

リーフ海岸での侵食対策とその問題点

COUNTERMEASURES AGAINST BEACH EROSION ON REEF COAST AND THEIR PROBLEMS

宇多高明¹・菊池昭男²・三波俊郎³・芹沢真澄⁴・古池 鋼³・柴崎 誠⁵
Takaaki UDA, Akio KIKUCHI, Toshiro SAN-NAMI, Masumi SERIZAWA, Kou FURUIKE
and Makoto SHIBAZAKI

¹ 正会員 工博 (財) 土木研究センター 理事 なぎさ総合研究室長 (〒110-0016 台東区台東1-6-4 タカラビル)

² 正会員 (有) コスタルテクノ (〒903-0804 沖縄県那覇市首里石嶺町4-329-3)

³ 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)

⁴ 正会員 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)

⁵ (株) 三洋コンサルタント (〒802-8534 北九州市小倉北区京町3-14-17)

Beach erosion of a reef coast was investigated, taking the Yagaji coast in Okinawa as an example. On this coast, a very shallow flat reef develops with natural shoreward sand transport. Recently, a long groin as well as beach nourishment was constructed as a measure against beach erosion. However, this groin obstructed natural sand movement, resulting in downcoast erosion. A typical, natural coast with coastal characteristics in Okinawa was altered to the artificial coast as the one in Honshu. In the shore protection in Okinawa, the characteristics of reef coasts should be more deeply taken into account to avoid these situations.

Key Words : Coral reef, Okinawa, shore protection, beach erosion, Yagaji coast

1. まえがき

沖縄は亜熱帯地方に位置するため各所にリーフが発達している。リーフは、天然の防波堤として高波浪から海岸を防護する上で役立つとともに、リーフ外縁付近からの岸向き漂砂は、海浜の発達を促す上で重要な役割を果たす。後者は、波とリーフの地形、および運ばれる物質の間での微妙なバランスの上で成立している。また、リーフのような極浅海域においては、本州の急勾配海浜と相違し、岸向き漂砂が顕著な形で観察される。岸向き漂砂が陸岸に到達した後は、斜め入射波の条件下で沿岸漂砂となって移動し、全体としては漂砂の系をなしていると考えられる。

最近、沖縄県では観光立県が進められているが、海岸保全のための事業が、上述の自然特性を無視して計画されたために、場合によっては折角の沖縄らしい風景を台無しにしてしまい良好な環境が失われる例も多い²⁾。本研究では、沖縄特有の風景を保護しながら海岸保全を進める手法について沖縄本島中部に位置する屋我地海岸を例として考察する。このため2001年9月9日と2004年7月9日に海岸の現地踏査を行うとともに、空中写真に基づく分析を行った。

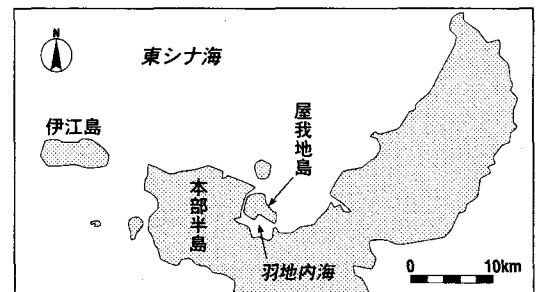


図-1 屋我地海岸の位置

2. 空中写真比較に基づく屋我地海岸の変遷

2.1 空中写真の比較

研究対象地は、図-1に示すように沖縄本島中部、本部半島の北東側付け根に位置する屋我地海岸である。この付近では屋我地島と奥武島が連なり、その内側には羽地内海が発達している。屋我地海岸は屋我地島の東側に沿って延び、一連のフック状海浜の南端には海水浴場として有名な屋我地ビーチがある。屋我地島の東沖には幅約3kmのリーフが発達しているため東シナ海からの入射波は大きく減衰する。

