

バリ島東部チャンディダサ海岸の侵食実態

BEACH EROSION OF CANDI DASA COAST IN EASTERN BALI ISLAND

宇多高明¹・大須賀 豊²・大中 晋²・石見和久²・芹沢真澄³

Takaaki UDA, Yutaka OSUGA, Susumu ONAKA, Kazuhisa IWAMI and Masumi SERIZAWA

¹ 正会員 工博 (財) 土木研究センター 審議役 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 日本工営 (株) コンサルタント国際事業本部 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘3-6-1)

³ 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208)

The Candi Dasa coast located in the eastern part of Bali Island in Indonesia was a famous coastal resort with the well-developed coral reef along the coastline. In recent years, coral mining has been widely carried out for getting construction materials, resulting in the deterioration of the coast. After the coral mining, wave action to the beach increased and coral sand was washed away. Various measures using twenty T-shape groins and seawalls were taken, but the situation is getting worse. This study investigates the causes of the beach erosion of this coast by using aerial photographing, sounding and field observations.

Key Words : Beach erosion, coral reef, coral mining, Candi Dasa coast, field observation

1. まえがき

インドネシアのバリ島には有名な海洋性リゾート地がいくつかあり、世界中から毎年多数の観光客を集めている。これらの観光客が落とす外貨はインドネシアにとって貴重な観光収入となっている。特に有名なリゾート地はバリ島南部の半島状に突き出た海岸線の周辺にあり、図-1に示すように東部のサヌール、南部のヌサ・ドゥア、そして西部のクタ海岸がこれに該当する。これらとは別に、バリ島東部には小規模であるが風光明媚な海洋性リゾートもある。図-1に示す東部のチャンディダサ海岸がそれに属する。この海岸は、バリ島南部の中心地デンパサールの北東約42kmに位置し車で数時間の距離にあるために、バリ島南部の海岸と比較して静かなリゾートとして知られていた。しかし、バリ島南部の海岸だけではなく、この海岸でも近年侵食が急速に進んできており、ホテルの所有者は自ら侵食対策のための海岸護岸を建設してきた。しかしこの護岸では侵食に対応できない事態となった。このため公共事業省は20基に及ぶT字突堤群を建設したものの、なお侵食が激しく対応に苦慮している。この海岸では過去に天然リーフから建設骨材を得るためのcoral miningが広範に行われた。これが侵食の主要因であるが、それだけでは説明できない現象も見られる。こうした場合、わが国にあっては各種観測を行って原因解明を進めるのであるが、発展途上国においては調査費の不足などが原因して、観測によって十分なデータを得ることが難しい。しかし、今後有効な対

策を進めるにはわずかではあっても現存するデータから侵食原因を推定し、それに基づいて効果的な調査を行うことが必要である。このことから、本研究では1999年9月16日にまず現地踏査を行い、2001年7月にはリーフの掘削状況を調べるためにヘリを用いた空中写真撮影を行った。さらに2002年8月9日には再度現地踏査を行うとともに、1994年7月測定の深淺図を入手し、これらをもとに侵食原因の推定を行った。

2. チャンディダサ海岸の概況

図-1にはバリ島南部の地形図を示す。チャンディダサ海岸は、ヌサ・ペニダ島とバリ島の間広がるバドゥン海峡の東側の入口付近に位置している。バドゥン海峡はほぼ東西方向に伸びているが、ヌサ・ペニダ島の西側で

