

海外のリーフ海岸保全事業におけるモニタリング調査 および維持管理上の課題

MONITORING STUDY FOR OVERSEAS BEACH CONSERVATION PROJECT AND PROBLEM ON MAINTENANCE AND OPERATION SYSTEM

大中 晋¹・遠藤秀文²・吉井一郎²

Susumu ONAKA, Shubun ENDO, and Ichiro YOSHII

¹正会員 工修 日本工営(株)コンサルタント海外事業部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)

²正会員 日本工営(株)コンサルタント海外事業部 (〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)

Long-term shoreline monitoring survey with more than three-years has been carried out after completion of beach nourishment in Sanur and Nusa Dua Beaches in Bali Island. The objective of the monitoring work is to know the beach behavior after initial beach filling and to prepare the future maintenance plan including the supplementary beach filling. It was observed that the beach reached in stable condition after half years although some unpredicted beach change appeared. After completion of project, some undesirable problems came into surfaced concerning maintenance and operation system.

Key Words : Beach Nourishment, Beach Erosion, Coral Reef, Monitoring Survey, Maintenance

1. はじめに

インドネシア国バリ島の観光地海岸であるサヌールおよびヌサダ海岸では、わが国の援助による海岸保全事業が実施されてきた。これは、1970年代より顕在化しつつあったサンゴ礁海岸の侵食問題に対処するために、養浜工による砂浜の回復を図ろうとしたものであった。我が国でのリーフ海岸上での大規模な養浜事例は限られる上に、養浜後の海浜の挙動に関する報告事例は限られている。このため、養浜事業で重要と考えられる、初期養浜後の養浜砂の追加投入を含めた維持管理計画の策定に対して参考となる現地事例は数少ない。サヌールおよびヌサダ海岸では、養浜砂の投入から既に3年以上経過し、投入直後から海岸モニタリング調査が開始され、現在も継続実施中である。そこで本研究は、両海岸のうち、サヌール海岸で実施されてきた過去3年間における養浜後の海岸モニタリング調査結果を用いて、養浜後の海岸挙動および養浜砂の歩留まり状況を明らかにするとともに、養浜事業実施後に両海岸で顕在化しつつある維持管理上の問題点・課題点について示す。

