バリ島西部ペンガンベンガン漁港の建設と それに起因する下手海岸の侵食

CONSTRUCTION OF PENGAMBENGAN FISHING PORT ON WEST BALI ISLAND AND ITS DOWNCOAST EROSION

宇多高明¹・大須賀 豊²・大中 晋²・芹沢真澄³・古池 鋼⁴

Takaaki UDA, Yutaka OSUGA, Susumu ONAKA, Masumi SERIZAWA and Kou FURUIKE

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) コンサルタント海外カンパニー (〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)

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)

⁴ 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)

At Pengambengan, facing Bali Strait in Bali, Indonesia, predominant northward longshore sand transport was obstructed by the construction of fishing port, resulting in severe sand deposition inside the fishing port as well as downcoast erosion. Field observations were carried out two times in May 5 and August 8, 2002. On the downcoast, seawall fell down and scarp was formed continuously due to severe erosion. In order to improve the present condition, it is required to take fundamental measures such as sand bypassing instead of local optimization of the eroded coast using structural defence.

Key Words : Bali, fishing port, longshore sand transport, beach erosion

1. まえがき

インドネシアのバリ島西部に位置しバリ海峡に面するペンガンベンガンでは、現在漁港の建設が続けられ、施設の一部は既に完成して供用が開始されている。ここにはもともと小規模な漁港があったが、周辺での缶詰工場の活発な操業のために漁港の拡張が計画された。しかし、この漁港では卓越沿岸漂砂が漁港施設によって阻止されたために、漁港の下手側海岸では激しい侵食が生じている。地域住民の生活向上のために行われた漁港建設が、周辺環境を害するというtrade-off問題はわが国でも多数起きてきているが、インドネシアのこの漁港周辺でも同様な問題が生じ、その処方箋を提示することが強く要請されている。

筆者らは、2002年5月5日と8月8日に当漁港周辺の現地踏査を行った。第1回踏査では問題の発掘を主眼としたために短時間調査であったが、第2回踏査では堆積・侵食区域全体の踏査を行うことができた。わが国での海岸踏査であれば、いかなる地域でも過去の空中写真の利用が可能であるが、インドネシアのこの地域では空中写真が撮影されておらず、また詳細な地形図も存在しない。このため現地踏査を主体として海岸状況を調査し、主としてそれらをもとに今後の対処方針について考察する。

図-1 インドネシアバリ島のペンガンベンガン漁港の位置

2. ペンガンベンガン漁港周辺の地形的特性

ペンガンベンガン漁港はデンパサールの北西約73kmに位置し、バリ海峡に面している。そのすぐ南側に発達したリーフで囲まれた岬の北西側に位置し、海岸線がフック状となった部分に位置している。海岸線への法線方向はほぼ南西方向であり、その延長線上には図-1に示すようにジャワ島の東端において細長く南東方向に延びたバンテナン (Bantenan) 半島が延びている。このためペンガンベンガンから南西方向に測った対岸距離

図-2 ペンガンベンガン漁港周辺での
現地踏査結果の要約

は21kmと短い。バンテナン半島によりインド洋に対しかなり遮蔽されている。入射波はバンテナン半島の先端とバリ島南部のバドン半島 (Badung) の西端の間から入射する。この方向からの入射波はペンガンベンガンから見るとS5° EからS50° Eとなり、さらにペンガンベンガン岬北側の海岸線の走行方向から、全体としてバリ海峡を北西方向に向いた沿岸漂砂が卓越することになる。

3. 漁港の利用状況と漁港周辺の海浜変形

ペンガンベンガン漁港では、現在旧漁港を拡張する方式により建設が進められている。漁港は南北にリーフで挟まれた砂浜海岸の中央部に造られた。図-2に模式的に示すように現在では漁港を囲む防波堤は完成しておらず、周囲を護岸で囲まれた矩形状の埋立地とその北側端から延びた長さ約110mの透過性防波堤の北側に泊地が造られている。現地踏査は南側から北側へと行った。図-2には現地踏査の結果を要約している。漁港の埋立地の幅は175m、沖向き突出量は220mである。この漁港が右(北西)向きの沿岸漂砂の移動を阻止したため、漁港の南東側には底辺が約1,000m、護岸との接点における突出量が約200mの三角形の砂浜が形成された。三角形の底辺角は約14°である。現在のところ沿岸漂砂の一部は漁港防波堤の先端を通過して流出しているので、汀線は静的安定状態にはないが、後述するように防波堤先端には砂嘴が形成され、ほぼ安定状態に近いことから海岸線に対する波の入射方向はほぼこの角で近似されよう。

