公共海浜公園新設護東側侵食エリア（150m間）および西側侵食エリア（350m間） |
| 対策案 | ・東側堆積エリアからのサンドリサイクル<br>・既存護岸の改良（緩勾配化、不透過堤への改良＋適度なセットバック） |
| 初期投入量 | 東側侵食エリア：3,300m3,　　西側侵食エリア：1,400m3 |
| 定期投入量 | 東側侵食エリア：1,000m3/2年,　西側侵食エリア：1,000m3/2年 |
| 概算費用（参考）<br>（注:直工費のみ、VAT含まず） | 初期投入：2.6百万MUR（1m3当たり550MURを仮定）<br>（約10.3百万円、1MUR = 4.0円を仮定）<br>定期投入：1.1百万MUR （1m3当たり550MURを仮定)<br>（約4.4百万円、1MUR=4.0円を仮定） |

出典：JICA 調査団

### 12.4.4　長期対策

**a.　水質モニタリングに基づく水質改善対策の実施**

前述のように、当海岸ではリーフ上の水質改善を図るため、2007 年に下水処理施設が建設された。しかし、その後の水質モニタリングにおける分析精度の問題等によりその定量評価が不十分であり、その効果については明らかとなっていない。今後、分析精度の高い水質モニタリング調査を実施するとともに、河川からの汚濁負荷による影響や背後の民家からの排水による影響について、更に調査する必要がある。それらの結果を基に、現在の下水道システムに接続されていない民家等に対し、下水道の接続を促進させる必要がある。

**b.　リーフ上での保護区の設定**

当礁湖の西端の Petit Verger 沖には、ミドリイシ属エダサンゴを中心としたサンゴ群落が分布するため、この海域を自主規制保護区（VMCA）として設定し、その保全を図っていくことが望まれる。この群集は、汚濁耐性の群体である可能性があり、将来同礁湖内のバックリーフ等へのサンゴの移植を試みる際のドナーとなりうる。

**c.　次期借地契約更新時におけるセットバックの推奨**

海岸侵食による汀線後退や、各借地者による海岸線の護岸の築造により、HWM から 30m のバッファーゾーンが満たされていない箇所がある。既存の借地契約がある中でのセットバックは現実的には困難であるが、次期借地契約更新時に 30m バッファーゾーンを確保するためのセットバックを行うことが推奨される。これにより、中長期的な砂浜維持管理の低減、および将来的な気候変動に伴う水位上昇による居住エリアへの浸水リスクの低減に繋がる。

## 12.5　海岸維持管理計画

### 12.5.1　現在の海岸管理の課題に対する改善案

当海岸の現状を踏まえて、海岸維持管理面、土地利用管理面および海岸利用管理面における個別の課題および改善案については、Volume1 の 5 章の海岸維持管理計画の中で

記載している。また、殆どの対象海岸に共通する制度や実施体制に関するソフト的な課題と改善案についても Volume1 の 5 章に記している。ここでは、現在の海岸管理の課題に対する改善案を以下に示す。

**a.　既存海岸施設に関する課題**

- 直立護岸の形状から透過式傾斜護岸（植栽）等への改修
- 既存施設の効果の検証結果に基づく、突堤の撤去または改修

### 12.5.2　海岸保全計画に基づく海岸管理計画

ここでは、上記の海岸保全対策に対する管理運営面で考慮すべき事項を示す。当海岸の海岸保全計画では、東側堆積域から新設護岸両側侵食域へのサンドリサイクルが短期対策として提案された。堆積域からの砂の取得について、現在この背後域には個人の住宅や別荘などが存在する。このため、海側借地境界について再確認し、明確にするとともに、実施方法（特に採取や運搬方法）やその環境影響等について、背後域の借地人との合意形成が必要である。また、借地エリアでのサンドバイパスの実施を誰が実施するのかについて、官民で協議していく必要がある。提案するのは官民が連携した双方の費用負担による実施である。ただし、そのための定期的なモニタリングの実施や計画立案は、モ国政府の関係機関（MOESDDBM）が主体となって実施していくことを提案する。

### 12.5.3　セットバック量の妥当性

侵食されている砂浜海岸でのセットバック量の設定は、目標年を設定し、その間の長期侵食量とたとえばサイクロンのような高波浪による一時的な侵食量を加えたものとしている。すなわち、

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量（サイクロンなどの異常気象によるもの）となる。

また、将来海面が上昇した場合に、海面上昇に伴う侵食が想定される。その機構及び量についてはいくつかの考えが提案されている。その中で広く用いられているのは、Bruun の提案した方式であり、これは次のようになる。

海面上昇による侵食量：E=C*S、C：砂浜特性による係数、S：海面上昇量

セットバック量 = 長期的侵食量 + 一時的変動量 ＋ 海面上昇により侵食量

海面上昇量は 1987 年から 2011 年の平均で 3.4 ㎜/year であり、係数 C は汀線付近の海浜勾配逆数や砂浜の移動する範囲と関係があり、「モ」国では平均勾配は 1/10 程度で、係数 C を 10、期間を 50 年と設定すると侵食量 E=10 x 0.0034m/year x 50 years=1.7m となる。

## 12.6　実施に向けた今後の課題

**a.　継続的な海岸モニタリングの実施およびその結果を踏まえた順応的管理**

当海岸で提案するサンドリサイクルは、継続的な海岸モニタリング結果を踏まえ、状況に応じて実施時期や投入量を順応的に管理していく必要がある。そのシステムの構築と運用体制の確立が求められる。

**b.　堆積域の砂の利用、護岸改良等に対する住民合意形成の実施**

堆積域からの砂の利用に関しては、その背後域の住民との合意形成が必要となる。技術的根拠をベースとし、住民が納得するまで根気強いアプローチが必要である。ちなみにこの堆積域の砂が使えない場合、外部からの購入砂を使用することになり、コストは3倍以上になる。

また、サンドリサイクルと合わせて提案する既存護岸の改良は、基本的に各借地人が担うことになる。それを進めていくための合意形成も必要である。また長期的なセットバックの必要性を住民側に理解させて行く上で、住民の理解促進に向けた海岸やリーフ変化に関する継続的な情報共有が必要である。

**c.　水質・サンゴ環境モニタリングに関する他関係機関との情報共有、連携**

当海岸は、生活排水による水質悪化、それによるサンゴ環境悪化が指摘されている。また水質モニタリングは実施されているとのことであるが、その情報共有が不足している。中長期的な水質およびリーフ環境改善を図り、海岸を維持していくためには、関連する政府関係機関（漁業省、住宅土地省等）との情報共有、連携が不可欠である。

# Chapter 13

*Grand Sable*

# 13 Grand Sable

## 13.1 概要

Grand Sableは、モ国の南東部に位置する北のPte. aux Feuillesと南の岬状のPte du Diableに挟まれた延長約3kmの海岸である。ここは、Bois Des AmourrettesからDeux Frereに至る東海岸を代表する地点として選定された。本調査においては、Grand Sableの居住地の集中する２つの小河川に挟まれた北部の延長約400mが、物理的実証事業の対象地として選定された。フレキシブル護岸が、低平地の保全として、越波の防止効果を示すことを目的としてGrand Sable に設置された。フレキシブル護岸は、海岸防護のための蛇かごや巨石護岸の代替案である。対象地においてフレキシブル護岸の整備計画を策定し、南側半分区域において整備が実施された。（Volume 1,Chapter 8を参照）

ここでは、物理的対策事業の対象地及びこれに関連する区域における海岸保全計画について、全体の考え方と今後実施する事業を主体に述べる。

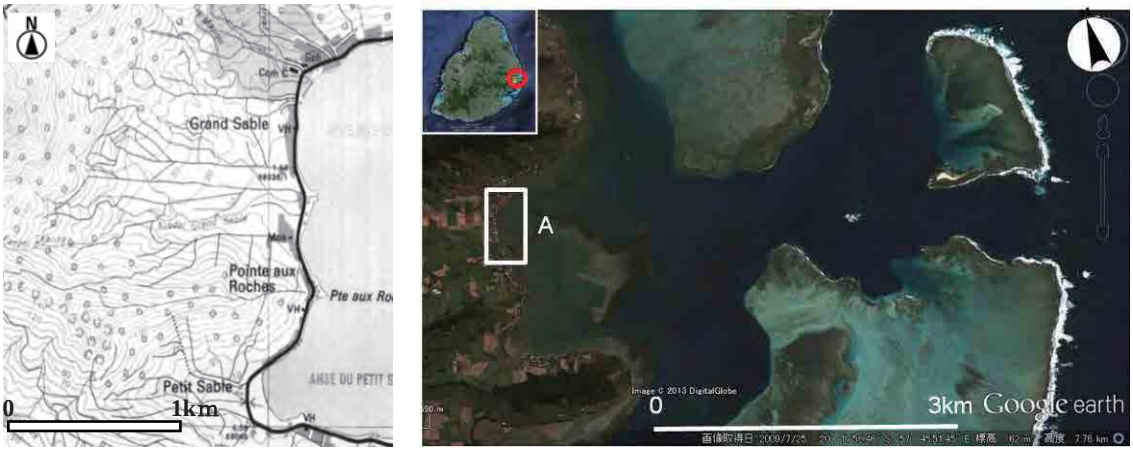
## 13.2 現況把握

### 13.2.1 海象特性

海岸は南東部に位置しており、南東からの貿易風により発生した波を受ける。また、サイクロンによる波が来襲する。ただ、前面のリーフと海底摩擦により来襲波の波高は低減する。通常はリーフ内で発生した風波が卓越している。大潮時の潮位範囲はBlue Bay等での観測から0.86mと推定される。なお、ラグーン内の水位は、潮位に加え高潮と波によるセットアップを考慮しなければならない。