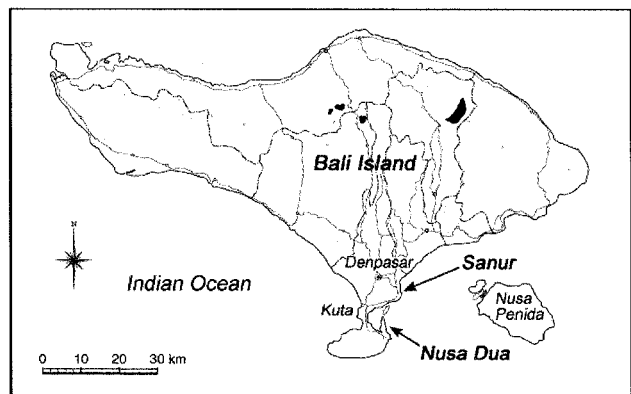


図-1 バリ島サヌール海岸とヌサダ海岸の位置

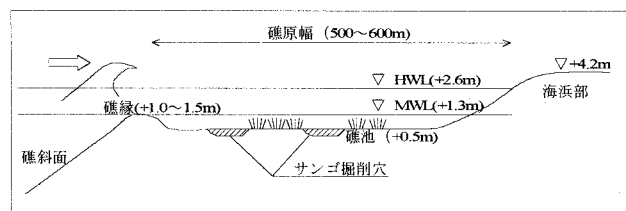


図-2 両海岸のリーフ断面状況

2. 調査の概要

(1) プロジェクトの概要

養浜事業の対象海岸は、バリ島内の有名なサンゴ礁海岸であるサヌール海岸とヌサドア海岸である。図-1に示すように、両海岸ともバリ島南東部に位置し、サヌール海岸は総延長が約6.2km、ヌサドア海岸は約5.6kmである。サヌール海岸の平均的なリーフ幅は600m、ヌサドア海岸は約500mである。これらの海岸の潮位はHWL+2.6m、LWL±0.0mにあり、平均的なリーフ上水深は+0.5mである（図-2）。両海岸では、観光資源として重要な砂浜の復元を目的とした養浜工事が2000年より開始され、2004年10月に完了した。この中で養浜砂の投入は2003年10月から12月にかけて実施された¹⁾。これより養浜砂が投入されてから現在まで既に3年半が経過したことになる。両海岸における海岸保全対策の基本的な考え方は、養浜工に流出防止施設としての突堤、ヘッドランドを組み合わせた静的安定化を図るものである。サヌール海岸では約30万m³の養浜投入と、合わせて13基の突堤・ヘッドランド、および1基の離岸堤を設置した（図-1）。一方ヌサドア海岸においては約35万m³の養浜投入と、13基の突堤・ヘッドランドを設置した。投入された養浜砂は、ヌサドア海岸沖の水深約20~30m地点の海底より自航式浚渫船にて採取され、両海岸に運搬後、排砂管を用いてリーフ内に投入された。

(2) 海岸線モニタリング調査

海岸線モニタリング調査は、養浜後の海浜挙動を把握し、今後の追加養浜投入を含む維持管理計画を策定することを目的に、養浜直後から現在まで継続的に実施されている。モニタリングの頻度は、養浜実施直後から半年間は1ヶ月毎、その後2年後までは3ヶ月毎、2年後以降は半年毎に実施している。

主なモニタリング項目は、汀線測量および定点写真撮影である。汀線測量は、沿岸方向の10~20m毎に測線を設け、各測線上での縦断測量を実施している。

3. 海岸特性および養浜形状の設定

サヌールおよびヌサドア海岸の両海岸とも、バリ島南部の東側に位置し隣接している。ヌサドア海岸はサヌール海岸より南側に位置し、南方より入射するインド洋からの入射波は、ヌサドア海岸の方が若干高くなる。両海岸とも卓越沿岸漂砂方向は、この南からの入射波の影響により、北向きとなる。しかしながら、サヌール海岸南側（写真-1中のG9付近）では、沖側のリーフギャップの地形に対応して海岸線が大きく凸型に屈曲するため、波の入射方向に対する海岸線方向が、このリーフギャップを境に北側と南側とで大きく異なる。これより本論では、両海岸のうちサヌール海岸について着目し、特にリーフギャップ南側と北側における養浜後の海浜挙動について示す。

(1) サヌール海岸の波浪、地形および漂砂特性

サヌール海岸で、過去に実施された約半年間での入射波浪調査より得られた当海岸での波浪特性はつぎのとおりである。リーフ外での入射波高 ($H_{1/3}$) は、0.4~1.5m程度の範囲に分布し、平均的には0.6m程度である。周期 ($T_{1/3}$) は6~14s程度の範囲に分布し、平均的には8.5s程度である。当地点では乾季（5月~10月）と雨季（11月~4月）とで風況および波浪特性が異なり、乾季には東からの貿易風が卓越し、バリ島東側に位置する当海岸では波高が高くなる。波向は、乾季と雨季とでそれほど違いはなく、年間を通じての主要な波向としてはESEからSEである。