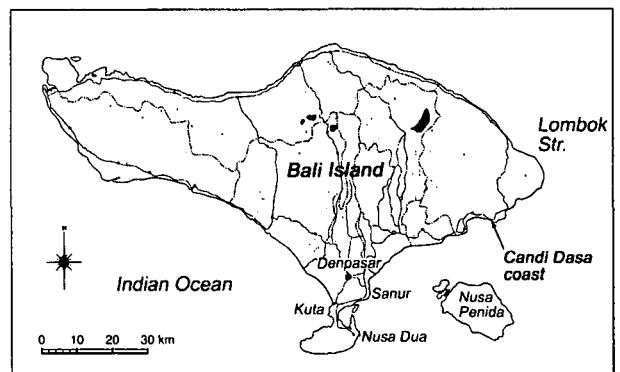


図-1 バリ島東部チャンディダサ海岸の位置図

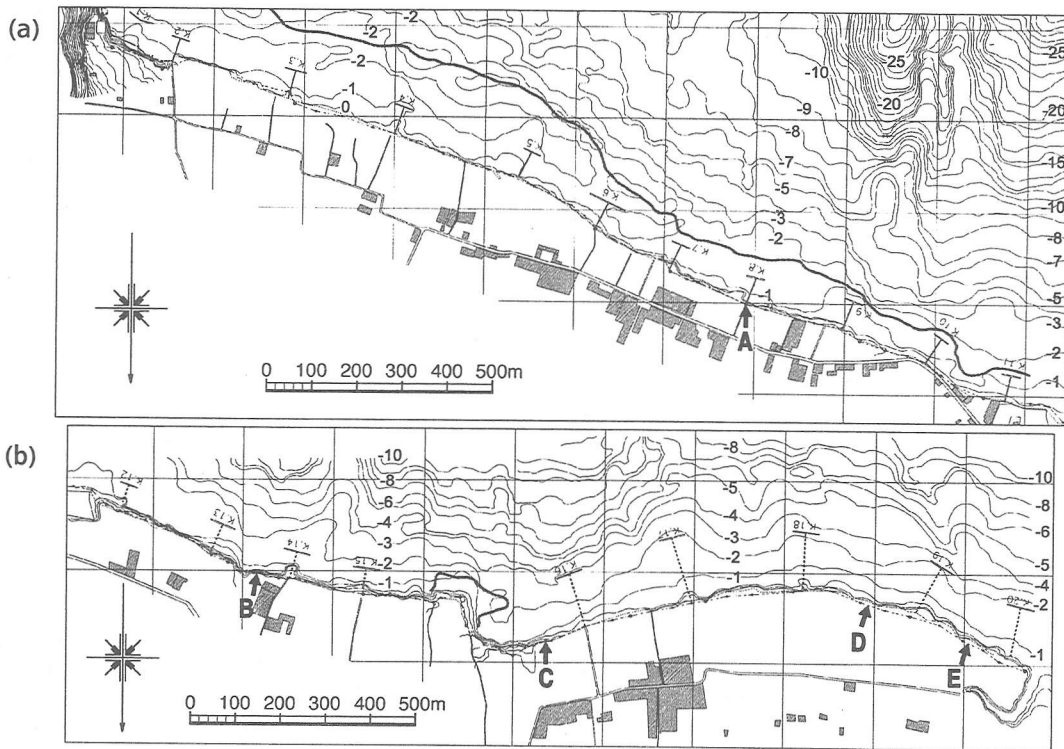


図-2 チャンディダサ海岸沖の海底地形 (a:東部, b:西部)

は南に開いた海域を有するために、チャンディダサ海岸への高波浪は主として東側から作用する。チャンディダサ海岸は、東端にあるブグブグ岬からほぼ西向きに直線状の海岸線を有している。東側が大きくインド洋に開いていることから、この海岸では西向きの沿岸漂砂が卓越すると考えられる。この海岸の朔望平均満潮位はMSL+0.90m、干潮位はMSL-1.1mにある。

3. 海底地形

図-2には、1994年7月測量のチャンディダサ海岸の深浅図を示す。図-2(a)が海岸東部、図-2(b)が海岸西部の海底地形であって、図-2(a)の右端が図-2(b)に接続する。図-2(a)に示すように、海岸東部では東端から海岸線に沿って連続的なリーフが発達しており、リーフ幅は東部の約200mから西部の約100mと次第に狭まる。海岸線はほぼ直線であり、この間に11基のT字突堤が建設されている。T字突堤の長さは様々であるが、横堤部の長さは40～50mである。かなり規模の大きな突堤ではあるが、突堤東西での砂浜幅に大きな違いは見られない。