### 13.2.2 海岸状況

海岸は図 13.2.1に示すように、溶岩により形成された台地に囲まれた湾奥、河川により形成された河口砂州の北側に位置している。約6km沖までサンゴ礁が広がり、その間に水道が位置している。海岸前面では1㎞から2㎞の幅でサンゴ礁が形成されている。河川からシルトや礫が流出し、河口では礫が堆積し、マングローブが生育している。北側にも河川が位置するが、その規模が小さく、砂やシルトを流出する。海岸の底質はシルトまたは礫であり、砂は少ない。

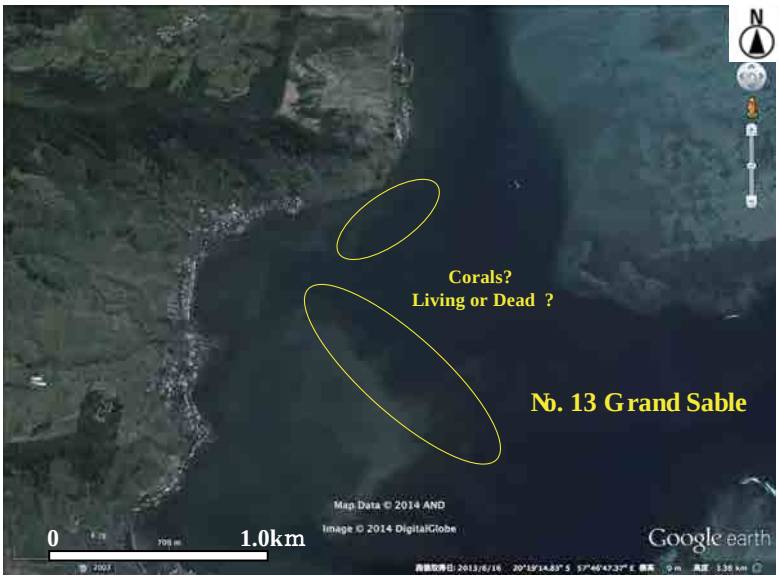



出典：左 MHL、右 Google Map を JICA 調査団で加工

図 13.2.1 Grand Sable の陸上地形と海岸地形（A の範囲が対象海岸）

### 13.2.3 海岸環境

ラグーンの海底は砂底もしくは泥底で、透視度も1m以下と悪く、サンゴの生息環境としては適さない。シルト分の堆積も極めて多く、海草藻場や海藻も見られない。しかしながら、海岸には*Halodule*の葉が多く打ち上げられており、さらに沖合には*Halodule*の藻場が広がっているものと推察される。1996年の航空写真及びその解析結果ではかなり沖合の岸礁の礁縁部にサンゴの分布域が見られる。ラグーンでは視界不良のために、ここでのサンゴの存在は確認することができていない。




出典：Google Earth を基に JICA 調査団が加工

図 13.2.2 Grand Sable のサンゴ生息未確認海域

### 13.2.4 海岸利用

海岸に沿って主要な海岸道路が走り、その陸側は住宅地、農地が続いている。集落の集中する地区には地域住民の集会場としてコミュニティセンターがあるほか、公共バスの停留所が海岸沿い道路に適宜配置されている。海岸線は海岸道路際まで迫っており、海岸でのレクリエーション活動は点在する樹木下の小スペースや北部の公共海浜公園（約700 $m^2$）に限定されている。地域住民あるいは他地域の漁業を営むものによって、北部の公園に隣接した船揚場（斜路）が漁に出る際に利用されているほか、海岸線が漁船の係留地として利用されている。その他、小河川の河口砂州付近においては、砂の堆積した地区にマングローブ等の自然植生が点在しており、多様な生態系が形成される可能性の高いエリアが存在する。陸側からの排水については、道路排水のほか居住地からの排水に繋がる排水溝が直接海岸に繋がっているため、処理されない生活用排水が直接海岸に排水されており、これを原因として海岸付近での雑排水の臭気が著しい。更に、固形廃棄物が海浜に見られる。これは、ごみの投棄や海から運ばれる海洋ごみによっている。東海岸では二つの主要な河川、すなわちGRSEとRiviere des Creolesが流入している。これら河川からの漂着物も海岸に到達する。

海岸の現況を表 13.2.1に取りまとめる。

表 13.2.1 Grand Sableにおける海岸の現況

| 基礎調査番号 | No. 11 | PB番号 | No. |
|---|---|---|---|
| 海岸名称 | Grand Sable | | |

海岸位置

写真A　海浜の状況

写真B　海浜の状況

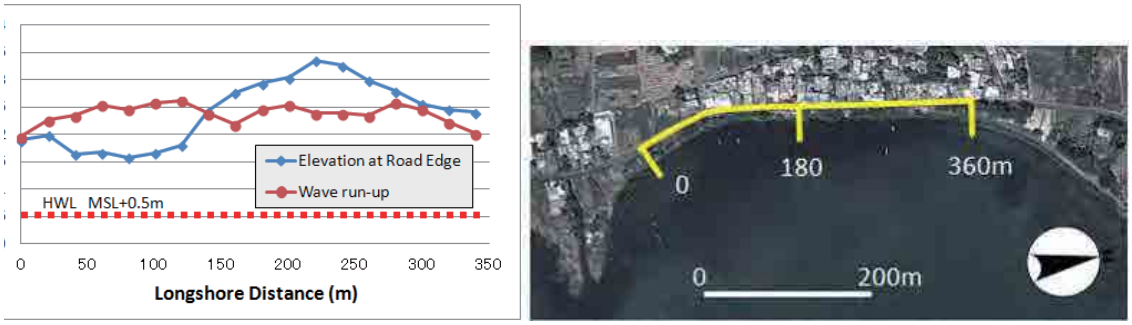
| | | |
|---|---|---|
| 自然・地形特性 | 海象条件 | 南からの季節風による波浪が来襲する場所であるが、前面のリーフ（2km程度）で減衰する場所である。 |
| | 地形条件 | リーフが6km程度と広く波浪が減衰しシルトの堆積がある。特に東南に広いリーフがあり、マングローブが自生している。一部玉石海岸もある。中央粒径は0.5～0.7mm（水中）であるが、陸域は8mm程度のものもある。 |
| 環境特性 | サンゴ礁 | 南側は河川（淡水）の影響を受けやすく、サンゴが生息し難い環境にあり、海草が繁茂している。サンゴ被度は0%である。 |
| | 水質特性 | 透明度は1m以下、シルテーションは非常に高い。海岸部にはマングローブが生息し、南側は河川の影響を受けるとともに背後の家庭排水の影響を受け、富栄養化している。 |
| 海岸変形特性 | 災害・構造物 | 波浪が減衰することから、構造物の被害は少ない。ただし、高潮による背後地への影響は懸念される。北側のLa Grotteに位置する公共用地で被害を受けている。直立の不透過擁壁が損傷し倒壊している。 |
| | 海岸変形 | 航空写真による解析、現地踏査から判断し、安定した海浜と考えられる。 |
| 海岸利用特性 | 海浜利用 | 海岸道路が建設されており、生活を支える道路として活用されている。重要性は高いと考えられる。 |
| 総評 | | 利用度の高い道路であるが、路面高が低く設定されていること、道路の陸側に民家が密集していることから、越波対策が必要と考えられる。道路の嵩上げや護岸の整備など、背後地の越波対策を講じる保全計画が必要と考えられる。 |

出典：JICA 調査団

### 13.2.5 海岸保全の課題

海岸は中央付近では溶岩が風化して、波により侵食された地形、両側は河川からの流出土砂により形成されて地形であり、海岸侵食は法面の崩壊程度であり、大きな問題で

はない。しかし、地盤が低い場所を海岸道路が走っており、越波の問題がある。しかも道路は空港から南東への観光地を結ぶ主要な路線となっている。

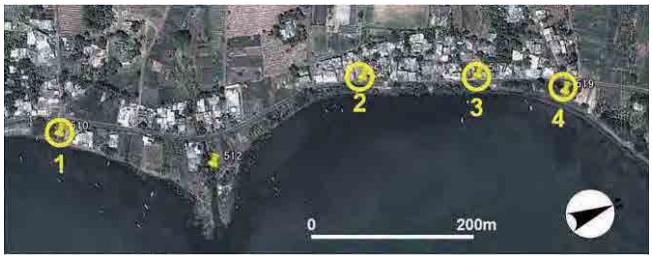



出典：JICA 調査団

図 13.2.3 Area A の海岸道路の標高

海岸道路の状況を図 13.2.3に示すが、将来の気候変動による海面上昇が生じると、道路交通に支障が生じる可能性がある。特に地盤高が1.5mと低い場所が続くことから、海面が上昇するとその影響は高い場所に比較して大きく表れる。