リーフ上の波浪は、リーフの存在によりその特性

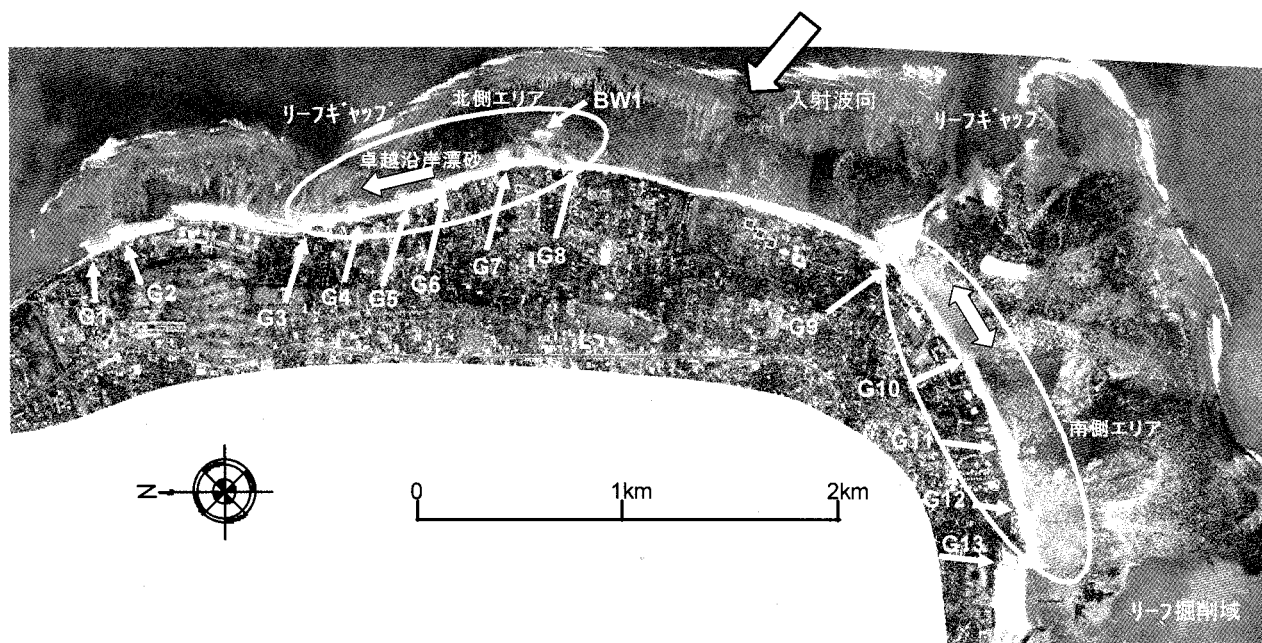


写真-1 サヌール海岸平面図

は大きく変わり、リーフエッジで一度砕波するため波高は減少し、周期は短くなる。リーフ上の波高変化はリーフ上水深およびリーフ幅に大きく依存する。写真-1に示す北側エリアのリーフ幅が200～400m程度の地点においては、リーフ上の波高はリーフ上水深の0.2～0.3程度、リーフ幅が1.2km程度となる南側では0.1程度である。またリーフ上では、リーフ内外水位差に伴う流れが潮位による水位変化に応じて生じ、特にリーフギャップを通してリーフ内外の海水の流入出が顕著となることから、その付近で流れも顕著となる。

サヌール海岸北側では、北に向かう沿岸漂砂が存在し、過去の汀線変化の実態解析結果より、沿岸漂砂量として $6,000\text{m}^3/\text{yr}$ と推定された。一方南側には顕著なリーフギャップが存在し、このリーフギャップを境に、南側エリアでは海岸線は大きく屈曲し、北側エリアの海岸線方向である南北方向から北東～南西方向に変化する。このような海岸線方向の変化により、南側エリアでは、以前から北側エリアで見られるような明らかな北向きの漂砂移動を示す海浜応答状況が見られなかった。さらに本プロジェクト計画後に実施されたサヌール海岸南端でのリゾート開発に伴う大規模なリーフ掘削により、サヌール海岸南側エリアの漂砂特性は以前の状態から変わった可能性があった。