写真-1は、2001年7月、ヘリから撮影した海岸東端部の空中写真である。東端部のブグブグ岬より西(右)側ではリーフの発達が顕著である。しかしリーフエッジ周辺は確かに浅いものの、そのすぐ岸側にはリーフがほとんど残されておらず、薄く土砂で覆われた浅い海が広がる。これはリーフエッジのごく近傍までcoral miningにより掘削が行われたことを示している。coral miningは波浪作用が著しく掘削が困難なリーフエッジを除いてそのごく近傍まで行われた。

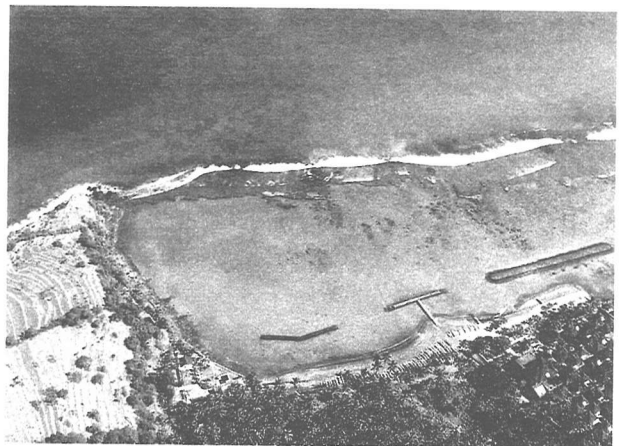


写真-1 チャンディダサ海岸東端部の空中写真

図-2(b)に示す海岸西部では、東部と異なりリーフは中央部で海岸線がやや岬状に突出している部分の周辺に発達する以外ほとんど見られない。この区域でも9基のT字突堤が設置されているが、これらの突堤の明瞭な堆砂効果は見られない。

4. チャンディダサ海岸の現地踏査

1999年9月16日と2002年8月9日、チャンディダサ海岸の現地調査を行った。ここでは両者の観察結果をまとめて示すことにする。

チャンディダサ海岸は東端をブグブグ岬によって区切られている。この岬の東面には海食崖が発達している。写真-2は岬上より東側の海岸状況を撮影したものである。海食崖の下部には崩落した岩石が散乱している



写真-2 海岸東端のブグブグ岬北東側の海岸状況
(1999年9月16日)



写真-5 海岸東端部に残された砂浜
(1999年9月16日)



写真-3 ブグブグ岬からチャンディダサ海岸全体の
遠望 (2002年8月9日)



写真-6 護岸で守られた海岸線とその背後の施設
(1999年9月16日)



写真-4 海岸東端の砂礫海岸と護岸
(1999年9月16日)



写真-7 ホテル内のプール (1999年9月16日)

が、海食崖に沿って砂浜が連続的に延びている。この海岸ではリーフの発達は見られない。遠方に見える岬はピアスプティ岬である。この海岸の東側には波を遮蔽するよう島などがいないために、インド洋からの高波浪が直接作用している。

写真-3は岬上から海岸線を撮影したものである。海岸線の奥にはヤシが林立している。しかし砂浜幅は狭く、T字突堤や護岸によって守られている。その周辺に残されたごく狭い前浜が小型ボートなどの利用に供されている。写真-3の右端にある家屋前面を拡大して示したのが写真-4である。岬は火成岩でできているために、崖の基部に散乱する岩石は黒っぽい。中央に見える家屋の前

面には直立護岸があるが、そこでは越波が激しい。写真-5は、写真-4の左端寄りから西向きに海岸状況を撮影したものである。この付近には狭いながらも砂浜が残されており、そこがボート置き場として利用されている。中央に見える円筒形のもは、その中にコンクリートを詰めて連結した構造を有する護岸である。また前方に向かって砂浜幅が広がるように見えるのは、T字突堤の背後で汀線が前進していることによる。