環境面では、図 13.2.4に示すように海岸のごみが漂着するとともに陸側からの投棄も



地点 1 ：道路の標高MSL+2.0m程度

地点2：道路の標高MSL+1.6m程度

地点3：道路の標高MSL+3.0m程度

地点2：道路の標高MSL+2.4m程度

出典：上図：Google Map を JICA 調査団で加工、下の写真：JICA 調査団

図 13.2.4 Area A の海岸状況

あり、ゴミの集積、景観の悪化、悪臭の発生などの問題を生じている。南の河口部ではマングローブの植林が始められたばかりで、その効果が発揮されていない。

## 13.3 海岸保全対策

### 13.3.1 基本方針

Grand Sableの物理対策実証事業対象地においては、海岸道路および住宅が低平地に位置しており、越波や一部侵食の問題を抱えていることから、これらの災害防止、海浜利用、環境保全に配慮した工法などによる海岸の保全を図ることを基本方針とする。対象地における海岸保全対策の基本的な方針を以下にまとめる。

- （防災）高波、越波などに起因する災害に対する十分な防災機能を有する施設整備とする。
- （利用）高波・越波対策として、モ国で一般的に用いられている工法は、捨石護岸による防護対策であるが、提案する工法は、特にモ国の海岸保全の基本理念である、自然に優しく、また海岸利用面の向上を図れる工法とする。
- （環境）Grand Sable周辺の自然、社会環境への負の影響を緩和しつつ環境・景観と調和した施設整備とする。
- （適用性）今後のモ国による事業の実施を見据え、持続可能性に配慮する。すなわち、提案する工法は、モ国で容易に入手できる材料を用いたものであるとともに、経済性（安価）に優れている工法とする。また、特殊な工法を用いない容易な工法であること。また、今後の気候変動による不確定要素にも対応可能な柔軟性のある工法とする。

### 13.3.2 基本計画

Grand Sableの物理対策実証事業対象地における海岸保全対策の基本計画として、主となる海岸施設を検討するうえで考えられる３つの工法（捨石護岸、フレキシブル護岸、離岸提）を取り上げ、上記の基本方針をもとにした評価による比較を行った結果、フレキシブル護岸の適正性が確認された。（Volume 1,Chapter 8を参照）

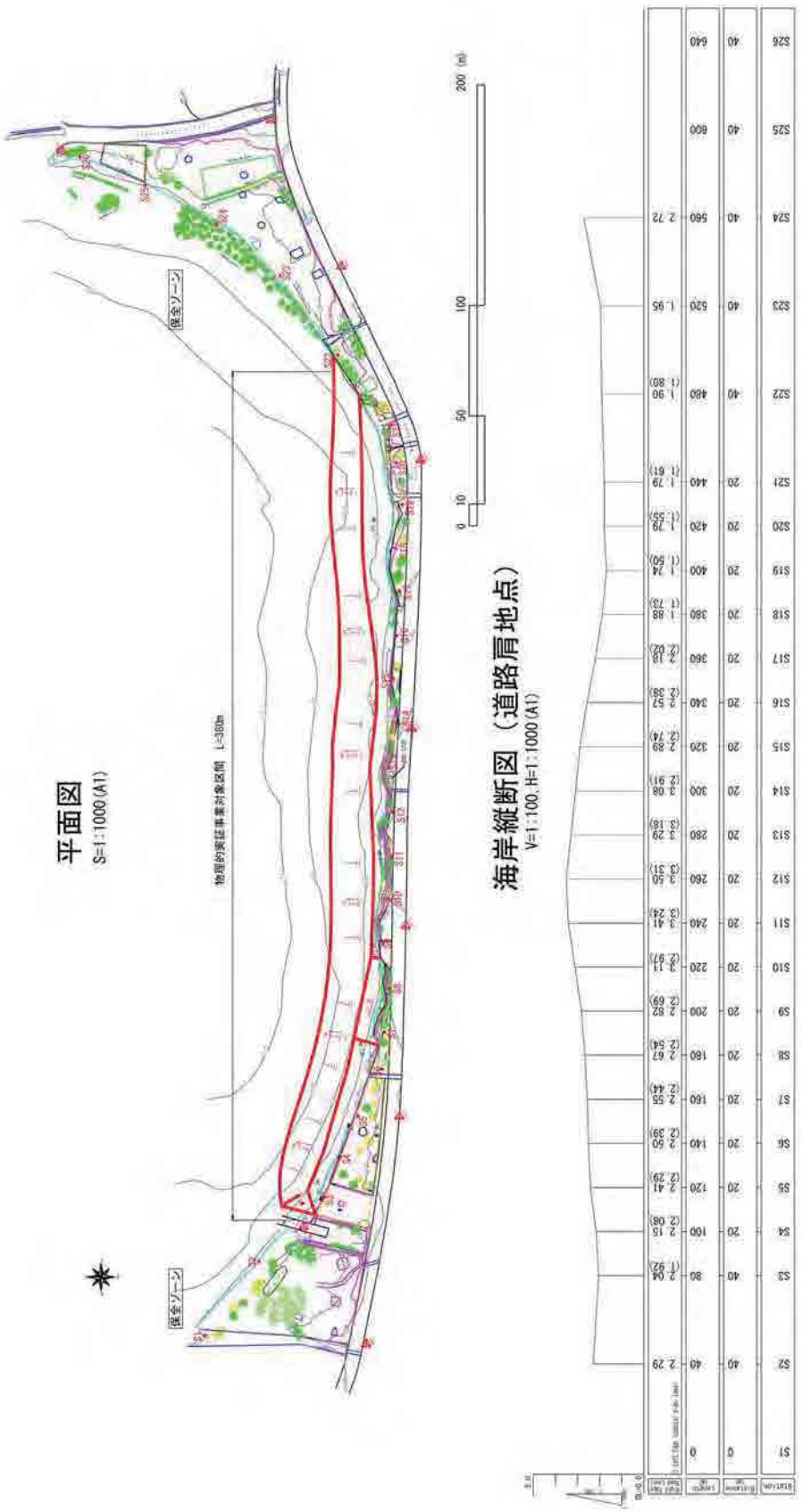
ここでは、主要施設となるフレキシブル護岸を中心にしたGrand Sableの物理対策実証事業対象地の、基本方針の４つのカテゴリー（防災、利用、環境、適正性）から導き出される全体的な基本計画（案）及び基本計画図を以下に示す。

表 13.3.1 物理的実証事業対象地における海岸保全対策基本計画（案）

| カテゴリー | 計画案 | 備考 |
|---|---|---|
| 防災 | ・高波、越波による災害を防ぐため、十分な防災機能を有するフレキシブル護岸の整備を図る。 | 物理的実証事業として一部実施済み |
| | ・大雨の際の道路の冠水を防ぐため、適切な排水機能を有する排水施設の確保及び実効性のある維持管理体制の構築を図る。 | |
| | ・海岸エリアの安全性を確保するため、道路と海外の境界において、車止め、段差、プランター等の設置など車両侵入を抑制する施設整備を図る。 | |
| | ・長期的な視点により更なる防災機能を高めるため、 | |

| カテゴリー | 計画案 | 備考 |
|---|---|---|
| | 海外道路の嵩上げを図る。 | |
| | ・フレキシブル護岸の形成する礫材の不法採取を防ぐための監視システムの構築を図る。 | ソフトプログラム |
| 利用 | ・フレキシブル護岸の海岸でのレクリエーション利用に十分な天端幅を設け、海岸利用の活性化を図る。 | 物理的実証事業として一部実施済み |
| | ・現況樹木の伐採を避けて快適な木陰の休憩所を設け、海岸利用の利便性を高める。 | |
| | ・北部海浜公園の公園施設の改修を行い、海岸利用と公園利用の連携を高めることによる一体となった海岸のレクリエーション機能を高める。 | |
| | ・海浜利用者にとって水際へのアクセス性を高め、地元漁師の船揚げ及び係留に支障のないようフレキシブル護岸は緩やかな傾斜をもつ構造とする。 | 物理的実証事業として一部実施済み |
| | ・地域住民による海岸ごみ収集などの美化活動の推進やイベントの実施など海岸を利用した地域の活性化を図る。 | 非物理的対策 |
| 環境 | ・護岸を形成する礫材のろ過作用による海岸付近の水質及び悪臭の改善を期待したフレキシブル護岸の整備を図る。 | 物理的実証事業として一部実施済み |
| | ・道路と海岸の境界に地域に自生する植栽を行うことで、海岸における地域特有の緑化推進を図る。 | |
| | ・対象地の河口砂州周辺を自然回復エリアとして位置づけ、マングローブ等の当エリアに適した植生の回復を推進し、生物多様性空間の更なる創出を図る。 | |
| | ・対象地の植生の生育状況や自然回復エリアの生態系の状況などのモニタリング活動を推進及び地域への情報共有を行い、対象地の自然環境についての意識の醸成を図る。 | 非物理的対策 |
| 適正性 | ・サイクロン等の自然現象を起因とするフレキシブル護岸の形状変形による防災機能低下の可能性を鑑み、護岸の復旧作業に備えた、護岸のモニタリング、情報ネットワーク及び維持管理体制の構築を図る。 | 非物理的対策 |