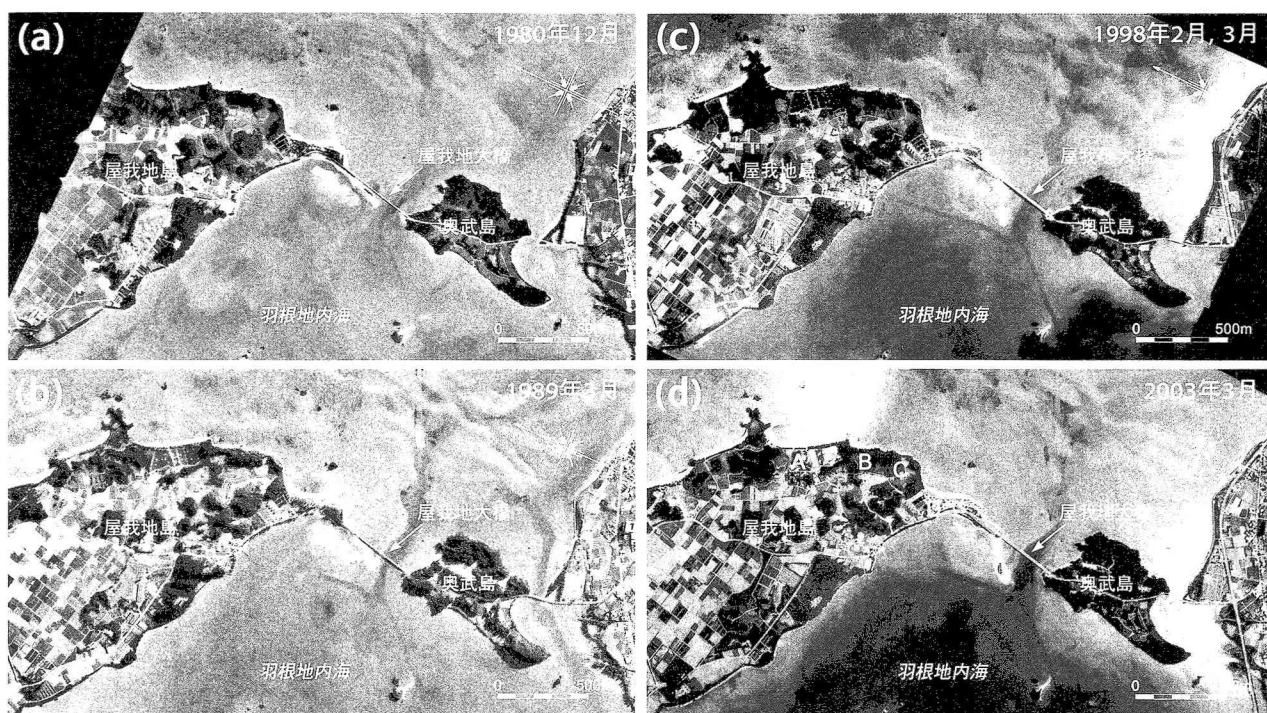


写真-1 屋我地海岸の空中写真

写真-1(a), (b), (c), (d)には1980, 1989, 1998, および 2003 年撮影の屋我地海岸と奥武島の空中写真を示す。写真-1(a)によれば、屋我地地区には北端に長さ約200mの岬があり、この岬の南側にフック状の海岸線が延びている。これらのフックについて、北側から順にA, B, C, Dと呼ぶ(写真-1(d))。フックの規模は、それぞれ400m(A), 160m(B), 160m(C), 350m(D)である。なおフックC, D間の海岸線形状もわずかにフック状を呈するが、フック度が小さいためフックとして分類しない。

岬の南側におけるフック状海岸線の発達には、この付近における沿岸漂砂の卓越方向が南向きであり、羽地内海の入口を埋めようとする方向であることを示している。一方、フックDの沖にある島の背後に典型的に見られるように、島の背後にはcomet tailが陸向きに細長く延び、その先端が海岸線にまで達している。これは、島の侵食土砂および島周辺の岩礁帯に生息するカキなどの破砕片が波の作用で岸向きに運ばれて形成されたものであり、沖合からの岸向き漂砂があることを表している¹⁾。また、沖合には沿岸砂州状の様子が数本発達していることから、この当時リーフが発達するこの付近の海域では海底面に潤沢な砂があったと推定される³⁾。

写真-1(b)に示す1989年でも、フック状海岸線とフックD沖の細長いcomet tailに変化は見られない。大きな違いは、屋我地海岸と奥武島を結ぶ屋我地大橋の間の水域から東向きに約400mにわたって航路が掘られたことである。また1980年と比較して、屋我地大橋直下の砂嘴が羽地内海方面へと屈曲しながら約30m伸びたことも特徴の一つである。砂嘴の伸張は、屋我地海岸の海岸線に沿って南向きに沿岸漂砂が運ばれたことを裏付けてい