(2) 初期養浜形状の設定

養浜平面形状は、養浜後の変形を最小限とするため、想定される波の入射方向に直角方向となるよう、養浜前の汀線形状に沿う形を基本とし、将来予測形状は汀線変化予測シミュレーションを実施し、確認した。また、ヘッドの存在による局所的な汀線形状は、 $\text{HSU}^{(2)}$ の式を用いて修正を加えた。必要養浜幅は、侵食前の1970年代当時の汀線位置まで復元することを基本とし、平均的な養浜幅として、20m程度と設定した。投入した養浜砂は、養浜前の当海岸の粒度分布、平均粒径 ($D_{50}=0.6\text{mm}$ 程度) に等しい諸元を持つことを確認している。これより断面形状については、基本的には養浜前の当海岸の自然海浜部における諸元と同様、前浜勾配については1:8～1:10、バーム高については+3.6mに設定した。

4. 養浜後の海浜挙動

(1) 北側エリアについて

はじめにサヌール海岸北側エリア(写真-1)における海浜挙動について示す。写真-2は、北側エリアに設置された6本の突堤群(G3～G8)の各形状・配置と、2006年8月時点における汀線状況を示したものである。なお、G7～G8突堤間には堤長約70mの離岸堤(BW1)が設置されている。図-3は、このエリアにおける2006年12月までの約3年間における汀線変化量を示す。縦軸の汀線変化量は、養浜直後の2003年12月を基準としたときの、+2.6m高さ(HWL)

における汀線変化量を示すものである。この付近のリーフ幅は200～500m程度と、サヌール海岸の中でもリーフ幅が狭いエリアである、特にG3～G4突堤間の沖側には小規模なリーフギャップが存在し、この付近でリーフ幅は最も狭まり、200m程度である。養浜前の当エリアは、ほぼ全域にわたり護岸で固められ、浜はほとんど消失した状態であったが¹⁾、養浜前の海岸状況から、北向き沿岸漂砂が存在することが確認されていた。図-3の養浜後の汀線変化状況からも、ほぼ一律の北向き沿岸漂砂の存在が確認できる。養浜投入から約半年後の2004年7月以降、顕著な変化は見られず、海浜はほぼ安定した状態を維持している。G3～G7突堤の4区画のすべてにおいて、初期汀線から南側で後退、北側で前進(もしくは変化なし)していることから、設定した初期養浜形状よりも、より角度を持った汀線形が安定形状であったといえる。離岸堤の存在するG7～G8突堤区間では、