写真-6は、写真-3の中央で直線状に見える護岸部分の海岸状況である。背後には小規模なホテルが立地しており、それらを守るために施設所有者が護岸を建設したものである。しかしそれらの多くは老朽化が進んでいる。



写真-8 海岸線に沿って延びる海岸護岸
(1999年9月16日)



写真-10 ピロティ方式の護岸(図-2のBで
1999年9月16日撮影)



写真-9 ブグブグ岬の遠望とわずかに残された砂浜
(図-2のAで1999年9月16日撮影)



写真-11 海岸線の湾入部での海岸侵食状況(図-2
のCで1999年9月16日撮影)

このように各ホテルの前面に砂浜が全く存在せず、したがって海浜利用が不可能なこと、そして背後施設を守るための海岸構造物の維持に費用がかかる点は、チャンディダサ海岸の大きな問題点である。

写真-6の撮影地点からは前浜が全くないことから、海岸線沿いに歩行することはできない。そこで内陸側へ移動し、改めて海岸線へと出る際撮影したのが写真-7である。写真-6と比較すれば、汀線付近の極度の人工化と著しい対照をなし、陸域が良い環境にあることがわかる。

図-2のA付近で西向きに撮影したのが写真-8である。海岸線に沿って直立護岸が延びており、前浜は全く存在しない。一方、東側を望んで撮影したのが写真-9であるが、ここでは護岸前面に狭い前浜が残されている。写真-7に示したようなプールなどの施設の海側に写真-9に示すような前浜があればリゾートとして有効であるが、写真-6や写真-8のように直立護岸で守られた海岸では、陸と海が完全に分断されるために、海岸の価値は半減しているといえる。

写真-10は、図-2のB付近における海岸状況である。狭い通路を抜けて海岸線に達すると、そこにはT字突堤が設置されている。この突堤の西側では写真-10に示すように海岸線に隣接するホテルの前面にはピア方式で嵩上げされた人工地盤上にホテルの施設があった。しかしその前面には砂浜は全く存在しない。この付近は図-2の

深浅図によれば両側にあるT字突堤の間で等深線が湾入しており深くなっている。このため強い波浪による侵食作用を受けたと考えられる。

図-2の深浅図によれば、B付近から西に約450m直線的に延びた海岸線は大きく湾入している。東端が小規模な岬となり、その西側隣接部で汀線が大きく後退し、さらに西側に離れるにしたがって後退量が小さくなり、岬状の突出点から約800m西側ではBから直線的に続く海岸線とほぼなだらかに接続している。このように東西で非対称な海岸線形状の存在は、チャンディダサ海岸では全体として西向きの沿岸漂砂が卓越することを示している。写真-11は、図-2のC付近の海岸状況を撮影したものである。円筒形のパイプにコンクリートを中詰めした海岸護岸が倒壊し、その背後で海岸が侵食され、連続的に浜崖が形成されている。海浜利用のスペースは非常に限定されていることが明らかである。

写真-12, 13は、チャンディダサ海岸の西端に近い図-2のD付近での侵食状況を、東および西向きに撮影したものである。これらの写真の撮影は、同一の写真撮影地点の一定高さから、写真の撮影方向のみを180°回転して海岸状況を撮影している。激しく海岸侵食が進んだ結果、浜崖が形成されており護岸の倒壊が進んでいる。

写真-12, 13に示した付近では、2002年8月の現地踏査ではさらに侵食が進んでいることが見出された。1999年



写真-12 図-2のD付近における海岸侵食状況
(東向きに撮影) (1999年9月16日)



写真-14 破壊された海岸護岸の残骸 (図-2のD付近で2002年8月9日撮影)



写真-13 図-2のD付近における海岸侵食状況
(西向きに撮影) (1999年9月16日)



写真-15 破壊された護岸の岸側の侵食状況 (図-2のD付近で2002年8月9日撮影)