る。さらにこの時期にもまた沖合の浅海域には数多くの沿岸砂州が発達していた。

写真-1(c)に示す1998年では、フック状海岸線自体には変化が見られないが、羽地内海への砂嘴の発達が益々顕著となり、1989年よりさらに約60m伸びた。また屋我地大橋の沖側だけでなく、羽地内海側にも直線状の航路が掘られた。一方、写真-1(a), (b)には顕著に見られた浅海域における沿岸砂州はあまり顕著でなくなった。写真-1(b)によれば沿岸砂州の先端部は新しく掘削された航路に対して斜行していたことから、沿岸砂州の一部の構成土砂が航路に落ち込んだ可能性が考えられる。

写真-1(d)に示す2003年では1998年と比較して羽地内海への砂嘴の発達が続き、1998年と比較してさらに15m伸びた。大きな変化はフックAで見られる。ここでは岬の基部から突堤が伸ばされ、その背後に波の遮蔽域が形成されるとともに、そこで養浜が行われ局所的に前浜が広げられた。

2.2 汀線変化

1971年以降2003年までの空中写真をもとに1971年基準の汀線変化を調べた。結果を図-2に示す。これによれば、フックAでは岬の隣接部で1998年までは経年的に侵食傾向にあったが、突堤建設後、従来は安定していたフックAの中央部と、フックAの下手側に位置するフックBで侵食が激化した。このように屋我地海岸にあっては、沿岸漂砂の上手側に曲突堤が造られて波の遮蔽域へと沿岸漂砂が起こると同時に、下手側への沿岸漂砂供給が減少したため、下手側では侵食が激化したことが分かる。これらの変化は汀線変化で見ると10m程度であった

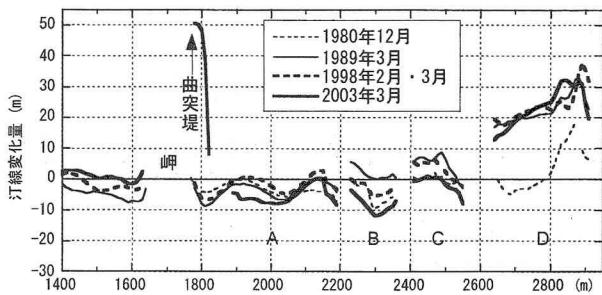


図-2 1971年から2003年の汀線変化

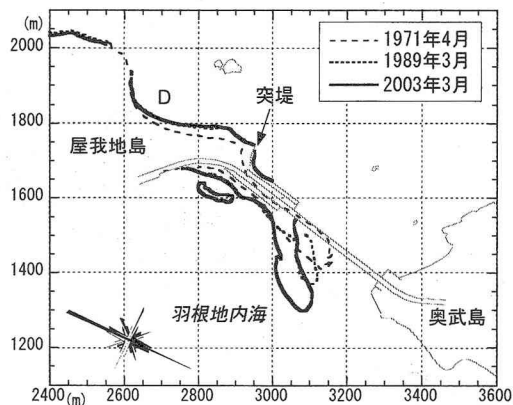


図-3 屋我地島南端に延びる砂嘴の汀線変化



写真-2 フック A 北端の岬とその南側の海浜
(2001年9月9日撮影)

が、最南端のフックDでは1980年と比較して最大約30mの汀線前進が見られる。

図-3は砂嘴の発達状況である。砂嘴は先端を羽根地内海へと曲げつつ伸び、同時に規模が増大している。またフックDでは、砂嘴との境に突堤(図-3参照)ができて沿岸漂砂が阻止されたことによって前浜が大きく広がっている。図-2に示した前浜の拡大はこれが原因である。

3. 自然状態にあった屋我地海岸の特徴

2001年9月9日、自然状態にあった屋我地海岸の現地踏査を行った。写真-2は、フックAにおいて北端の岬とその南側に延びる海浜を撮影したものである。北端の岬に



写真-3 フックAの付け根付近に形成された高さ1.1mの浜崖(2001年9月9日撮影)

