養浜による砂浜復元とアオウミガメの産卵地の回復-伊良部島の長山の浜の例

仲嶺 智¹・山城 明統²・宇多 高明³・石川 仁憲⁴・嶺井 治男⁵・三波 俊郎⁶

¹伊良部大橋建設現場事務所主幹 (〒906-0015 沖縄県宮古島市宇久貝771-2)

²伊良部大橋建設現場事務所主任 (〒906-0015 沖縄県宮古島市宇久貝771-2)

³正会員 一般財団法人土木研究センター常務理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4タカラビル)

E-mail: uda@pwrc.or.jp

⁴正会員 一般財団法人土木研究センター (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4タカラビル)

E-mail: ishikawa@pwrc.or.jp

⁵(株) 岩下建技コンサルタント (〒901-2102 沖縄県浦添市前田二丁目19-16)

⁶海岸研究室(有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉301)

E-mail: GGB01566@nifty.ne.jp

現在建設中の伊良部大橋は、伊良部島との接続点付近がコーズウェイ(埋立地)として造られた。埋立地がリーフ上に造られたことにより、近隣には波の遮蔽域が形成され、遮蔽域内へ向かう沿岸漂砂が誘起された。このため橋の南側がひどく侵食された。対策として2012年には3基の突堤が建設され養浜が行われた。工事完成後、砂浜が復元され、ウミガメの産卵も始まった。これらの状況を現地調査により調べた。また、空中写真の比較や数値計算結果との比較も行った。

Key Words : *Irabu Island, Irabu Bridge, beach erosion, beach nourishment, sea turtle, spawning site*

1. まえがき

宮古島の西側に位置する伊良部島の南東端には長山の浜がある。この海浜は自然豊かな岩礁に囲まれた天然海浜であり、アオウミガメの産卵地として有名であったが、宮古島と伊良部島を結ぶ伊良部大橋の建設に伴い、伊良部島の基部に長さ670 mのcausewayが伸ばされたため波浪場が大きく変化し、橋の付け根方向への沿岸漂砂が誘起された結果、causewayの両側、とくに南部海浜は著しい侵食を受けた。その後BGモデルを用いた検討により2基の突堤と1基の「く」の字型突堤を伸ばし、突堤間で養浜を行えば侵食前の海浜に近い形で海浜復元が可能という結果¹⁾が得られた。この予測結果を受けて、2012年から突堤群の建設工事が開始されるとともに、橋の基部に過剰に堆積した砂24,500 m³を用いたサンドリサイクルが行われ、2013年5月までにこの工事が完了した。その後、回復した海浜では7地点でアオウミガメの産卵が見られるなど、元の砂浜の有していた機能回復が進みつつある。このことから、2013年4月以降、ウミガメの産卵調査を行うとともに、2013年8月28日には長山の浜の現

地踏査を行い、養浜前の2010年9月6日実施の現地踏査結果と比較しつつ対策効果について調べた。また、大橋建設により著しい海浜変形が生じた後の空中写真と、養浜後取得された衛星画像との比較により養浜の効果を調べた。

2. 空中写真と衛星画像による実測・予測汀線形状の比較

前報¹⁾で述べたように、伊良部大橋は伊良部島の南東端にある砂州である長山の浜を横断するように伸ばされた。図-1(a)は伊良部大橋周辺の2009年の空中写真を示す。伊良部島近くの伊良部大橋基部は埋立方式で造られた。この埋立地が大橋の南北両側からの波浪作用を遮った結果、波の遮蔽域の外側から内側へ向いた沿岸漂砂が生じ、伊良部大橋の南側と北側の離れた地点付近が侵食され、そこから運ばれた砂が大橋の付け根に堆積し、トンボロが形成された。一方、大橋の基部ac間の海浜のうち、大橋から離れた場所の砂浜は大きく狭まった。同

(a) 2009 年の空中写真

(b) 2013 年 11 月の衛星画像

図-1 伊良部大橋周辺の2009年の空中写真と2013年の衛星画像の比較

(a) 対策実施前

(b) 対策実施後

図-2 長山の浜の踏査地点

時に北側海浜でも侵食が進んだ。

図-1(b)は、養浜後の2013年11月の衛星画像に、前報¹⁾で示したBGモデルによる海浜変形予測で得られた予測汀線を重ねて示す。長山の浜では、伊良部大橋基部の埋立地により形成された波の遮蔽域へ向かう北向きの沿岸漂砂を阻止し、安定汀線を造り出すために突堤が3基が設置された。この場合、南西端の突堤①は「く」の字形で、付け根部分の長さが50m、先端部の長さが70m、全長で120mとされた。また、北側の突堤②③は長さが70mで、先端が東向きに傾いた突堤として造られた。なお、これらの突堤により安定な海浜が回復できればウ