写真-1は海浜の南端近傍から南側を望んだものである。南端には岬が延びており、岬の沖合にはリーフが発達しているために白濁した砕波帯が見える。波の屈折・砕波状況から判断してここでは緩勾配の浅海が広がっている。また南端部にはココナツヤシを主とする林が延びている。海浜はこの岬からフック状に広がっている。フック状海浜の沖合の浅海には漁船が停泊している。

ペンガンベンガンでは南端の岬によりバリ海峡への侵入波浪が遮蔽されるために、岬の北側隣接域は良好な泊地として利用されてきた。その状況の一部を示すのが写真-2である。乗員約15名の小型漁船が汀線のごく近傍まで接近してきており、漁船への積荷の積載を行っていた。この付近にある漁船のほとんどはこの漁船と形状が類似しており、舷側に各2基の発動機を有し、長い棒の

写真-1 ペンガンベンガン漁港の位置する海浜の
南東端の岬とその北側のフック状海浜

写真-2 汀線近傍での積み荷の積み下ろし・
積み込み風景

先にスクリューが付いている。浅い海であって、しかも汀線まで漁船を近づけない限り漁獲物の陸揚げが困難なために、スクリューは空中に跳ね上げる構造となっている。水温気温が高いことから海中へと入ること自体はそれほど苦にならない条件にあるとはいえ、漁獲物や燃料などの重量物を漁船から上げ下げすることは非常な重労働となることは明らかである。このことから漁労に預かる多くの人々のことを考えれば漁港の建設は十分理解が可能である。同時にペンガンベンガンは漁獲物の缶詰工場が多数あり、それらが重要な輸出品となり、外貨を獲得する重要な産業になっている。このことから人々から重労働を開放可能で合理的な漁港整備の必要性は高い。

写真-3は海浜中央部にある埋立地の先端部と、先端部を守る護岸状況である。午後の干潮時に撮影したものである。直立護岸が直線的に延びている。護岸天端のすぐ裏側には河川から採取した円礫が山積されている。これは写真にも一部残されているように、護岸上への越波によって生じた護岸背後の局所洗掘を埋め、護岸背後からの洗掘および護岸の倒壊を防止するために踏査日当日行われていた土砂投入によって設置されたものである。またこの埋立地の護岸の前(北)方では護岸が約5m突き出ており、それに続いて長さ約110mの透過性防波堤が延びている(図-2参照)。これらの施設のいずれにおい

写真-3 ペンガンベンガン漁港の埋立地沖側の直立護岸

写真-4 埋立地から北西方向に直線的に伸びた透過性防波堤（2002年8月8日11時頃撮影）

でも干潮時の撮影ではあるが水深がほぼゼロになるほどに浅くなっている。これは写真下方から上方へと向いた沿岸漂砂が埋立地の護岸によって遮られて堆積した後、埋立地の護岸前面を通過して防波堤の前面へと流出して堆積したことによる。