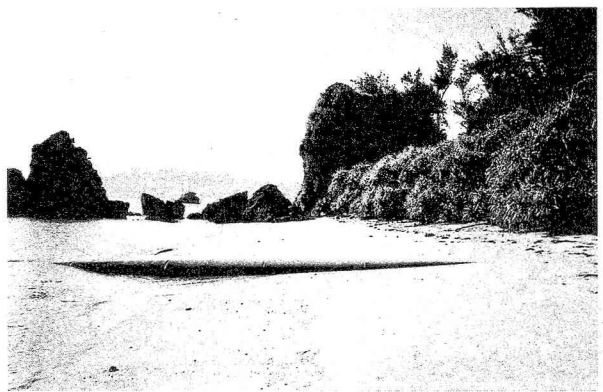


写真-4 フックA南端の岩礁(2001年9月9日撮影)

は岩礁が突出し、通常時の波浪条件では沿岸漂砂の自由な通過は妨げられている。海浜は、フックAの北端と南端にある岩礁に挟まれているためかなり安定性が高いと判断された。岬による波の遮蔽効果に応じ、かつ沖合から緩やかな漂砂供給を受けて、フック状海浜の海岸線はほぼ動的安定状態にあったと考えられる。写真-2に示すように、海浜とアダンやモクマオウの繁茂した背後地は何らの構造物もなしに連続的に繋がっており、オカガニなどが自由に行き来できる沖縄らしい景観であった。

写真-3は、写真-2に見えるフックAの付け根付近の状況であるが、背丈の高いモクマオウの根の下が1.1m削り取られ根が浮き上がっていた。モクマオウは成長が速いことで知られているが、写真-3のように根の下部が空洞となっていたことから、最近になって侵食が進みつつあったことが分かる。一方、フックの付け根から離れて、フックAの南端の岩礁を撮影したのが写真-4である。写真-4に示す岩礁は突出長が短いために、波浪・潮位条件によっては沿岸漂砂の一部が下手側に流出する条件下にある。しかし通常時は沿岸漂砂を阻止する十分な能力があるため、岩礁上手側にはほぼ安定な海浜が形成されていた。

4. 人工改変後の屋我地海岸の特徴

第1回現地踏査から2年10ヶ月後の2004年7月9日、再



写真-5 フックA北側の海岸状況 (2004年7月9日：人工改変後)

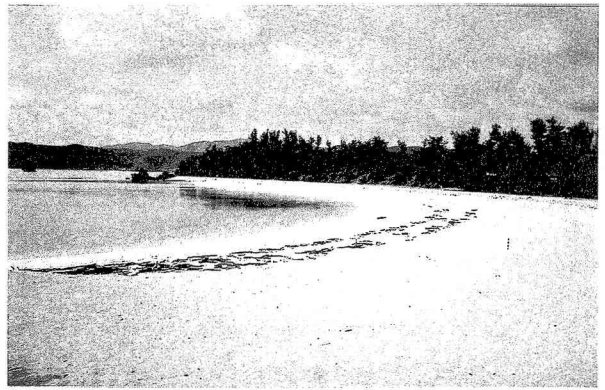


写真-7 写真-6の撮影地点ほぼ同じ場所から漂砂の下手方向を望む (2004年7月9日撮影)

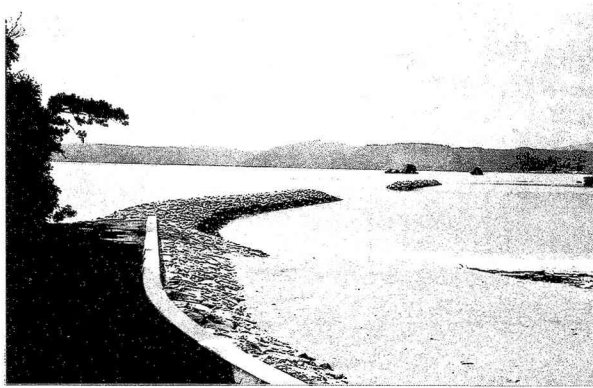


写真-6 曲突堤と離岸堤 (2004年7月9日撮影)



写真-8 人工海浜背後の緩傾斜護岸 (2004年7月9日)

