Phillipine の Panay 島の New Washington 周辺での侵食と砂嘴の発達

宇多 高明¹・市川 真吾²・大中 晋²・遠藤 秀文³

¹ 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)

E-mail: uda@pwrc.or.jp

² 日本工営 (株) 海外事業本部港湾空港部 (〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4)

³ (株) ふたば (〒963-0115 福島県郡山市南 2 丁目 76)

海外における海岸侵食問題に着目し, Phillipine の Panay 島の北端部にある Kalibo 近郊での侵食実態を現地調査により調べた. また, この地域の南部では砂嘴の発達が著しいことから, その変化についても調べた. 調査区域は, New Washington 近郊から南東端にある砂嘴に至る長さ 7.7 km の区域であり, 台風 30 号襲来後の 2014 年 1 月 16 日に調査を行った. Aklan 川からの流出土砂量の減少により河口南側では侵食が著しいが, 護岸を用いた局所的対応が取られているため問題の解決には結びついていなかった.

Key Words : *Phillippine, beach erosion, Panay Island, New Washington*

1. まえがき

筆者らは, 発展途上国の海岸保全に関心を有しており, 既にIndonesiaやVietnamなど, いくつかの国々で海岸調査を行ってきた. 他の発展途上国と同様, Phillipineにおいても海岸保全など環境保全対策がなおざりにされたまま開発が優先されている. しかも侵食や越波などの問題に対し, まず対象地域全体を俯瞰して総合的視野の下で分析を行い, 各地域の位置付けを明確にしてから対策を行うのではなく, 災害復旧的に局所的対応を行っているため, ある問題の解決が別の問題を引き起こすという悪循環に陥っている. この状態は, わが国で1970, 1980年代に起きた状況とよく似ている. ところで, 1992年のリオ地球サミットではIntegrated Coastal Zone Management (ICZM)の概念が提案された. ICZMでは, 海岸をsustainableな状態で維持するために, 沿岸域にかかる様々な視点からのデータを基に総合的に管理する手法が求められている. 現在のPhillipineの海岸保全は, このICZMの精神と相容れない状態にあり, 社会の健全な発展の阻害要因となると考えられる. そこで, 本研究では, 首都Manilaの南に位置するPanay島の北端部にある都市Kalibo近郊において2014年1月16日に海岸調査を行い, 長期的に進む侵食問題について考察した. 併せてこの地域の南端部では砂嘴の発達と変形が進んでいることからその変化についても調べた.

2. 調査地域の地形

図-1はPhillipine全体の衛星画像を示す. 調査地はManilaの南に位置するPanay島の北端部にある都市Kaliboの近傍である (図-1, 2). Kalibo周辺の海岸はSibuyan Seaに面し, 海岸線はほぼWNW~ESE方向に走る. 図-2の矩形区域の拡大衛星画像を図-3に示す. KaliboにはAklan川が流入し, 突出した河口デルタが形成されている. Aklan川の河口デルタの形状は, デルタの中央線に関し北西側の汀線は比較的なだらかに伸びているのに対し, 南東側では汀線曲率が著しく大きく, そこに流入する支流が大きく南向きに蛇行している. このような東西非対称な河口デルタが形成されている点より, Aklan川河口部では卓越波浪が北側から入射し, 南東方向への沿岸漂砂が卓越していることが分かる. Aklan川の河口デルタが大きく突出しているため, デルタの南東側面では入射角が大きく, 汀線がフック状となっている. 図-3に示すようにKaliboの南東10.5 kmにはNew Washingtonが位置している. Kaliboより南東方向に伸びた汀線は, New Washington付近からその背後に広大なlagoonを有するbarrier islandとなる. さらにbarrier islandの先端には砂嘴が発達している. Tidal inletを挟んで対岸にも砂嘴が伸びているが, その規模は小さいことからKalibo以東の海岸線では南東方向の沿岸漂砂の発達が著しいと推察される.