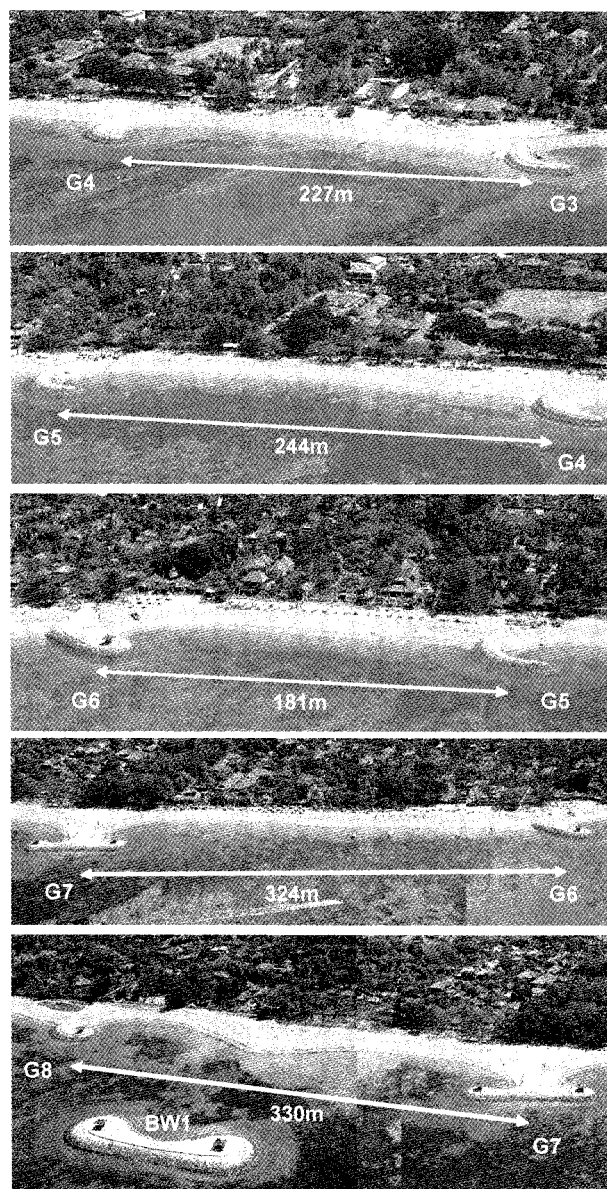


写真-2 北側エリアの突堤形状と汀線状況
(2006年8月)