では護岸の崩壊箇所の背後では高々10m程度背後に浜崖が形成されていたが、2002年の踏査では写真-14, 15に示すように浜崖はさらに内陸深く進んでいた。侵食防護のために新たな護岸が造られている場所もあったが、その隣では写真-16に示すように1999年に約2mであった浜崖は3.6mにも達していた。

5. 考察

チャンディダサ海岸での海岸侵食対策のうち、海岸線に沿って建設された護岸はそのほとんどが民間施設の管理者が自ら建設したものである。これに対して全体で20基を数えるT字突堤は、侵食が著しくなった後公共事業省によって建設された。これらの突堤群の建設が行われたものの侵食は一層激化している。一連の写真で示した侵食状況によれば、チャンディダサ海岸の侵食は、海岸西部が東部より激しい。この原因は、チャンディダサ海岸の東端には規模の大きな岬(ブグブグ岬)があり、インド洋からチャンディダサ海岸への入射波が岬の西側隣接部では遮蔽されること、また海岸東部はリーフで守られているのに対し、西部にはリーフがないことがあげられる。また、西向きに沿岸漂砂が卓越する海岸であるために、全体として侵食が東側から進み、侵食対策も東側から行われたために、現況で激しい侵食が見られるの



写真-16 高さ3.6mに及ぶ浜崖

が海岸西部に移ってきていることなどが考えられる。

この海岸での激しい侵食が昔から継続的に起きてきたとは考えにくい。そうであれば、現在侵食が激しく浜崖が形成されている場所は、はるか昔に侵食されきった状態になっていなければならない。新鮮な浜崖の形成理由を説明できないからである。この点を考えると、主な侵食原因は図-3の模式図に示すように3パターンに分類できる。いずれの図も左側が過去、右側が現況を表す。

図-3(a)を参照したとき、チャンディダサ海岸の海岸線を直線PRで、ブグブグ岬の北東側に延びた海岸線を直線STで近似する。点Tがブグブグ岬の先端である。タイプ①は、ブグブグ岬の先端を迂回して東側海岸から沿岸

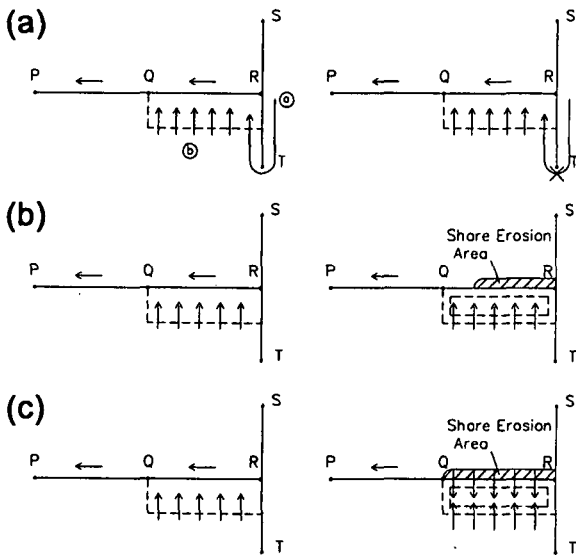


図-3 チャンディダサ海岸の侵食原因の模式図

漂砂の供給があった場合である。同時に直線QR間にあるリーフから供給されたサンゴ砂が岸向きに運ばれて海浜の形成が進んでいた条件である。PR間では西向きの沿岸漂砂が卓越しているが、それに釣り合った土砂供給がなされていれば海岸線は安定している。しかし東側からの土砂供給が何らかの原因によって絶たれ、あるいは大きく減少したことに起因してブグブグ岬側から汀線が後退したと考えるものである。しかし、タイプ①の可能性は低いと判断される。なぜなら、東側からの土砂供給が大きく減少するためには、東側海岸でまず漂砂が枯渇状態にならなければならないが、写真-2に示したように東側海岸での砂浜幅はかなり広く、著しく侵食された状況を示さないからである。またブグブグ岬を越えて漂砂が流入するのであれば、ブグブグ岬の西側隣接部で土砂の堆積が見られてよいが、そのような状況は写真-4で見られないからである。さらには大量の漂砂が流入するのであれば、ブグブグ岬の西側隣接域ではサンゴの発達を抑えられていたはずであるが、西側隣接域ではリーフの発達が良好であって両者は相容れないからである。