び屋我地海岸の現地踏査を行った。この間著しい人工的改変が行われ、海岸状況は大きく変化した。まずフックAの北側の海岸状況を調べたのが写真-5である。岩礁の北側にはフックAと逆向きに、同様なフック状海岸線が発達し、緩勾配の砂浜が広がっていた。北向きにきれいなフック状汀線が伸び、前浜から背後地の植生帯へとつながりに繋がっていた。植生帯と後浜の境界付近では浜崖の形成など顕著な侵食傾向は見られず、非常に安定性の高い海浜であることが分かった。

このイメージをもとにフックAに戻って現地踏査を行ったところ、海浜は大きな改変を受け、環境条件は激変していた。写真-2に示したフックAの北端を区切る岩礁の先端には捨石製の曲突堤が建設されていたのである。写真-6は、突堤の付け根付近から突堤の先端方向を望みつつ、突堤の下手側に造られた離岸堤を撮影したものである。さらにほぼ同じ場所から沿岸漂砂の下手方向に望んだのが写真-7である。北端の曲突堤と離岸堤によって囲まれた区域に大量の砂が投入され、人工海浜が造られていた。後浜は全くの平坦面であり、その背後には写真-8のように捨石製の緩傾斜護岸が造られていた。またその背後は幅10mほどの通路となっていた。

モクマオウの林立する植生帯は、2001年9月の踏査時には写真-2に示したように後浜となだらかに繋がっており、例えば周辺に住むオカガニなどの生息にとって良好な環境を提供し、何よりも亜熱帯の沖縄の海岸の風景

をよく現すものであった。しかし、写真-8のような埋め立て、およびその前面における護岸と人工海浜の造成が行われた結果、このような沖縄らしさは完全に失われた。これらの区域では、写真-3に示したように、部分的には浜崖侵食が進んでいたため、海岸線背後にある養魚場を防護する目的で工事は行われたのである。

写真-6に示したように、北端に造られた曲突堤と離岸堤による消波効果によって人工海浜の砂は北側に偏って堆積しており、もともと存在したフックAの南端にあった岩礁方面への漂砂移動は絶たれている。

写真-1にも示したように、この付近の海域では岸向きの漂砂が存在し、それが南向きの沿岸漂砂とほぼバランスしていたと考えられるが、人工構造物の建設はこのような岸向き漂砂を阻害したと同時に、沿岸漂砂の流出を阻止することになったと推定される。

このためフックAの南側では沿岸漂砂の供給不足により侵食が激化することになった。写真-9はフックAの南端にある岩礁を越えて下手側のフックBで撮影したものであり、もともと存在した海浜砂がほとんど全部侵食されつくされ、基盤岩や巨礫が表面に露出して著しい侵食状況を示している。さらに、フックBの南端にある岩礁を漂砂の上手側から望んだのが写真-10であるが、ここでは岩礁の上手側に砂浜が残されていた。

フックBの下手端にある岩礁を回り込み、フックCを上手向きに撮影したのが写真-11である。ここではフック

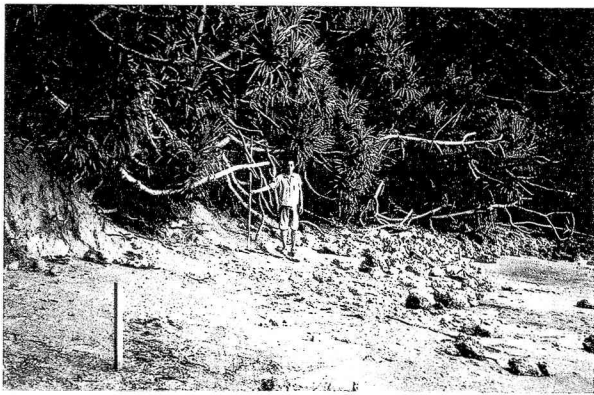


写真-9 フックBでの著しい侵食状況
(2004年7月9日撮影)

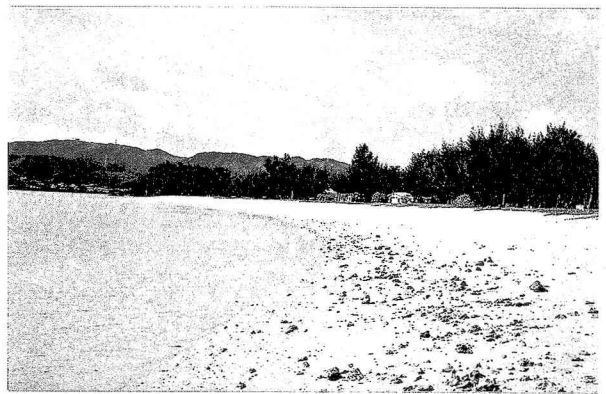


写真-12 フックDの海岸状況 (2004年7月9日撮影)