New Washington付近の海浜は, 北西側に位置するAklan川からの流出土砂が南東向きの沿岸漂砂により運ばれ形

図-1 Philippine 中部に位置する Panay 島

図-2 Panay 島北部の Kalibo

図-3 Kalibo および New Washington 付近の衛星画像

図-4 New Washington から南東方向へ伸びた barrier の衛星画像

成されてきたが、漂砂源であるAklan川では建設骨材採取のための河床掘削が行われ、また、現在も砂利採取が続けられているため河川流出土砂量が減少している。一方、New Washingtonから南東端まで海岸線に沿って道路が伸び、この道路の両側は微高地であるためにそこに多くの民家が立ち並んでいる。このため道路と集落を高潮や侵食から守るために、局所的に護岸が造られてきた（後述の図-4の地点1～7）。漂砂源であるAklan川からの流出土砂が減少した状況下で、これらの護岸は侵食により各地で破壊されたが、それらが海側に突出して残されたために突堤のように機能し、沿岸漂砂の連続性が絶たれ護岸の下手側海岸では侵食が著しく進んでいる。図-4は図-3の矩形区域の拡大衛星画像であり、2014年1月16日の現地踏査区域を示す。New Washington近郊から南東端にある砂嘴に至る長さ7.7kmの区域であり、図には地点番号（以下に示す写真番号と同一）を示す。現地踏査では、New Washington郊外の地点1～9で侵食状況を調べた。その際、現地写真は沿岸漂砂の方向に背を向けて（北側を望んで）撮影した。続いてNew Washingtonと砂嘴先端部との中間地点10で踏査を行い、その後、砂嘴先端部（地点11～17）での侵食状況を調べた。

3. 現地状況

(1) New Washington の郊外

New Washington では海岸線に沿って走る道路の海側に住宅が立ち並ぶ。このため住宅地と道路を波浪災害から守るためコンクリート護岸が造られていた（図-5①）。護岸基部には前浜はなく、異形ブロックが設置されていたが大部分は沈下し、越波防止効果が低かった。その南東側の地点2では、道路護岸からの越波が著しく、護岸と道路の間には越波に伴い池ができていた（図-5②）。踏査当日の波浪は通常時のものであり、その条件でも越波が著しかったことから、台風時などの高波浪時には道路の交通止めを余儀なくされる状態にあることが分かる。

一方、図-5②のように沿岸漂砂の上手側に直立護岸が造られ、漂砂の連続性が保たれなくなったため、一連の護岸防護区間の下手側では侵食が著しい。地点3では比較的新しい家屋前面の地盤高が1.5mも低下し、家屋が倒壊寸前であった（図-5③）。地点4付近でも海浜地盤高の低下量は1.5mに及び、海岸線付近に生育していた高木の根が露出していた。周辺の家屋では侵食に対して木石を用いた個別対策が行われていたが、激しい侵食に対応できるものではなかった（図-5④）。地点4付近には護岸が設置されておらず侵食が進みつつあったが、その南東側では集落を守るために図-5⑤に示すコンクリート護岸が造られていた。護岸の上部と基部の間の旧地表面レ

図-5 New Washington 周辺の侵食状況

ベルには護岸建設時に打たれたコンクリートが付着し、その高さは現況地盤上 1.4 m にあった。これよりこの付近では侵食により 1.4 m 地盤高が低下したことが分かった。また、図-5⑤に示すコンクリート壁を下手側から望む地点 6 付近では護岸は完全に倒壊し、背後地が激しく侵食されていた(図-5⑥)。さらに地点 7 では、侵食が著しいため護岸が倒壊しただけでなく、背後地に比高 1~2 m の浜崖が形成されていた(図-5⑦)。図に示す白い家屋は新築中であり、家屋の基礎は堅固なコンクリートで防護されていた。そのためあってその南東側隣接部で侵食が著しく進んでいた。地点 5, 6, 7 付近では護岸が完全に破壊されていたが、さらに南東側の地点 8 に至ると高さ 1.9 m のパラペット付護岸が直線状に伸びており、その前面には前浜が残されていた(図-5⑧)。この護岸は公共施設用地の海側を防護するために造られたもので、図-6に示すように、2008 年 6 月 27 日と 2013 年 11 月 19 日の衛星画像の比較によれば、施設は周辺地よりやや海側に突出して造られたものの、2008 年当時幅ほぼ 17 m の前浜があった。しかし 2013 年 11 月 19 日では護岸が波に曝されるようになり、下手側汀線がフック状に後退した。図-5⑨は護岸下手側での浜崖侵食状況を示す。浜崖の比

高は 1.6 m に達し、樹木の根が洗い出されていた。

(2) New Washington と砂嘴先端部の中間地点

New Washington 周辺では局所的に護岸が造られたため沿岸漂砂の連続性が失われ、護岸自体の破壊が進むと同時に護岸の下手側で侵食が著しかった、しかし New Washington と砂嘴先端部の中間地点 10 (図-4) では自然海浜が残されていた。この付近の海岸線は、NW~SE 方向にほぼ直線状に伸びていた。図-7⑩は汀線から北向きに望んだもので、海岸線には堤防護岸などの施設は全くなく、幅 20~30 m の砂浜が広がっていた。背後地はココナツヤシ林であり、海浜は礫混じりの砂で構成され、前浜勾配はほぼ 1/10 であった。