写真-4は8月8日の午前11時頃の高潮位時に撮影した海岸線とほぼ平行方向の延長約110mの透過性防波堤を撮影したものである。撮影時刻は潮位が高かったため防波堤の外側からスリットを通過して勢いよく波が防波堤の右側領域（泊地）へ侵入しているのが観察された。このように防波堤が透過性であり、かつ写真-4に示したようにそこが碎波帯に位置することは、スリット部分を通過して漁港内へと大量の土砂が通過・侵入する条件にあることを意味する。実際に、透過性防波堤を通過した大量の細砂が砂嘴を形成して港内へと侵入しているのが観察された。砂嘴の形状は図-2の模式図に示すとおりであり、細長く伸びた先端部は透過性防波堤から最短距離で約80m伸びていた。このような砂嘴の発達によって透過性防波堤に最も近接する、すなわち最も沖側に位置する栈橋では砂の堆積によって漁船の係留が困難になっていた。栈橋の付け根方向に移動して砂嘴の先端方向を望んだのが写真-5である。砂嘴が大きく伸び、内側には数隻の小型漁船を抱えている。砂嘴先端部はかなり急勾配で落ち込んでいるが、写真に示す小型漁船は干潮時には移動が困難となっている。

写真-5 泊地に細長く伸びた砂嘴の先端とそれによって閉じ込められた小型漁船

写真-6 泊地内の漁船

このように漁港防波堤に近接する部分では土砂の堆積が著しいが、ここより離れた陸に近い部分では干潮時でも漁船の航行が可能になっている。この状況を示すのが写真-6である。栈橋周辺に数隻の漁船が係留されており、漁の準備が行われていた。また写真で左隅に見える斜面は漁港内の捨石護岸である。ここから数本の栈橋が伸び、そこに漁船が係留されている。

このようにしてペンガンベンガン漁港はこの地域において重要な漁業根拠地として、周辺地域の発展に寄与し、そこで陸揚げされた魚は周辺の缶詰工場へと運ばれている。これらからのみ判断すれば、漁港建設は地域に非常に役立ったと言える。しかし同時にこの漁港は北西方向へと向かう沿岸漂砂の移動を妨げることになり、これによって激しい海岸侵食が起りつつある。また阻止された沿岸漂砂は漁港内へも侵入して堆積しているので泊地や航路への障害を起こす可能性が大きい。これは将来的に漁港の維持管理に多くの経費を要することを意味している。

4. 漁港下手側での侵食状況

ペンガンベンガン漁港では漁港建設と同時に北西方向への沿岸漂砂の連続的供給が困難となった。この結果漁港の北西側では激しい侵食が起きている。漁港の隣接地には既に多数の缶詰工場が立地し、海岸線には工場が

写真-7 護岸によって守られた缶詰工場と壊れた護岸

写真-9 侵食によって下部をえぐられて崩落したコンクリート塀

写真-8 連続護岸の北西端で形成された高さ約1.6mの浜崖

写真-10 写真-16と逆方向に望んだ浜崖形成区域

連続的に並んでいる。これらの工場の前面では侵食によって砂浜は消失し、水深が増大したことから高潮位時における越波が著しい。写真-7は缶詰工場の状況を撮影したものである。海岸線に沿って立地する工場の前面のコンクリート護岸が激しく破壊されている。工場の前面には写真に示すように高さ約1.2mのパラペットがあり、これにより越波が守られている。

写真-7に示す一連区域では海岸線がフック状に後退している。その北西端には再び侵食されたリーフのようにして岩礁が露出している。このためこの岩礁が沿岸漂砂のコントロールポイントになり、それより南東側の汀線の後退をある程度阻止する一方、その岩礁の北側では再び汀線の激しい後退が見られる。この岩礁の陸側端には一軒の家屋が建っており、その北西側から撮影したのが写真-8である。家屋前面にはコンクリート製の直立護岸が立っている。先に述べた沖合の岩礁とこの護岸が沿岸漂砂のコントロールポイントになっていることから北西側では写真に示すように汀線はフック状に削られ、高さ約1.6mの浜崖が形成されていた。また侵食の結果生じた前浜斜面上では砂鉄分が多く現れた結果黒っぽくなっており、しかも一般に浜崖基部に安息勾配の斜面が形成されることによって安定化が進む現象が見られるが、ここではそのような斜面が見られないことから安定化は進んでいない状況にあった。写真-8に示した家屋位