タイプ②は、図-3(b)に示すもので、ブグブグ岬は漂砂の出入りのない境界であり、リーフから供給された土砂が西向き漂砂と均衡していたとする考え方である。リーフの掘削以前にはリーフから岸向きの漂砂供給があり、それと西向きの沿岸漂砂量とがほぼバランスしていたが、リーフの掘削により本来海岸線へと運ばれるであろうサンゴ砂が形成された穴にトラップされ、そのために岸へと供給される土砂量が減少して西向きの沿岸漂砂との均衡が失われ、東側から侵食が進んだとするものである。この場合注意すべきは、リーフの掘削によって汀線への到達エネルギーが増加したために、掘削以前と比較して西向きの沿岸漂砂量が増大したと考えられる点である。またリーフ内水深の増大はリーフエッジから岸向きの漂砂移動を生じさせる能力も大きく低下させたと考えられる。したがってたとえ海底掘削が行われな

かった当時と同量の砂がリーフ端から供給されたとしても、沿岸漂砂量が増大しているために、漂砂バランスは達成し得なくなる。この場合、リーフの掘削が行われたのはQR間であるから、沿岸漂砂の増大があったのはQR間であって、PQ間での沿岸漂砂はリーフの掘削以前と変わらないはずである。したがってリーフの水深増大に伴う沿岸漂砂の増大のみをチャンディダサ海岸の侵食原因とすることはできない。

タイプ③は図-3(c)に示すもので、タイプ②の条件とほとんど同様であるが、海底掘削穴がリーフから岸向きの漂砂をトラップするとともに、リーフが掘削されて海岸が急勾配となったために、海底掘削穴に海浜の土砂が落ち込み、それによって侵食が進んだとするものである。この場合も海底が深くなってしまったために、掘削以前と比較して沿岸漂砂量は増大しているので、侵食はさらに激しくなる。ただし、海浜土砂がリーフの掘削穴へ落ち込むことのみでは、図-2(b)に示したようにリーフの発達がほとんど見られない海岸西部での浜崖の形成を含む激しい侵食を説明できず、また岬状に突出した汀線の西側で著しく非対称な海岸線が形成された状況の説明も困難であることから、掘削穴への落ち込みのみを原因と考えることはできず、必ず沿岸漂砂に関連する機構が含まれていたと考えられる。

いずれのタイプであったとしても西向きの沿岸漂砂が卓越しているので、T字突堤の東側隣接部で汀線の前進、西側で後退という汀線形状の非対称性が見られるべきという指摘があり得る。しかし実際にはそのような特徴は見られない。この理由は、海岸が激しく侵食されてしまった後にT字突堤が建設されたため、堆積すべき土砂量があまりなかったためと考えられる。

さらに、写真-12, 13に示したように、現在浜崖侵食が著しい場所では、侵食土砂の大部分がシルト質など細粒分で占められていることから、波の作用で崩落した土砂のうち大部分を占める細粒分は沖方向に流出したと考えられる。これらのことから、チャンディダサ海岸の侵食原因はタイプ②か③のいずれかと推定される。

6. あとがき

ここでは数少ない現地データからチャンディダサ海岸の侵食原因についての推定を行った。これによりリーフの掘削に伴う岸向き漂砂のトラップや、海底勾配の急勾配化に伴う海浜の安定性の低下が大きく関与している可能性が指摘された。いずれ機会を見てこれらの点を観測によって明らかにすることが今後の課題である。

参考文献

- 1) 谷本修志・宇多高明・桜本 弘：バリ島のリーフ周りの波、流れ、地形変化の観測、海岸工学論文集、第36巻、pp.60-64、1989。