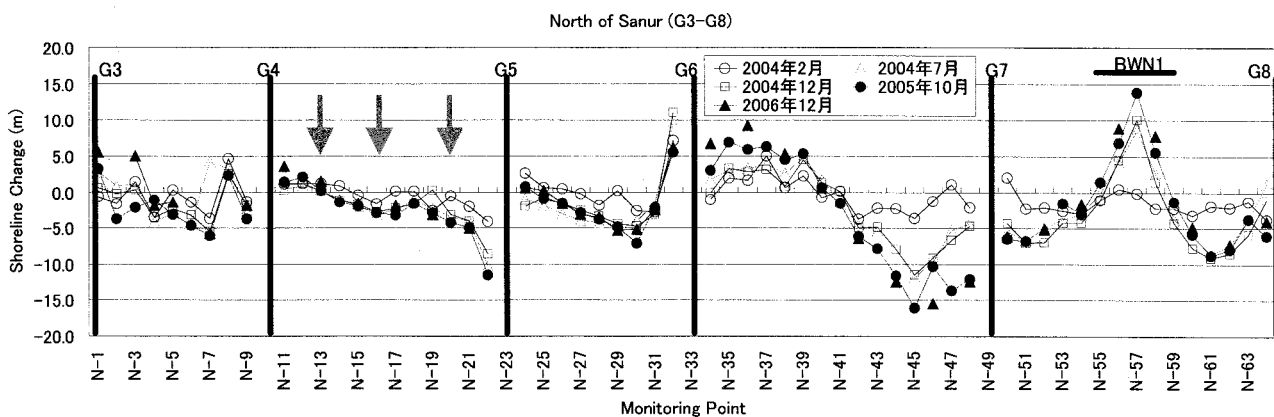


図-3 サヌール海岸北側エリアにおける養浜後の汀線変化

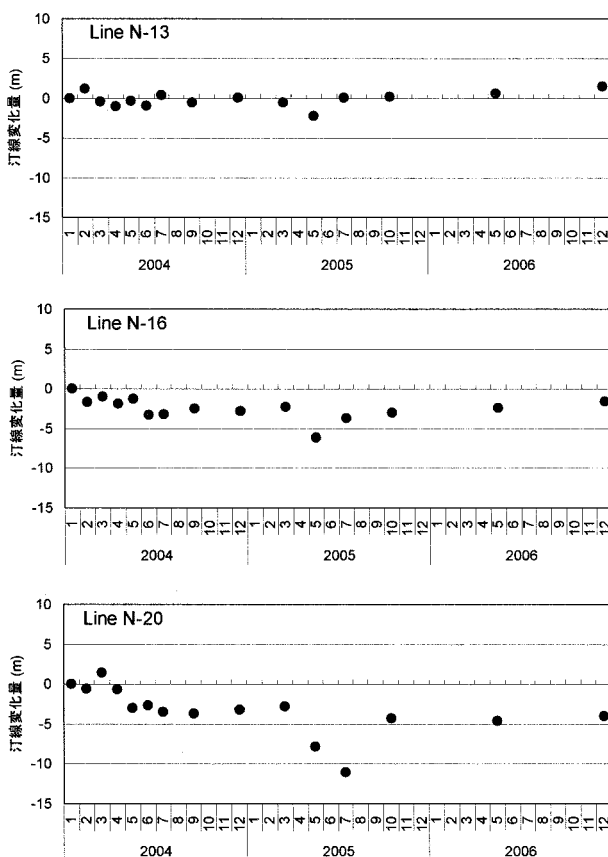


図-4 G4-G5突堤間の汀線経年変化

離岸堤背後のトンボロ形成のために、その両側の汀線が後退しているが、左右の非対称性が見られる。このことから、北向き沿岸漂砂の存在が確認される。

つぎに汀線変化の経年的変化を見るために、G4-G5区間内において、図-3に示すように中央部および左右の代表3測線での汀線変化量の経年変化を示したものが図-4である。これより養浜直後の初期変形は、養浜砂投入後ほぼ半年程度で安定化している様子が見られる。サヌール海岸は通常乾季（5月～10月）に波高が大きくなる傾向となるが、図-5からも乾季に汀線後退が顕著となる傾向が示されている。

しかし北側の測線ほど、乾季での顕著な汀線後退は緩和される傾向が見られる。これより、乾季では波浪エネルギーの増大により、一部の砂は区間外に流出するとともに、北側に砂が押されたと考えられる。

(2) 南側エリアについて

つぎにサヌール海岸南側エリアにおける海浜挙動について示す。北側と同様に南側エリアに設置された5本の突堤群（G9～G13）の各形状・配置と、2006年8月の汀線状況を示したものが写真-3であり、このエリアにおける汀線変化量を示したものが図-5である。当エリアにおける汀線変化は、北側エリアで見られたような北方向の沿岸漂砂を示す一律な変化ではなく、各区間で異なる傾向が見られる。G10-G11突堤間では北側での汀線後退と南側での前進、G11-G12間では北側での汀線前進と南側での後退が生じている。当エリアは、以前から年間を通しての一定方向の沿岸漂砂方向が見られず、季節あるいは各年により変動している様子が見られた。図-6は、G10-G11突堤間における代表3測線における汀線変化量の経年変化を示すが、北側での経年変化（図-

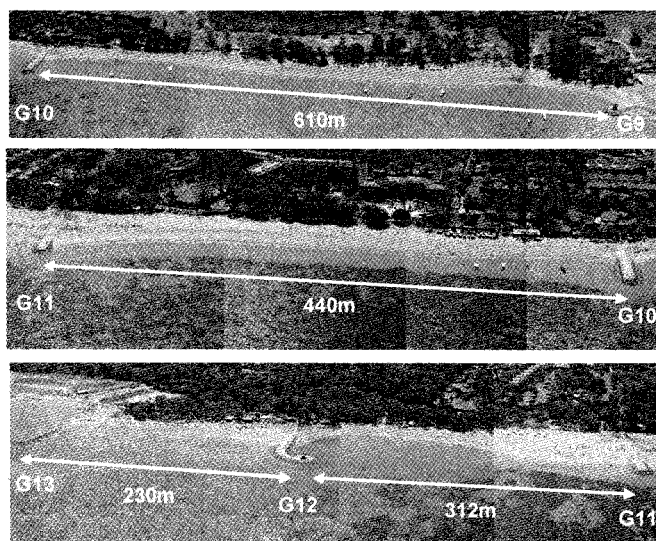


写真-3 南側エリアの突堤形状と汀線状況
(2006年8月)