写真-10 フックBの南端にある岩礁
(2004年7月9日撮影)



写真-13 羽地内海へと発達した砂嘴
(2004年7月9日撮影)



写真-11 フックCを上手向きに撮影
(2004年7月9日撮影)

ク A での工事に伴う侵食の影響は場所が離れたためにあまり強く出てはおらず、ほぼ連続的に砂浜が延びていた。さらにフックDを撮影したのが写真-12、羽地内海へと発達した砂嘴を撮影したのが写真-13である。羽地内海での長大な砂嘴の伸張は、北側から沿岸漂砂が運ばれてきていることを明瞭に示す。

5. 侵食対策の問題点と今後の海岸保全のあり方

空中写真（例えば、写真-1(d)）によれば、屋我地海岸の北端には岬が延び、岬の両側にはフック状汀線が形成されていた。このことは、この岬を境に南側では南向き

の沿岸漂砂が卓越することを意味する。また、それぞれのフック状海浜の下手端には小規模な岩礁が存在するが、それらの間のフック状海浜では砂浜が連続的に延びていた。岩礁の規模は様々であるが、空中写真によれば過去にはほぼ安定した汀線が連続的に延びていた。また沖合のリーフ面上の島の背後には岸向き漂砂があることを示す comet tail が延びていることから、屋我地海岸のフック状海浜は沖合からの緩やかな漂砂供給と、沿岸漂砂とがほぼ釣り合う動的安定状態を保っていたと考えられる。

この状態は図-4(a)の模式図に整理される。岩礁①、②の間の海浜を考えたとき、過去の自然状態ではリーフ面上でサンゴ礁起源の岸向きの砂供給があった。砂の供給量が単位長さ当たり q であったとすれば、ポケットビーチ全体での砂の供給量は $\int q dx$ となり、これが岩礁②を下手側へと通過する沿岸漂砂量 Q とほぼ釣り合っていたと考えられる。この状態において、屋我地海岸では海浜とその背後に生育するアダンやモクマオウの植生帯とが連続的に繋がり、亜熱帯の海浜の特徴を有する典型的な姿を有し、生態的にも貴重な存在であった。

フック状汀線の付け根付近では、写真-3に示したようにやや侵食傾向の場所もあったことからフック状海浜の海岸線とほぼ並行に突堤と離岸堤が造られ、その背後域で養浜が行われた。これにより、南向きの一方向の沿岸漂砂が卓越する海岸から、突堤背後への逆向き沿岸漂

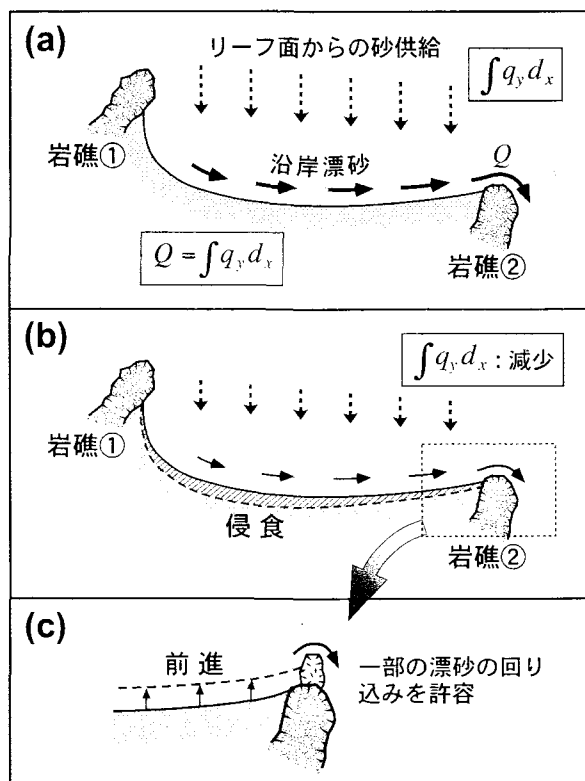


図-4 侵食対策の模式図

砂も生じる海岸に変化し、下手側海浜では砂の供給バランスが崩れて侵食傾向に変わった。結果的に、対策の行われた場所は本州の人工海浜と同じ様相を呈する一方、対策箇所の南側では、上手側からの漂砂供給が絶たれたことにより、侵食が急速に進み出した。