置が連続的護岸の北西側端部に位置し、ここより北西側には護岸未設置区域が延びる。このため写真-8のように激しいフック状の浜崖が形成された。この区間では人工的、あるいは自然的に汀線の後退を阻止するものがあればその北西側では必ず浜崖侵食の発生が見られる。写真-8の撮影位置の左端には小規模な壊れた護岸がある。この位置から北西側を撮影したのが写真-9である。写真に示すように侵食が進みブロック塀が侵食の結果中空に浮いた形となっていた。そこでの浜崖の高さは再び1.6mであり、地盤面が大きく低下したことがよく分かる。同じ場所付近を逆方向に撮影したのが写真-10である。崩れた塀が写真-10では中央部に見える。浜崖の高さはここでも約1.6mであり、ココナツヤシの生えていた地盤が削り取られてヤシが倒れるとともにまだ生育しているヤシの根が大量に露出している。またこの場所の写真の右端近傍にはコンクリート管方式によって設置され、その後侵食によって壊れた護岸の一部が見える。

写真-10の位置からさらに北西側で撮影したのが写真-11である。この写真では写真-10で中央に見えていた家屋だけではなく、それより海側に建っていた写真-8に示す家屋の一部も見える。浜崖侵食が進んで比較的勾配の緩やかな平坦斜面が残されたが、その平坦面上に多くのヤシの根が散乱している。ヤシの生育期間中にはこのような形で侵食を受けることはなく、十分成長を遂げた後に侵食されてヤシが砂浜中に残されたこと、そしてこの

写真-11 浜崖侵食によって海浜に取り残されたココナツヤシの根

写真-14 侵食によって半分が破壊された家屋

写真-12 浜崖侵食によって根が露出しつつあるヤシ

写真-15 侵食によって取り残されたココナツヤシと露出した根

写真-13 家屋の基礎部にできた浜崖

写真-16 侵食によって根が現れたヤシ

付近では数十 m 汀線が後退して浜崖侵食が進んだ結果写真に示すようにヤシの根が多く平坦面上に残されたと考えられる。

写真-11のような激しい侵食を受けた場所も北西方向への距離が増加するにしたがい次第に侵食量が減少し、写真-12に示すように浜崖の高さも約0.8mにまで低下する。この位置においてもヤシの根が多く露出していることから侵食が続いていることが明らかである。写真-12のように一度侵食度が減少したものの、この地点からわずかに北西側では海岸線付近に建てられていた家屋が侵食によって破壊されるという被害が生じている。写真-13で地盤面の低下量は1.2mであり、侵食された面には多くのコンクリート片が散乱している。写真-13に示し

た場所の北隣では最も激しい侵食が発生していた。写真-14がその状況である。白い壁の家屋の1/2が完全に消失し、そこでは家屋の残骸のみが残されていた。ここでの家屋の床と侵食地盤面との標高差は0.9mであった。最も激しい侵食を受けて家屋が破壊された場所は漁港から約2.1kmに位置している。この距離は漁港の中心部から海岸線に沿って平行に走る道路でクルマの距離計で測定するとともに、クルマの侵入できない場所では筆者の一人(宇多)が歩測で測定した距離である。なお歩測数と実距離との対応は漁港の埋立地で検証している。

写真-15は侵食されて海浜中に取り残されたヤシの木と、それが陸側の土壌中に伸ばしていた根がほとんど全部露出した状況である。その北側では写真-16に示すよ

うに約1.7mの浜崖が形成され、海岸を守る施設がない場所では急激な浜崖侵食が続いている。写真中央から右端には多くのヤシの倒木が見える。このように激しい侵食も漁港から約2.8km地点に至るとようやく侵食の程度が軽くなり、主にアダンの茂みが侵食されつつあり、浜崖の高さは0.6mにまで低下していた。

5. 問題の所在と具体的対応策の提案

ペンガンベンガン漁港で見られた現象はごく一般的なものであり、わが国でも多くの実例が見られる一般的現象である¹⁾。写真-2に示したように困難な重労働に従事する多くの地元漁師を労苦から解放し、漁業の効率化を進めるために漁港の建設は是非とも必要とされたことである。しかし北西方向の卓越沿岸漂砂が遮断されたことにより、現在では漁港から約2.8kmまでが激しい侵食に晒され、そこでは陸地が消失するとともに家屋の倒壊も起きている。そして侵食域では護岸の建設も進められてきているが、それらの多くも再度災害を受けて倒壊が続いている。