出典：JICA 調査団




出典：JICA 調査団

図 13.3.1 物理的実証事業対象地における海岸保全対策基本計画図

### 13.3.3 基本設計

物理的実証事業として対象地となった海岸のフレキシブル護岸の基本設計の内容を以下に整理する。設計範囲は、実証事業として護岸整備が実施された区域（対象地の南側）及び今後の短期的な海岸保全対策として整備を提案する残りの計画整備区域（対象地の北側）とに分け、それぞれの基本設計の内容を示す。

#### a. 設計条件

天端高・天端幅の設定は、設計波浪条件に対する波の打ち上げ高を算定し、設定する打ち上げ高以下を確保するように設定した。打ち上げ高の算定は中村(1972)による仮想勾配法を用いた。設計条件を下表に示す。機能目標としては、道路部の地盤高がMSL+1.6m程度の場所で、設計潮位（MSL+1.34m）に対して、設計波浪（H=0.4m）が打ち上がらない程度の安全性を確保するものとした。

表 13.3.2 設計条件

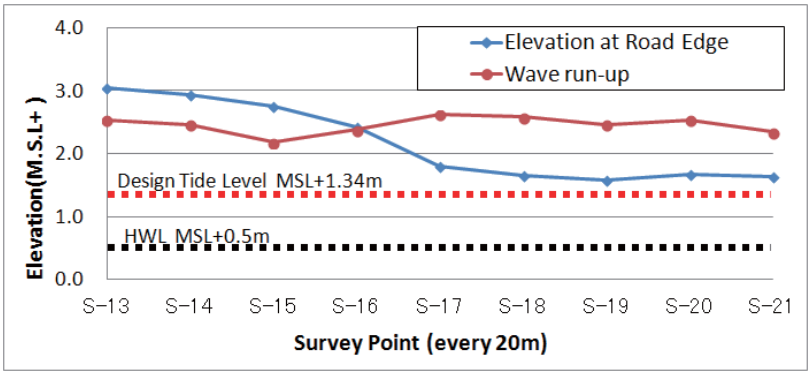
| 設計諸元 | 設計条件 | 摘要 |
|---|---|---|
| 30年確率潮位 (a) | MSL+0.67m<br>(CD+1.04m) | 30年間の潮位データを用いた極値解析より |
| 波による水位上昇量(b) | 0.55m | 30年確率波高に対する推定量 |
| 長期水位上昇量 (c) | 0.12m | 0.39mm/year×30年 |
| 設計潮位 | MSL+1.34m<br>(CD+1.71m) | = (a) + (b) + (c) |
| 設計波高$(H_{1/3})_{30年}$ | 0.4m | 30年確率波高 |
| 設計周期（$T_{1/3}$）$_{30年}$ | 8.0 s | |
| 地形 | | 2013年8月測量結果 |

出典：JICA 調査団

#### b. 断面設計（実施区間）

#### b.1 天端高の設定

実証事業対象エリアにおける道路肩地盤高、および上表の計算条件を用いて算定された想定打ち上げ高の関係を示したものが図 13.3.2である。これより、波の打ち上げ高の計算から、現況ではMSL+2.5m程度まで打ちあがると推察された。波の打ち上げ高は、基本的に天端高が高いほど、また天端幅が広いほど低減する。天端高を設定するにあたっては、現況の地盤高を踏まえた海岸利用面を考慮する。また住民からのヒアリング結果より、当海岸では大雨時の背後からの出水による被害が報告されている。これより、天端高については降雨時の海域への排水機能を妨げないように、極力抑えるものとする。これより、礫断面法肩部の天端高としてMSL+2.0mとした。




出典：JICA 調査団

図 13.3.2 道路肩地盤高と推定された波の打ち上げ高

### b.2 天端幅の設定

天端高をMSL+2.0mとした場合の、波の打ち上げ高を天端高以下に抑止するために必要な天端幅を、前述の仮想勾配法を用いて検討した。これより所定の機能を満たすためには道路肩から7.6m以上の天端幅が必要との結果が得られた。礫断面の波による変形も考慮し、天端幅（道路肩からの幅）として10m以上を確保するものとした。

### b.3 法勾配

礫の断面勾配はほぼ1/3～1/5程度になることが、他の事例や自然の礫浜の調査結果から知られている。対象海岸の現況の海浜勾配および「モ」国の他の類似礫海岸における海浜勾配を参考に、想定する安定海浜勾配として1/5程度となると想定された。これより初期断面として設定する法勾配として1/5と設定した。また、比較のために礫材とともに細粒土砂を用いる複合断面部に対する砂断面の初期勾配についても、「モ」国の他の類似礫海岸における海浜勾配を参考に、1/8と設定した。

### b.4 礫・細粒土砂の種類、粒径

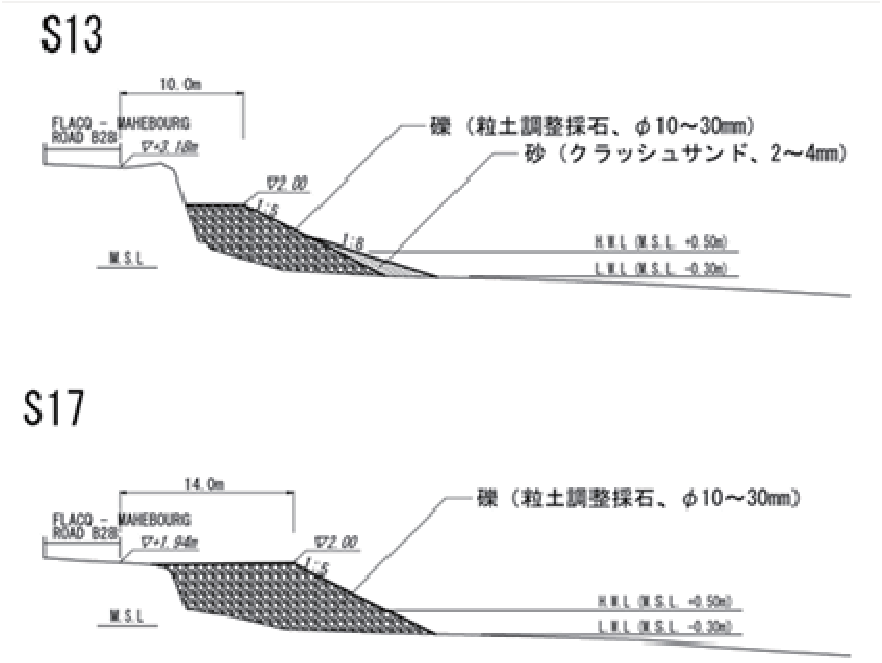
「モ」国における本工法の適用性を考えた場合、材料として用いる礫および細粒土砂は、「モ」国で大量に調達可能、かつ安価であることが望まれる。当海岸は、リゾートエリアで見られるサンゴ起源の白砂とは異なり、元来黒い土砂で構成されており、景観上・利用上、礫や土砂の色や組成に対する制限は特にないと考えられる。これより、用いる礫材、細粒土砂として、陸上で豊富に産出されかつ安価な、火成岩を砕いた砕石を用いることとする。中央粒径としては、採石プラントで利用できる粒径を考慮し、礫材は10mm～30mm程度、細粒土砂は中央粒径2～4mm程度とした。

実証事業についての短期間のモニタリング結果(Vol.1 Ch.8)によると、砕石の岸沖方向、沿岸方向移動は少なく、砂については、未施工区間への沿岸方向の移動が見られた。ただ、大きなサイクロンが来襲していないことから、粒径設定の妥当性については、モニタリングを継続する必要がある。