ミガメの産卵も可能²⁾と考えられた。突堤間では後浜高が+2mとなるよう養浜が行われ、この結果海岸線とほぼ平行な汀線が形成され、対策以前には基盤が露出していたc点付近でも浜幅が広がった。前浜がほとんど消失した突堤①②間の中央でも幅32mの砂浜が復元された。

沖縄気象台によれば、2013年には6個の台風(4号:6月20日, 7号:7月12日, 12号:8月21日, 15号:8月29日, 17号:9月2日, 23号:10月5日)が宮古島に接近または上陸し、台風時の波浪の作用を受けた。これらの台風の波浪作用があったにもかかわらず、2013年11月では図-1(b)の

写真-1 架設中の橋の付け根から南側海岸を望む (2010年9月6日)

写真-2 侵食域に設置された多数の石詰め袋体 (2010年9月6日)

写真-3 石詰め袋体が並べられた南側海岸 (2010年9月6日)

写真-4 ビーチロックが露出した海岸線の突出部 (2010年9月6日)

写真-5 海岸線に沿って設置された石詰め袋体と背後の工事用道路 (2010年9月6日)

写真-6 海岸線の突出部を西側に回り込んだ場所に残された砂浜 (2010年9月6日)

写真-7 写真-6の矢印C位置に形成された比高1.4mの浜崖 (2010年9月6日)

写真-8 長山の浜西端部の海岸状況 (2010年9月6日)

ように、BGモデルにより予測された汀線形状¹⁾と実測汀線がほぼ一致を示していることから、突堤と養浜を組み合わせた砂浜回復手法がかなり有効であったと考えられる。ただ、モニタリング期間が6か月と短いことから、砂浜が長期的に安定であるかどうかについては今後のモニタリングに待たねばならない。なお、2014年4月の観察では、ほぼ同じ海浜状況が保たれていた。

3. 対策前後での現地海浜状況の変化

(1) 侵食直後の2010年9月6日の海岸状況

図-2(a)には2010年9月6日の現地踏査で写真撮影を行った地点を番号で示す。図の1~8が写真-1~8の撮影地点である。まず、現地踏査において、架設中の橋の付け根から南側海岸を望んだのが写真-1である。当時架設中の橋による波の遮蔽効果により、沿岸漂砂により

南側海岸から橋の付け根へと砂が運ばれた結果、橋の南側隣接部には大量の砂が堆積し、高いバームが形成されていた。これと対照的に、前方の矢印A以南には多数の石詰め袋体が並んでいた。これを至近距離から撮影したのが写真-2で、石詰め袋体は地盤面から約1.6mの高さまで2段詰まっていた。この付近は著しく侵食され、汀線が後退したため侵食の拡大を防ぐために当時石詰め袋体が設置された。前出の図-2(a)において、凹状の汀線に沿い、植生帯前縁線と平行に20m海側に伸びた黒い帯がこの袋体を示している。

袋体に上り南側を望んだのが写真-3である。多くの袋体は前面の砂の流出に伴い前傾し、同時に越波により袋体背後から砂が流失していた。その後海岸線に沿ってさらに南へ進むと、海岸線の突出部が見えた(写真-4)。この突出部には矢印Bのようにビーチロックが幅広く現われていた。通常、ビーチロックは砂浜の下部に陸側

写真-9 建設途中の橋の上から長山の浜を南向きに望む (2013年8月29日)

写真-10 突堤③とその背後の砂浜 (2013年8月29日)

写真-11 突堤③の背後に残された比高0.5mの浜崖 (2013年8月29日)

写真-12 突堤③の全体状況 (2013年8月29日)

写真-13 突堤③の天端と南側海浜の地盤高間に見られた約0.6mの標高差 (2013年8月29日)

写真-14 突堤③の陸端付近から南側を望む (2013年8月29日)

写真-15 突堤②、③間のほぼ1/10の前浜勾配 (2013年8月29日)

写真-16 突堤③の陸端付近での植生帯の繁茂 (2013年8月29日)

写真-17 突堤①背後の広い砂浜 (2013年8月29日)

写真-18 突堤①の西側の復元された海浜 (2013年8月29日)