工事以前、屋我地海岸はやや侵食傾向にあったが、これは地形的理由から考えてリーフ面上での岸向きの砂供給が、サンゴの劣化などによって減少したことが関係していると考えられる。この場合、結果的に $\int q_y d_x$ が減少して Q とのバランスが失われ、図-4(b)のように汀線の後退が進んだと推定できる。その際海浜を安定化させ、従来の微妙な動的安定性を維持しつつ背後地を防護するのであれば、図-4(c)のようにフック下手端の岩礁を一部補強し、その上手側に小規模な養浜を行うことで十分と考えられる。この場合、一般の海岸と比較してリーフ海岸では沖合が平坦な浅瀬であることから、延ばすべき岩礁の長さは短くてよく、むしろ過剰に伸ばすと下手侵食を助長するので、一部の沿岸漂砂が先端を通過できるように設計するのである。実際の設計にあっては、現地海岸のバーム高、前浜勾配およびリーフ平坦面と前浜との交点の水深を調べれば、突堤の先端水深の推定が可能となる。ただし、この工法では少量ではあるものの下手への土砂供給は必ず減少し長期的には侵食を助長する。したがって究極的には下手海岸全体の対策が必要とな

る。それには、下手海岸の漂砂量を低減するため、ある間隔での岩礁の補強、動的養浜、あるいは両者の併用案が考えられる。当海岸の最も下手は航路であり、そこでは沿岸漂砂が堆積している。そこでこの堆積土砂を用いたサンドリサイクルが漂砂の流れの維持から考えて有効と考えられる。

結局、沿岸漂砂の場所的不均衡によって侵食が発生した場合、その上手端から侵食対策を行ったためにその下手側が侵食に晒され、人工海岸の延長が次第に延びてしまうという状況が屋我地海岸でも発生していることになる。その場合、従来との違いはリーフ面上における沖合からの砂供給を十分検討すべき点である。また対策以前の海浜の姿は優れて沖縄的景観であったが、それが急速な人工化に晒され特徴が失われた。この手法の継続は、沖縄が進めている観光立県理念や、海岸法の目指す防護・環境・利用の調和とも大きく食い違っていると筆者は考える。沖縄の風景を大事にし、コンクリート構造物があまり露出せず、植生帯の繁茂を許しつつ、あまりに過剰に砂浜を広げなくてもよい手法²⁾への転換が必要であり、それには動的意味からの安定した海浜づくりも考慮されるべきと考えられる。

国土交通省河川局監修⁴⁾の「自然共生型海岸づくりの進め方」に述べられているように、防護・環境・利用は全てトレードオフの関係にあり、海岸においてはそれらのバランスが必要である。当該工事は防護上確かに有効であり、また少なくとも海水浴の利用者にとっては本州の海岸で行われているのと同じレベルの対応が取られた。このことからそれなりの対応は確かに取られたが、環境的に見て「沖縄らしい環境」という点で劣っていると考えられる。これは海岸保全工法が全国一律方式で設定されていることに多く起因している。現在、沖縄各地で同様な問題が起きていることから、そのような問題の再発を防ぐ意味でも、全国一律基準にあまりに依存しない、地域ごとに柔軟な計画案の検討が必要である⁴⁾。

参考文献

- 1) 宇多高明・菊池昭男・三波俊郎・芹沢真澄・古池 鋼：沖縄県中城湾に位置する泡瀬干潟におけるサンゴ洲島の形成・変形特性，海洋開発論文集，第20巻，pp. 1013-1018, 2004.
- 2) 宇多高明：「海岸侵食の実態と解決策」，山海堂，p. 304, 2004.
- 3) 宇多高明・大須賀 豊・大中 晋・石見和久・三波俊郎・芹沢真澄・古池 鋼：Bali島南部 Nusa Dua 海岸の侵食と対策，海岸工学論文集，第50巻，pp. 1361-1365, 2003.
- 4) 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，p. 73, 2003.