### b.5 排水工の延伸

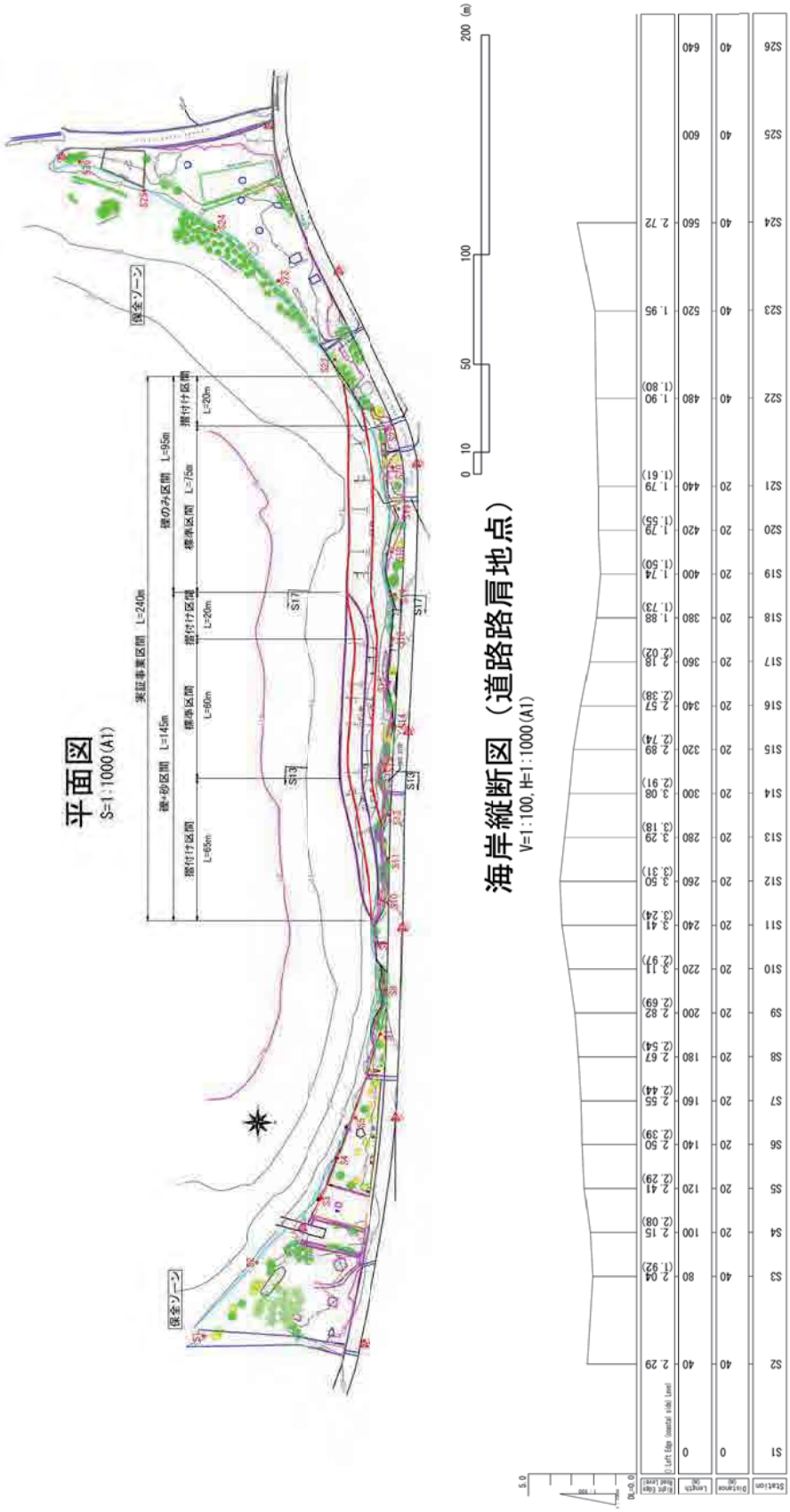
水際線の沖方向への延伸に伴い既存排水溝（ 対象地区全体で8箇所、整備実施区間で4箇所）の延伸を図る。延伸は、既存の排水溝の海側にヒューム管を連結し、護岸断面内を通すものとする。延伸するヒューム管の内径は、接続する排水溝の排水断面と同等以上とすることを基本として入手可能な２次製品から、整備実施区間の3箇所においては内径533mmを2ヶ所、685mmを１箇所と設定した。

実証事業で使用したパイプは有効に働かなかった。礫と漂着物が詰まった。また、清掃や維持が容易ではない。代替案として、維持の容易な開渠が考えらえる。排水路に傾斜をつけたフレキシブル護岸は、透水性が高く水が流れやすい。排水路の出口に砕石があっても、水はフレキシブル護岸を浸透して流れる。こうすることで、汚染した水をろ過している。定期的な維持管理として、排出口に堆積したごみやシルトの除去は必要であろう。これは、日常の清掃として行うことが出来よう。




出典：JICA 調査団

図 13.3.3 標準断面図（実施区間）




出典：JICA 調査団

図 13.3.4 平面図（実施区間）

### c. 断面設計（計画整備区間）

#### c.1 天端高の設定

実証事業実施地区の北に位置する計画整備区間の天端高の設定は、南側と地形条件に差異のないこと及び海岸エリアの連続性を勘案し、接続する付近については整備実施区間と同様の礫断面法肩部の天端高としてMSL+2.0mとした。一方、北部の公園付近においては、公園によって海岸までの距離が確保されているため波の打ち上げ高が低減されることから画一的な高さ設定の必要性はないと判断された。また、公園と海岸が一体となった空間は利便性だけでなく自然な景観を創出することに繋がるため、北部の公園付近の天端高は、公園の高さであるMSL+1.5mと設定した。

#### c.2 天端幅の設定

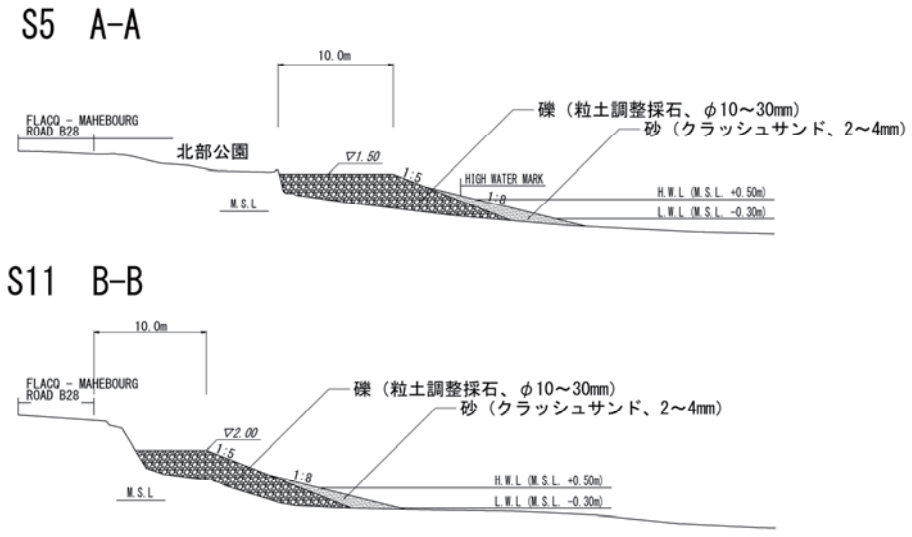
天端幅の設定は、南側の整備実施区間と同様の考え方により、最低天端幅を10m確保し、かつ一様でなめらかな汀線の確保を基本に設定した。