にやや傾いた勾配を有して形成されることを考えると、写真-4のように砂浜の下に埋まっていたビーチロックの露出は、この付近が著しく侵食されたことをよく表している。

写真-4に示す露出したビーチロック付近で海岸線の方が変化し、西向きとなる。そこでもまた海岸線に沿って石詰め袋体が設置され、その陸側には工事用道路が伸びていた(写真-5)。海岸線の突出部を西側に大きく回り込んだ先には小規模な砂浜が残されていたが、この付近でも侵食が著しく進んでいた(写真-6)。その証拠として写真-6の矢印C地点では比高1.4mの浜崖が形成され、樹木の根が大きく露出していた(写真-7)。当地の前浜勾配は約1/10であったことを考慮すると、この付近での汀線後退量は約14mに達したと考えられる。写真-8は長山の浜の西端付近の海岸状況を示す。西端には岩盤が突堤状に延びており、それらが沿岸漂砂を阻止するため砂浜はほぼこの付近で終わっていた。

写真-19 アオウミガメの産卵地点1
(2013年8月29日)

写真-20 アオウミガメの産卵地点2
(2013年8月29日)

写真-21 アオウミガメの産卵地点3
(2013年8月29日)

写真-22 アオウミガメの産卵地点4
(2013年8月29日)

写真-23 アオウミガメの産卵地点5
(2013年8月29日)

(2) 養浜後の 2013 年 8 月 29 日の海岸状況

2013 年 8 月 29 日の現地踏査での写真撮影地点を同様に図-2(b)に示す。図の 9~23 が写真-9~23 の撮影地点である。まず、建設途中の橋の上から長山の浜を南向きに望んだのが写真-9 である。遠方から手前側へと突堤①, ②, ③が並んでおり、これらの間には砂浜が広がっていた。養浜前の写真-1 によると、南部では砂浜が消失し、汀線が背後地の亜熱帯樹林の基部近くまで迫っていたが、橋近傍から南部への砂輸送（サンドリサイクル）により、南部では海浜が拡大したことが明らかである。

汀線に降り立ち、前方に突堤③を望みつつ海浜状況を撮影したのが写真-10 である。突堤③の北側汀線が後退して凹状となった部分では矢印 D で示すように浜崖が遠望された。浜崖の比高は写真-11 に示すように 0.5 m であり、また浜崖直近には高波浪時の漂着物が残されていた。著しい侵食は突堤建設直後に起きたと考えられるが、養浜後にも浜崖の形成が進んだと見るのが妥当であろう。また、浜崖が突堤③の北側隣接部に形成されていたことから、南側から伊良部大橋へと向かう沿岸漂砂が突堤③により阻止され、同時に、突堤③以南での養浜土砂が北側へ流出するのを突堤③がうまく防止していることが分かる。

写真-12 は、突堤③をその付け根から先端方向を望んで撮影したものである。突堤の天端はコンクリートブロックで被覆され、天端幅は 4.5 m である。天端高が先端方向へと海浜勾配とあわせて 1/10 勾配で下げられてい

るため、突堤先端部が目立たず、また両端が曲面形状を有し、かつブロックに琉球石灰岩が張り付けられているため景観を大きく阻害せず、サンゴ砂からなる海浜とよく調和していた。同時に、写真-12 で突堤両側の汀線位置を比較すると、右（南）側の汀線が左（北）側の汀線位置より前進していることから、突堤③が北向きの沿岸漂砂を阻止していることが確認できた。突堤③と南側の海浜高は写真-13 のように汀線付近で約 0.6 m の標高差があり、突堤の天端面は海浜と平行に高さが低下していた。なお、各突堤の天端高は、突堤天端を横切る砂移動を防止するために後浜高+2.0 m より 0.5 m 高く、+2.5 m とされた。また突堤先端部では、景観への影響を小さくするため天端高を極力下げ+0.9 m とした。以上より、突堤③は大きく突出することなしに砂の越流を防ぐことが可能となった。一方、突堤③の陸端付近から南側を望んだのが写真-14 で、海岸の亜熱帯樹木の前面には砂浜が広がり、樹木を波浪から防護していた。この付近の養浜前の状況は写真-2 に示したようであり、侵食が進んで砂浜が消失し袋体が置かれた状態と比べて砂浜の復元が進んだことがよく分かる。

突堤②, ③間の汀線において前浜勾配を測定すると、前浜勾配はほぼ 1/10 であった（写真-15）。この勾配は対策として用いられた突堤天端の勾配と同一であるが、これは当初から突堤が景観に及ぼす影響を極小化するために突堤天端の勾配を前浜勾配と同一にした結果でもある。一方、その背後の樹林帯の前面では緩やかなスロー