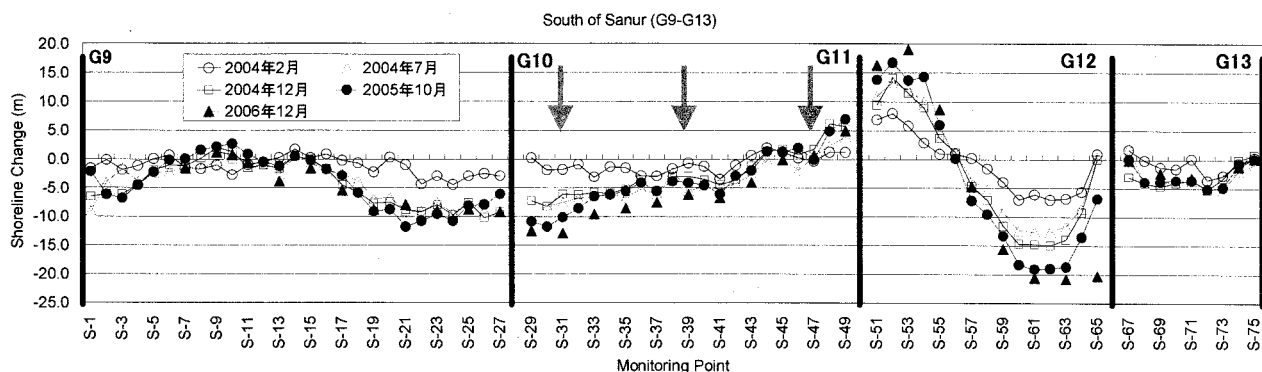


図-5 サヌール海岸南側エリアにおける養浜後の汀線変化

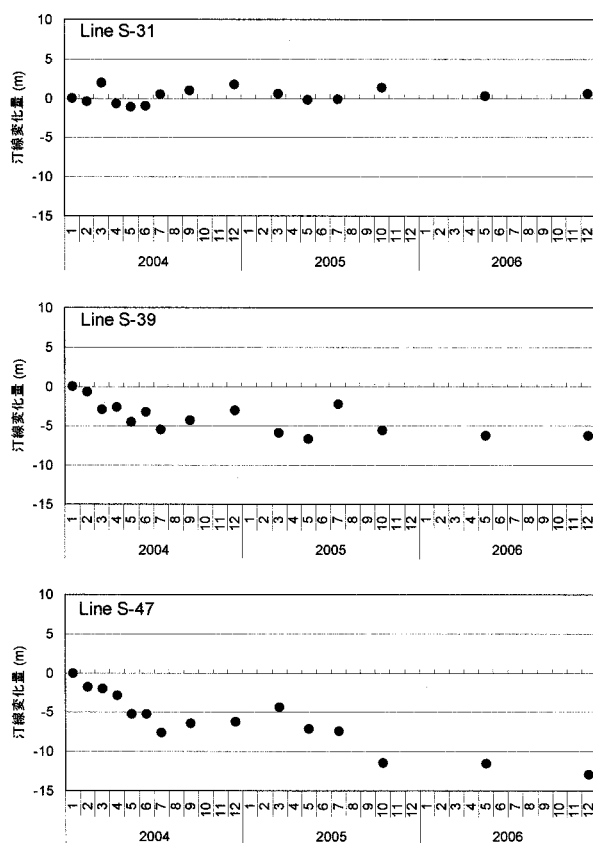


図-6 G10-G11突堤間の汀線経年変化

4) に見られたような明らかな季節特性は見られない。その要因の1つとして、当エリアは北側に比べてリーフ幅が1.2km程度と3～5倍程度広いために、北側エリアほど季節の違いによる沖波波浪特性の変化の影響を受けないと考えられる。また、G11-G12突堤間で見られる顕著な北側への砂移動は、南側でのリーフ掘削に伴い、リーフ外からの入射波エネルギーが他区間に比べて増大している可能性があること、およびリーフ掘削形状に対応して局所的な入射波向の変化が生じたことに起因すると考えられる。

(3) 養浜砂の歩留まり状況について

各測線上での縦断地形変化より計算される海浜土

砂量変化より、区間毎の養浜砂の歩留まり状況を調べた。その結果、養浜投入から3年経過した2006年12月時点で、北側エリア(図-3)においては9割強程度、また南側エリア(図-5)においては8割程度の歩留まり率が得られた。将来的な維持管理計画を策定する上で、今後もデータを蓄積し、より長期間での歩留まり状況を把握していく必要がある。