#### c.3 法勾配

計画整備区間の法勾配は、整備実施区間と同様の考え方により、礫断面部で1/5、砂断面部で1/8とした。

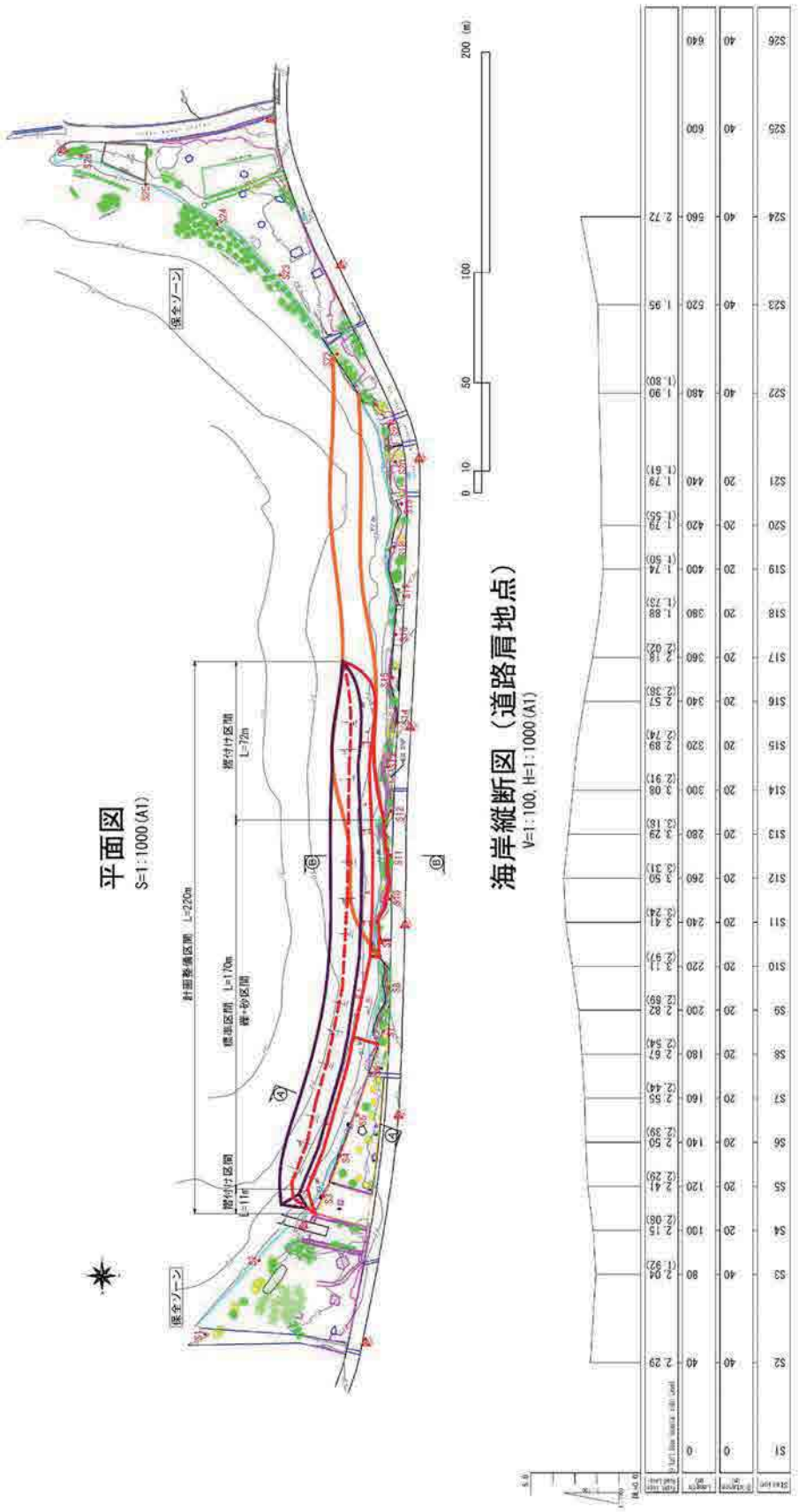
#### c.4 礫・細粒土の種類、粒径

計画整備区間の礫・細粒土の種類、粒径は、整備実施区間と同様の考え方により、礫材で10～30mm程度、細粒土砂は中央粒径2～4mm程度と設定した。




出典：JICA 調査団

図 13.3.5 標準断面図（計画整備区間）




出典：JICA 調査団

図 13.3.6 平面図（計画整備区間）

## 13.4 長期計画

この地区の一部は地盤が低く、海岸道路が走っている。将来の海面上昇による影響を地盤が低い個所が受ける。海面上昇の量に関しては不確定性があることから、その対応も検討しておく必要がある。対策案としては護岸の規模を大きくする、道路を嵩上げする、低平地の利用を規制するなどが考えられる。地盤高を見ると、図 13.3.2に示すように一部の区間で道路が低くなっている。この区間では、道路の補修等の際に、段階的に嵩上げをすることが可能と考えられる。

道路を嵩上げするとそれに接続する家屋のアクセス、排水が問題となるが、もともと低地で畑として利用されている場所であり、住宅としては適していない。したがって、地盤高と浸水のリスクを調査し、リスクの高い地区については土地利用の規制を行うことが求められる。また、必要であれば家屋の嵩上げや移転等を図ることで対応可能と考えられる。

実証事業は、「モ」国南東の海岸前面に広いサンゴ礁が広がる低平地での海岸防護対策として実施された。このフレキシブル護岸は、規模が大きくなく、海浜の利用や将来の海面上昇の対応できる利点を有している。「モ」国の自然条件、社会条件に対応するよう、さらに改善することが求められている。

実証事業対象地点の北側では、公共用地及び海岸道路の護岸が損傷を受け、基礎の洗掘が進んでいる個所がある。その対策として、礫を用いたフレキシブル護岸が適していると考えられる。しかし、この地点では地形的に斜めに波が来襲し、沿岸漂砂により護岸材料が移動する可能性がある。このような場合の適用性について、将来における他の海岸への展開を考慮して、ここに試験的にフレキシブル護岸を設置することを提案する。

## 13.5 維持管理計画

### 13.5.1 維持管理の課題

実証事業前の海岸は図 13.5.1に示す通り、大量のごみや海草が堆積し、タイヤなどが散乱し、非常に強い臭気を発していた。海草やごみの腐乱に加え、生活排水が流入しているものと考えられ、非常に劣悪な環境となっていた（図13.5.1）。健康を害するような状況であった。事業実施箇所の状況は、事業実施後約6ヶ月経過の2014年6月時点で図13.5.2の通り、水質や臭気、ゴミなどの堆積など、著しく改善されている。これは、住民の自主的な海岸清掃によるものと考えられる。一方で、事業実施箇所以外では、ゴミや海草の堆積や濁りも未だに著しい状況である。

海岸には大量のごみと海草が
堆積している

タイヤやごみなどが堆積し、非常に強い
臭気を発している。

出典：JICA 調査団

図 13.5.1 事業実施前の海岸状況

養浜エリアを北から南方向に望む

養浜エリア北側の海岸の状況、ゴミや海草が堆積している。

出典：JICA 調査団

図 13.5.2 事業実施後の海岸状況

### 13.5.2 維持管理

実証事業によって養浜が施された箇所では、ゴミの堆積や水質の悪化が改善傾向にある。これは、住民が自主的に海岸清掃を行っていることによるものと考えられ、さらにこれを今後の事業区間に広げることが求められる。

- MLGおよび郡政府の中で定期的な清掃（海岸上の漂着海草、マングローブ域のプラゴミ）から適切な処分までを含む取り組みを継続的に支援できる専門チームを設置することが求められる。
- Beach Authorityは公共海浜公園において海岸清掃を請け負うことが期待される。
- 漂着物（海草や藻類）は集めて礫養浜の後浜（海岸道路の近く）の中に埋め戻し、それらを処分すべきではない。これは、集められた海草などは、砂中に埋め戻すことにより腐植形成を促進し、土壌の改良に寄与する。腐植は土壌の湿潤状態や栄養分を改善し、植物の生長を促進する。また、藻類などは海洋植物連鎖を形成・促進する。
- MOESDDBMは住民に対してできるだけごみにしない、ゴミを捨てない意識の高揚に務める。
- 居住地前面の海岸では、地域住民が自主的に海岸清掃に取組むようにしていく。また、海岸域では不適切な行為（礫の盗難、海岸植栽の撤去、施設の損傷など）に及ばないよう地域住民が監視する体制を構築する。

また、将来の維持管理のために以下の項目についても実施する必要がある。

- MOIによる深浅測量の実施
- 継続的な海岸縦断モニタリングの実施
- 汀線変化の評価

# Chapter 14

*Albion　（崖侵食）*

# 14　Albion（崖侵食）

## 14.1　概要

Albionの崖海岸は、「モ」国における崖海岸の代表例として取り上げた。崖海岸は砂浜海岸と異なり、継続的に侵食され、自然の条件では堆積することがない。このため、崖海岸周辺の開発は侵食されることを考慮に入れる必要がある。ただ、崖の侵食速度は砂浜海岸に比較すると遅く、長期的な視点での計画となる。

この海岸では、現在崖海岸に隣接する台地上を開発する計画があり、崖侵食への対応を検討するのに適していると考えられた。この成果は、類似の崖海岸に適用できると考えらえる。

崖海岸の侵食への対応としては、セットバックと崖の基部での構造物対策が主なものである。これらの対策に関してこの海岸を事例として検討を行い、セットバックが適切であり、その量を算定する手法を提案した。

## 14.2　現況把握

### 14.2.1 海岸現況

この海岸は「モ」国の西側、首都Port Louisの南側に位置し、前面のサンゴ礁は発達しておらず、西からの風波およびサイクロンによる北西からの波を直接受ける。対象とする海岸は図 14.2.1に示すようにAlbion灯台の北にあり、高さ約30mの台地が存在し、海岸は崖となっている。崖の地質は玄武岩で構成され、岩質自体はかなり硬質であるが、縦横に不規則な亀裂が発達しており、洞穴やオーバーハングが認められる。また、崖の基部は崩壊した岩で構成されるテラスがある。

出典：Google Earth を基に JICA 調査団で加工

図 14.2.1 Albion(Cliff)の検討範囲

この海岸の特性を取りまとめると表 14.2.1に示すようになる。

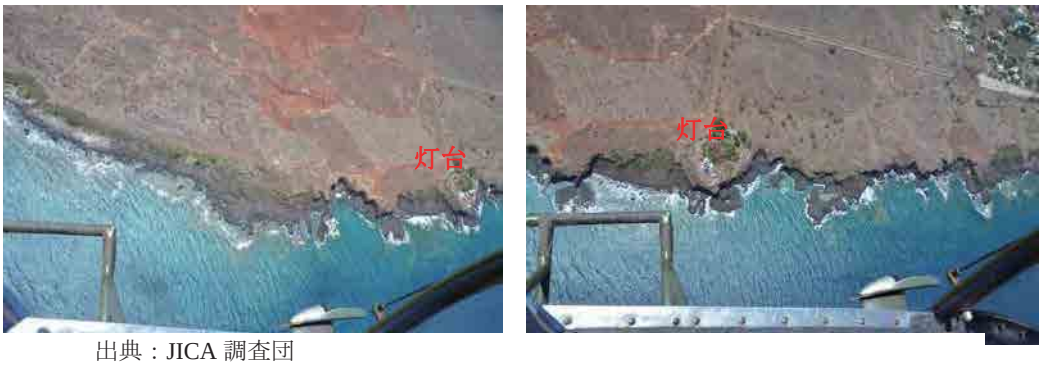
表 14.2.1 Albion(Cliff)の海岸特性と課題

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 基礎調査番号 | | No. 19 | PB番号 | No. |
| 海岸名称 | | Albion（Cliff) | | |
| 自然・地形特性 | 海象条件 | 島の西側に位置し、西側からの波浪とサイクロンの影響を受ける。 | | |
| | 地形条件 | 岩礁、ビーチロックで形成された海岸である。北側に砂浜があるが多くはない。 | | |
| 環境特性 | サンゴ礁 | 崖の前面にはサンゴ礁は発達していない、またサンゴの状況は調査されていない。 | | |
| | 水質特性 | 沖合にはリーフが無く、外海の影響が強く、水質は比較的良好である。 | | |
| 海岸変形特性 | 災害・構造物 | － | | |
| | 海岸変形 | 前面のリーフが発達していないため来襲波浪は大きいが、地質は玄武岩で硬質のため、波による侵食は自体は大きな問題となっていない。ただし、部分的に斜面崩壊が発生している。 | | |
| 海岸利用特性 | 海浜利用 | 崖海岸であり、現在は利用されていない。しかし、台地の開発計画がある。 | | |
| 課題 | | 「モ」国の崖海岸としては代表的な海岸の一つである。<br>海岸の背後には石炭火力発電所の計画があり、長期的な崖侵食を考慮に入れたセットバックラインの設定が重要となる。 | | |