ブが形成され、そこではグンバイヒルガオなどの植生の繁茂が始まっており、亜熱帯の植生の繁茂が可能となっていた(写真-16)。養浜以前、この付近は写真-3のように海岸線に沿って袋体が設置され、その背後には工事用道路が伸びていた状況と比較すれば、環境復元がうまく進んだことが分かる。植生帯の始まる砂浜の標高はほぼ+2 mとされており、通常波浪の遡上がない高さまで養浜された。

既に写真-4, 5に示したように南部の海岸線の突出部付近ではビーチロックが露出していた。この付近では養浜により砂浜幅が大きく広がり、樹林帯の前面に広々とした砂浜ができた(写真-17)。さらに突堤①の南側状況を写真-18に示す。ほぼ同じ区域の2010年9月6日の状況を示す写真-6と比較すれば、南部の広い範囲で露出していたビーチロックが砂浜に覆われたことが分かる。

(3) アオウミガメの産卵調査

ウミガメの産卵には一定の砂浜幅が必要であって、砂浜幅が狭い場合、上陸しても産卵を回避する割合が高まる²⁾。このことから突堤3基の建設と養浜により侵食されて消失した砂浜の復元が進められた。この結果、海浜植生の繁茂が始まるとともに、浜崖侵食による樹木の根の露出も防ぐことが可能になった。しかしながら、長山の浜は侵食以前ウミガメの産卵地としても知られていたことを考慮すれば、砂浜が回復したことをもって環境改善が進んだと即断はできない。このことから2013年4月以降ウミガメの産卵調査を行った。この結果、8月までに延べ9頭のアオウミガメの上陸が認められた。今回の踏査では、この調査結果を熟知する事務所職員が同行したため、5箇所のアオウミガメの産卵穴の確認された。図-2に示す地点19~23が産卵地点で、地点19, 20, 21は突堤①の西側海浜であり、地点22, 23は突堤②③に挟まれた海浜上で、海浜背後の樹林帯と海浜地の境界付近であった(写真-19~写真-23参照)。南側から地点19~21へと接近するウミガメに対し、突堤①の先端部は東向きに

伸びているので障害となりにくかったと推定される。また地点22, 23は突堤②③のほぼ中央部であり、突堤の影響を受けにくい場所が選定されたように見える。アオウミガメの産卵が侵食以前と同レベルで行われたかどうかは不明であるが、侵食され海岸線が石詰め袋体で覆われた状況ではウミガメの産卵はまったく困難であったことを考慮すれば、ウミガメの産卵地確保の意味でも一定の効果を上げたと考えられる。

4. あとがき

長山の浜では、突堤建設とその後のサンドリサイクルにより砂浜が再生され、海浜植生の繁茂が始まるとともに、浜崖侵食による樹木の根の露出も防ぐことが可能となった。また、ウミガメ上陸調査によれば、8月までに延べ9頭のアオウミガメの上陸が認められた。今回の踏査では、5箇所のアオウミガメの産卵穴を確認した。このように養浜によりウミガメの産卵地確保でも一定の効果を上げたことが分かった。今回の調査では夏季に6個の台風が宮古島に接近または上陸し、海浜は波浪の作用を受けているが、海浜の安定性を確認する上ではモニタリング期間が短いことも事実であり、今後なお数年間のモニタリングを行うことが望ましい。これらは今後の課題として残されている。

参考文献

- 1) 宇多高明, 宮原志帆, 宜保 勝, 勢理客武, 奥間章, 嶺井治男, 三波俊郎, 芹沢真澄, 菊池昭男: 伊良部島長山の浜の侵食実態とBGモデルによる海浜安定化検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.67, No.2, p.L586-L590, 2011.
- 2) 自然共生型海岸づくり研究会編, 国土交通省河川局砂防部保全課海岸室監修: 自然共生型海岸づくりの進め方, (社)全国海岸協会, 平成15年3月, p.73, 2003.

RECOVERY OF SANDY BEACH AND SPAWNING SITE FOR SEA TURTLE- EXAMPLE OF NAGAYAMA BEACH ON IRABU ISLAND

Satoru NAKAMINE, Aketo YAMASHIRO, Takaaki UDA, Toshinori ISHIKAWA,
Haruo MINEI and Toshiro SAN-NAMI

Irabu Bridge under construction has a causeway at the connecting point to Irabu Island, which formed a wave-shelter zone on the nearby reef and longshore sand transport was induced by the wave-sheltering effect of the causeway. Beach was severely eroded on the south coast of the bridge. Measures using three groins and beach nourishment were taken in 2012. After the completion of the measures, sandy beach was recovered and the spawning of sea turtle was started again. These situations were investigated by field observations along with the comparison of the aerial photographs and the numerical simulation results with the measured.