しかも漁港の建設主体は漁港施設の建設にしか理解が及ばず、下手側での侵食は全く理解していない状況にある。また地域行政も含めて下手海岸における周辺住民の侵食に対する理解度は低く、波による侵食災害を「津波によって侵食された」と間違った判断をするような状況にある。漁業の振興によって利益を得ることは可能であろう。しかし外部不経済として長大な区域で発生している、そしてこれからも発生する侵食災害に対する防護工事に係る経費も莫大なものとなろう。この漁港はバリ海峡に位置するために地形的理由から北西方向、すなわち湾奥へ向かう沿岸漂砂が継続的に卓越する。したがってその沿岸漂砂の流れを阻止することは侵食域が現況よりもはるかに長い距離広がることを意味している。したがって、侵食区域に後追い型で護岸の建設を進めても侵食を食い止めることは不可能であり、対策に要する経費も莫大なものとなろう。こうした状況で漁港を拡張することは侵食災害を益々増大させることに繋がる。そのような状況を改善するには以下の方式について検討する必要がある。

① 正確な侵食・利用実態の調査

今回の現地踏査は短時間の調査であったこともあり、侵食・堆積の概略を調べるに留まった。しかし今後の侵食とその対策について考えるには、漁港を含む広域での調査が必要である。最大の目的は漁港付近での沿岸漂砂量を把握し、下手海岸への影響を定量的に評価することである。また同時に漁船や漁港の利用状況についての調査も必要である。

② 漁港管理者（建設者）、下手海岸の管理者、資金提供者など行政間での相互理解を進めるための協議

漁港管理者はその目的を達成することには目を注ぐが、漁港の建設によって同時に生じる下手海岸での海岸侵食については多くの場合無関心である。一方下手側海岸の侵食対策を行っている人々はその原因について十分な理解が足りない。このためバラバラな活動が行われており、問題の深刻化を招いている。

③ 合意形成

漁港の建設によって利益を蒙っている人々は漁民に留まらない。周辺に立地する缶詰工場もまた多くの利益を生むであろうし、これはその地域の発展に寄与するであろう。しかし全く同時に下手海岸では同じ地域に住む人々が侵食災害を受け、対応を迫られている。侵食は科学的に見れば100%原因は明確である。被害者は受益者責任を明確に主張可能である。このように受益者・加害者が同じ地域に存在し、かつ重なっている場合の問題対処としては、関係者（Stakeholder）全員の集まった条件下で「折り合いを付ける解決法」を見出すことが必要である。

④ 技術的対応策の検討

漁港の機能を維持しつつ漁港北西側の侵食を軽減する画期的な手法の発案はかなり難しい。欧米で行われてきている方法は自然の砂の流れに逆らわずに、漁港の上手側に堆積した砂を下手側に流すこと（サンドバイパス）である。この方式は、その量に依存するが、長期的に見れば経費が安く、海岸の環境を悪化させることのない手法になる。量的評価は①の検討で算出できる。侵食に対して施設で対応しようとする方式には莫大な費用がかかる。その上自然の砂浜環境を急速に人工化することになり、採択が困難と思われる。いずれにしてもわが国のように莫大な経費をかけることなく、地元の技術で可能で、かつ長期的にも実施可能な案を科学的に考え、実施していくことが必要である。

6. あとがき

ペンガンベンガン漁港の本格的建設工事が開始されてから約2年が経過したと聞く。この間に既に上述のように激しい侵食が起これ、侵食区域は漁港の北西側約2.8kmに及んでいる。侵食区域は現在でも広がりを示しており、同時に漁港内では防波堤の先端を回りこんだ土砂の堆積が始まっている。このような状況から判断すれば、問題がさらに悪化する以前に、長期的な対応策について多くの人々が納得可能な案を早期に立て、実行に移すことが必要である。問題を放置すればするほどその修復には多くの経費を要することを十分認識する必要がある。

参考文献

- 1) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，p.442, 1997.