出典：JICA 調査団

### 14.2.2 崖海岸特性

検討の対象となっている灯台周辺のヘリコプターで撮影した航空写真を図 14.2.2に示す。崖は均一に侵食されておらず、変動が大きく、その幅は30mにも及んでいる。また、崖の基部には部分的に崩壊した岩が堆積しており、そこに波が当たっている。崩壊した岩の幅は広い所では50mに達する場所がある。開発がが計画されているのは右の写真、灯台の北側に位置する。



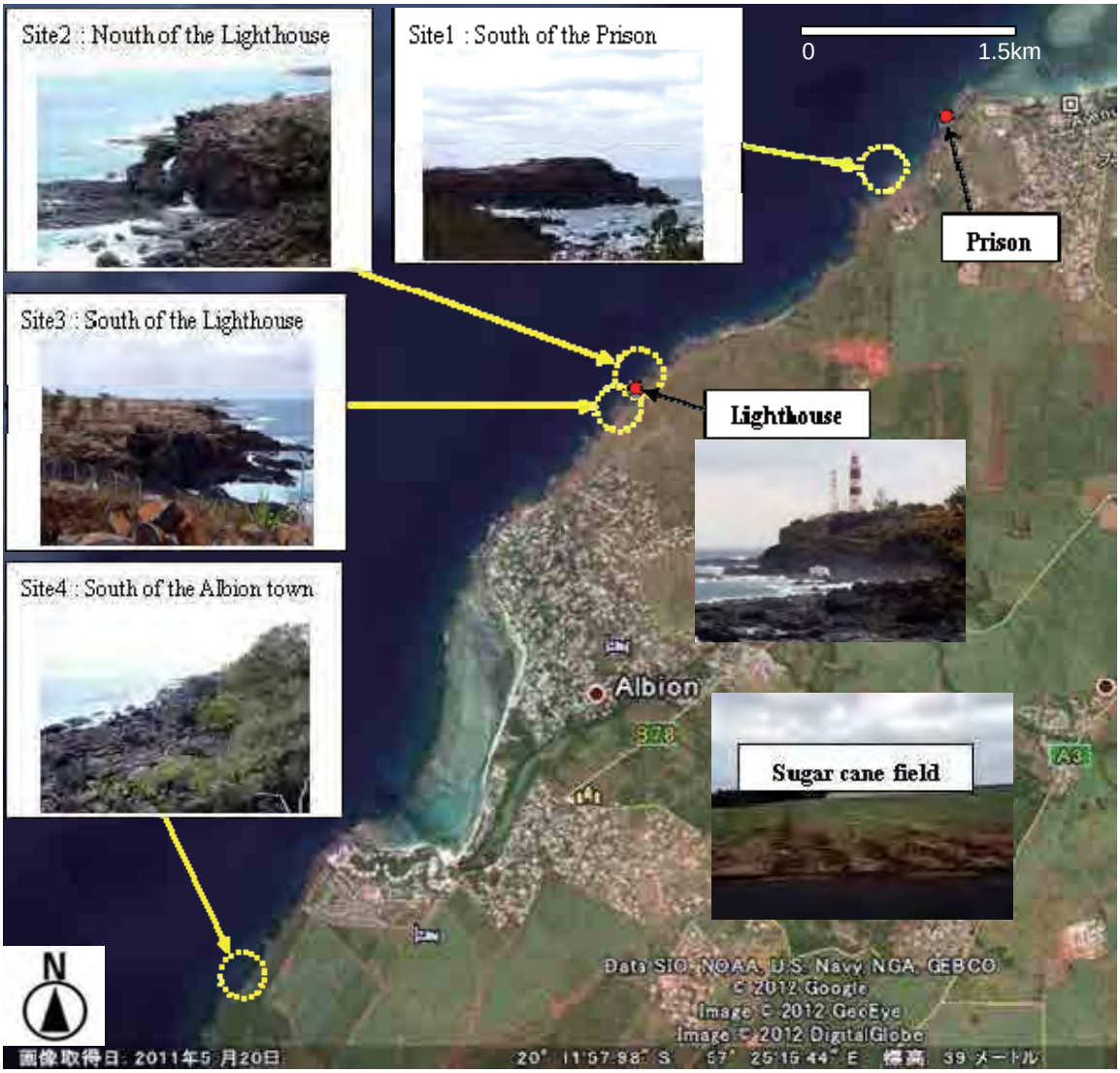

出典：JICA 調査団

図 14.2.2 Albion の航空写真右：灯台の北、左：灯台の南

Albionにおける崖海岸の特性を、現地踏査した。調査した4地点の位置を図 14.2.3に示す。調査方法は海岸の崖斜面（海食崖と呼ぶ）の形状（崖高さ、崖背後の状況、家屋の位置など）をスケッチし、写真撮影を行った。また、崖に露出する岩盤の亀裂や風化の程度、崖の特徴などを確認した。

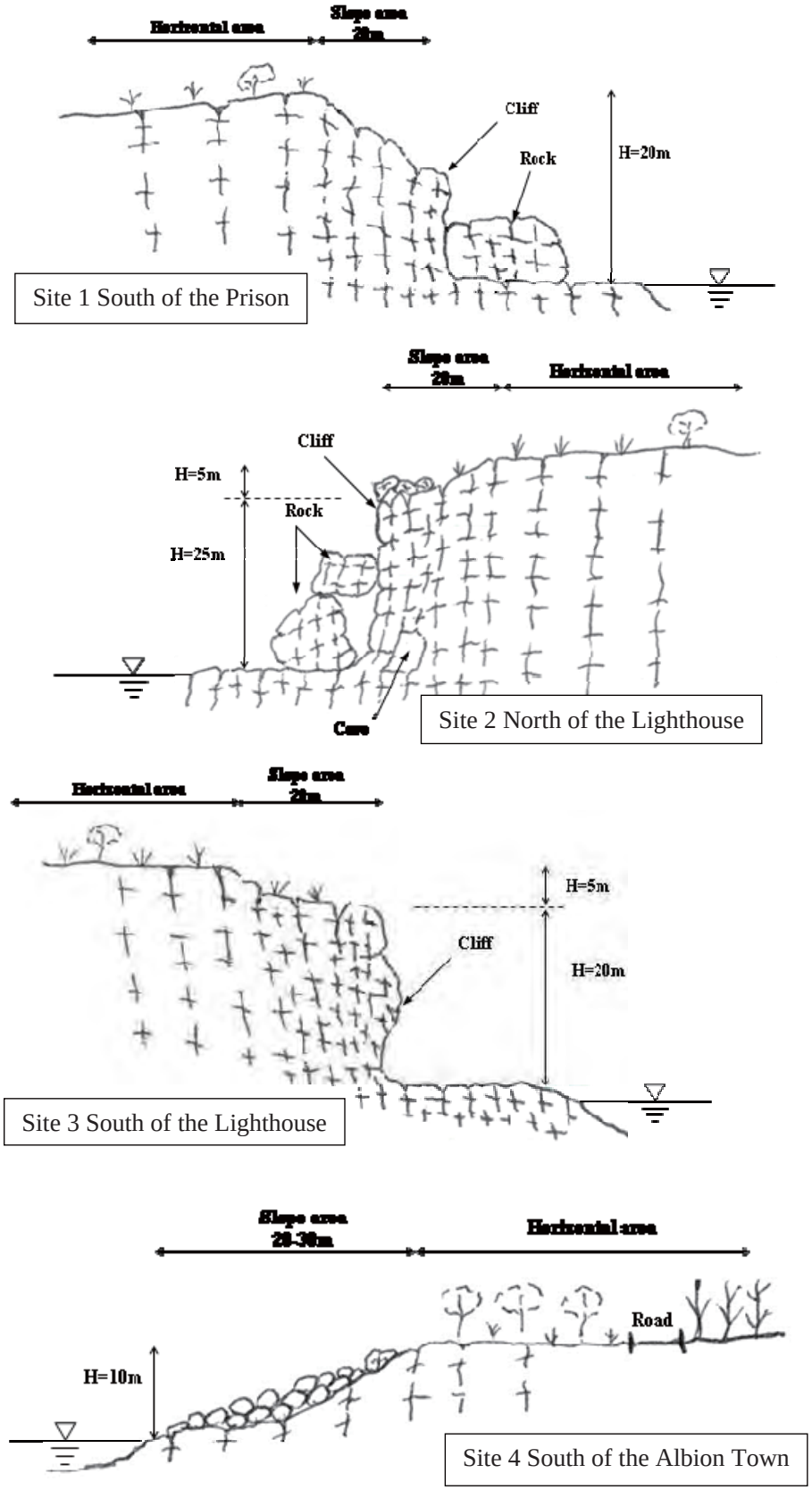
各調査地点の崖形状のスケッチを図 14.2.4に示す。これらの結果から地質の状況を見ると次のようになる。Albion一帯は宅地開発が進んでおり、隣接する区画も造成などの開