5. 海岸管理上の問題点・課題点

本事業においては、プロジェクトの実施から完了までは中央政府(公共事業省)の管轄下で実施される。しかしその後は、地方政府(バリ州政府)に管理運営も含めて移管されることとなっている。しかし両海岸とも完了して既に3年以上経過しているが、実際には養浜後の砂浜の管理運営は不明瞭のままである。その背景には、インドネシアではバリ島海岸を含め、海岸域管理に対する法的に定められたものは存在せず、管理区域、管理責任者、管理方法などが明確にされていないことが挙げられる。したがって、書面上では地方政府に移管されることとなっているものの、実際には地方政府側で、特に維持管理に関する予算措置や体制作りは行われていない。またインドネシア国として、大規模な養浜事業は初めてであることもあり、養浜事業を所定の耐用年数を持つ一般的な土木施設と同等と考えている関係者がほとんどであり、追加養浜等を含めた維持管理の必要性を認識している関係者は極めて少ないのが現状である。

このような海岸の管理運営体制の不備がプロジェクト終了後の本海岸に及ぼす影響の一例を示す。リゾート海岸であるサヌール、ヌサドア海岸では、法律上では明言されていないものの、背後にホテルが立地するプライベートエリアと、それ以外の公共エリアが混在している。プライベートエリアでは、各ホテル独自に日々の砂浜の清掃等の維持管理が実施され、良好な海浜状態が維持されている(写真-4)。一方公共エリアにおいては、十分な管理がされておらず放置された状態となっているエリアが多く、海岸域でのごみや海草類の滞積や、遊歩道を含む陸側部への砂の堆積等が生じ、海岸を散歩する観光客へ

の支障も生じている（写真-5）。

バリ島における海岸管理に関する唯一の法的規制として、満潮潮位時の水際線から陸側25m以内での一切の建造物の設置が禁止されている。本プロジェクトでは、陸側に遊歩道を設置しているが、その目的としては、単に海岸利用面の向上だけでなく、陸域と海岸域との管理境界の明確化を図ることも含まれている。ここで遊歩道を境界として海側は官側による管理を前提としており、また一切の建築物の設置を禁止する取り決めとなっている。それにも関わらず、復元された砂浜上での違法建築物の設置が数カ所で見られるが、放置された状態となっている（写真-6）。

6. おわりに

静的安定化を目指したバリ島サヌール、ヌサドア海岸における養浜事業は、養浜投入から既に3年以上を経過し、全体的にはほぼ安定した海岸状況を保っている。しかしながら、一部の箇所では当初の想定とは異なる海浜応答を示している箇所や、汀線後退が未だに生じている箇所も見られる。今後更にデータを蓄積し、実施後の海岸変化状況に応じた適切な順応化管理を実施していく必要があり、プロジェクト終了後は相手国政府が引き継いで実施していく必要がある。

リーフ海岸は、リーフの存在による自然の波浪低減が得られるために、養浜工に対して一般の砂浜海岸と比べて自然条件上の利点を有する。このため、初期養浜後の追加養浜砂投入を含めた長期的な海岸維持管理についても、通常海岸に比べて小さい規模ですむことが期待でき、相手国政府で実施できる可能性は十分あるものと考えられる。しかしそのためには、相手国による継続的な海岸モニタリングの実施とその解析・判断能力の構築、管理運営体制の確立等、ソフト面の充実が不可欠である。そのような体制を如何に構築していくかが、今後取り組んでいかなければならない課題である。

参考文献

- 1) 大中 晋・遠藤秀文・宇多高明・吉井一郎：リーフ海岸における養浜工の設計・施工および養浜後の海浜応答，第30回海洋開発論文集，pp. 475-480，2005.
- 2) Hsu, J. R. C. and C. Evans : Parabolic bay shapes and applications, Proc. Intn. Civ. Engrs, Part 2, 97, pp. 557-570, 1989.



写真-4 プライベートエリアの良好な整備状況



写真-5 公共エリア遊歩道上の砂の堆積



写真-6 養浜砂浜上での違法建築物の設置