発が進行している。海岸の地質はTpb（玄武岩）を主体とし、海岸背後は比較的平坦でなだらかな地形面である。灯台のある場所（Site2,3:Pte aux Caves）や刑務所（Site1:Pte aux Sables）付近の海岸は高さ20～25m前後の海食崖で、崖面はほぼ直壁を呈している。崖に露岩する玄武岩は、岩質自体はかなり硬質であるが、縦横に不規則な亀裂が発達しており、洞穴（Cave）やオーバーハングが認められる。表層の岩盤は表土を伴いやや亀裂が多く、風化の度合いも進んでいるように見受けられる。下方の岩盤は岩塊自体がやや大きく、安定しているように見られるが、マトリックスが洗い出され、空隙を伴っている。オーバーハングが進行すると、上部の岩塊が崩落または落石する可能性がある。




出典：Google Earthを基にJICA調査団で加工

図 14.2.3 Albion の調査位置




出典：JICA 調査団

図 14.2.4 調査個所のスケッチ

## 14.3 海岸保全計画

### 14.3.1 海岸保全の課題

玄武岩自体は、波による侵食に対して抵抗力があり、米国オレゴン州の事例では侵食速度は5cm/year程度であり、崖海岸の波による侵食自体は大きな問題とはならない。しかし実態を調べると、海岸の崖は種々の形態を有しており、斜面の崩壊範囲を明確にして、将来の崖上部の土地利用や開発への影響を少なくする必要がある。対策としては、崖の保全対策、セットバックラインの設定等があるが、現状ではセットバックラインの設定適切であると考えられ、その設定方法が課題である。

### 14.3.2 海岸保全対策

波による崖侵食への対策としては、セットバックや構造物による対策がある。構造物による対策は軟岩で、侵食速度が年数10cmから1m程度の比較的早い場合に用いられている。対策としては崖の基部消波ブロックで保護する方法、護岸を設定する方法などがある。

玄武岩のように比較的波による侵食速度が遅く、それ以外の風化などによる侵食が問題となる場合には、単なる基部の保護では不十分で、崖全体の対策が必要になると考えられる。この場合、構造物の規模が大きくなり、費用も掛かることから、自然の状態に任せ、セットバックによりリスクを低減する方法が適している。したがって、ここではセットバックを採用し、その方法に関して検討を行った。

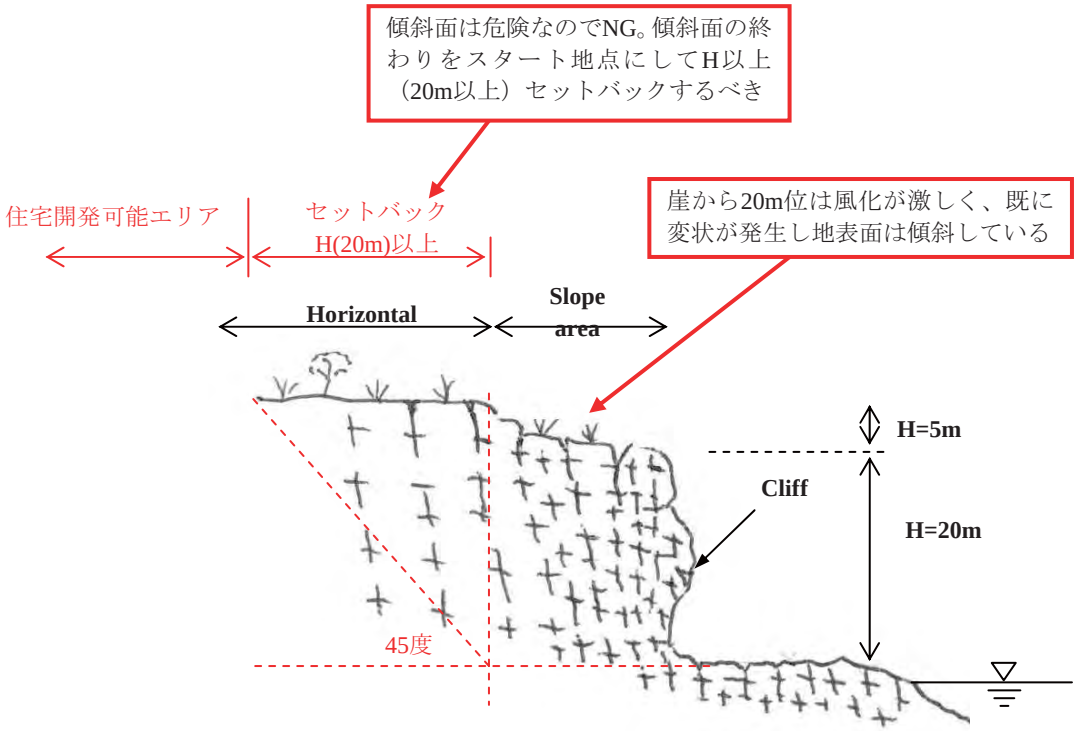
セットバックラインの設定については、海岸（汀線、崖）の後退速度の推定、住宅使用期限（耐用年数）、斜面崩壊範囲、余裕幅等を考慮して設定することになるが、この中で最も重要な斜面崩壊の範囲を現地踏査及び航空写真により解析し、設定することとする。

現地調査の結果により、設定方法を検討した結果、崖が風化し、空洞等の形成されている範囲に加え、斜面の安定勾配を約45度と考え、崖の高さと同じ範囲を追加した範囲とする。この模式図を図 14.3.1に示す。

崖の後退速度に関しては、軟岩では地図や航空写真から推定が可能であるが、それ以外では速度が遅いために困難であり、そのオーダーが推定されているに過ぎない。また、一定の速度で後退するのではなく、サイクロンの際に大きく後退する。

「モ」国でもサイクロンCarolの際に、南の海岸、Souillacの東で崖の崩壊が生じている。これによると、溶岩の基岩は安定であったが、その上部は風化や地下水の影響で劣化しており、高波浪により崩壊した。場所によっては20ft(7m)の後退が生じたとしている。このように一時的に大きな変化が生じる場合の長期的な予測は困難で、資料を蓄積する必要がある。（McIntire, W.G. and H. J. Walker (1964): Tropical Cyclones and Coastal Morphology in Mauritius, Annals American Association of Geographers 54, 582-596）

空洞等が存在する斜面崩壊の可能性の範囲は、現地の状況調査、平面的な海岸線の変動等から推定できよう。限られた現地調査の結果では、この範囲は20mから30mとなっている。




出典：JICA 調査団

図 14.3.1 セットバックラインの考え方（案）

崖背後の台地は、主にサトウキビ畑や住宅地として利用されている。灯台北側の背後地では石炭火力発電所の建設計画がある。

崖背後における公共施設、電力施設などの重要施設のセットバックラインについては、長期的な崖侵食や崩壊などを十分に考慮した上で、設定する必要がある。上記の模式図の通り、Slope areaから崩壊角45度のラインを最低限のセットバックラインとしている。一方で、玄武岩の侵食速度は5cm／年という経験値があり、この数値と重要施設の使用期間を100年と仮定した場合、約5mのスペースを考慮する必要がある。

従って、重要施設のセットバックラインとしては、以下の計算式を適用する。

Minimum Setback line = Slope area + Horizontal area （崩壊角45度考慮）+ 5m

現在に限られた資料から、この最低セットバック量を推定してみると、斜面崩壊範囲は30m、水平範囲は崖の高さを30mと仮定すると30m、これに侵食量5mを加えると65mとなる。余裕幅を考慮すると81m程度となる。

具体的な数値を設定するには、正確な地形測量資料が必要である。現在、「モ」国の地形図では等高線間隔が10mであり、これより崖の高さを推定することは困難である。したがって、地形測量を実施することが求められる。

## 14.4 維持管理計画

### 14.4.1 維持管理面での課題

主な課題としては、崖海岸における管理およびセットバックに関して適切な情報が存在しないことである。これには崖海岸の地形および地質の情報、それらの長期的な変化が含まれる。崖海岸で地形変化は非常に小さい。しかし、今後のモニタリングは将来のリスク低減に寄与する。

### 14.4.2 維持管理計画

崖海岸での保全計画は、セットバックに基づく。ここでの管理は、短期的にはセットバックエリア内での施設や構造物の建設に対する規制、長期的には崖侵食のモニタリングによるセットバックラインの見直しを継続的に行うことにある。