(3) 砂嘴先端部

砂州の南東端では砂嘴が発達していることから、図-4の矩形区域を切り出し、拡大したのが図-8 である。図示するように、岬 A では北西側と南東側の汀線位置には 38 m の落差が見られる。岬 A は固い岩盤できており、これが沿岸漂砂に対する固定境界を与えていた。海岸線に沿って New Washington から伸びてきた道路は岬 A 付

図-6 公共施設用地の海側を防護するために造られた護岸前面の浜幅の変化

近でほぼ直角に曲がり、内陸へ向かう。この道路の東側は多数の lagoon を持つ湿地となる。南向きに伸びた道路は砂嘴状の微高地に沿って走るが、この道路の東側は一面低地である。この低地には多数の凹地があり、凹地間には ridge が伸びている。凹地は南側から番号①～⑨で示すように9列あり、岬Aを通して南東方向へと伸びた汀線とのなす角が凹地①～凹地⑨へと次第に小さくなっている。これは固い岩盤が control point となる岬A付近より砂嘴が剥離しつつ間欠的に伸びた結果と推察される。

この付近での踏査は、地点11にある岬A付近から開始した。図-7⑪に示すように、岬Aの北西側では砂が堆積して広い前浜が形成されていた。これと対照的に岬Aの下手(南東)側では侵食が進んでいた。侵食状況を図-7⑫に示す。後浜と背後地とを分ける小道に沿って比高0.8mの崖が連続的に形成されており、住民が土嚢袋と木杭を用いた侵食対策を行っていたが、侵食防止効果は低く土嚢袋の沈下も著しかった。その下手側では住民が図-7⑬に示すコンクリートブロックを製作し設置していたが、重量不足のため散乱が著しかった。

図-7⑭は岬Aから南西に510m離れた地点に建つ住宅の被災状況を示すが、侵食とともに海浜地が狭まり、汀線が後退したために海浜地にココナツヤシの根が散乱し

図-7 砂嘴先端部の侵食状況

ていた。この被害は、主に2013年11月7日～9日にLeyte島に上陸した台風30号(Haiyan)¹⁾時の高波浪によるものであり、海岸線付近の家屋が破壊された。図-7⑮はこの住宅地の東隣りで撮影した倒れた電柱を示す。倒れた電柱の中央には高波時流されてきた植物の根が絡んでおり、その高さは海浜上1.8 mにあった。このことから台風30号時には当地でも2 m程度の越流が起きたことが分かった。さらに海岸線に沿って南東端に達し、灯台を望む位置から海峡部を望んだ写真を図-7⑯に示す。住民への聞き込み調査によれば、灯台は過去に3回陸側に移されたとのことである。海岸線に沿って造られていた護岸は基礎の一部を除いて全壊していた。図-7⑰は図-7⑯に矢印で示す倒れた展望台の回転階段を示す。

4. 南東端における新しい砂嘴の発達

図-7⑯に示したように、直線状に伸びてきた汀線の南東端は護岸で固められていた。このため図-8に示したように、護岸の南東端では上手側からの沿岸漂砂の連続性が失われ、護岸端部の汀線がフック状に後退すると同時に、その南側では新たに砂嘴の発達が始まった。発達しつつある砂嘴を含む図-8の矩形区域の拡大衛星画像を図-9に示す。図には2008年6月27日、2011年11月11日および2013年11月19日の3時期の砂嘴形状を示すとともに、2011年11月11日および2013年11月19日の衛星画像には2008年6月27日の砂嘴形状を重ねて示した。まず、2008年6月27日では壊れた護岸の南側にS字を描きつつ砂嘴が発達し、先端部は直径が280 mの円弧状であり、この時期砂嘴の先端は対岸に接続せず水路を残していた。2011年11月11日には、砂嘴は東側への突出量を減じつつ平均海岸線と平行に約40 m南側にずれた。その後2013年11月19日も砂嘴の南側への移動が続いていた。上手側からの沿岸漂砂が潤沢であれば砂嘴の上手側が削られ、下手側に堆積するような地形変化は起こらないことから、図-9に示す砂嘴の変化が起きた点は、上手側からの供給土砂量の減少に対応していると考えられる。一方、各時期の砂嘴の汀線の陸側には低地が残されているが、この低地もまた凹地とridgeの組み合

図-8 砂嘴先端部に残された9列のridgeと凹地

わせで構成されている。また、砂嘴の先端部のridgeの走行方向と現況汀線とのなす角が大きく、ridgeがtruncateされている。これは図-9のように砂嘴が全体に南側へ移動しつつ上手側が侵食され、その侵食土砂が下手へと運ばれて新たな砂嘴が形成される場合の履歴が残されているためと考えられる。同様な現象は北海道東部の野付崎でも起きたと考えられている²⁾。

5. 対象地域沖の海底地形

図-10は対象地周辺の海図³⁾を示す。図には汀線近傍を除く海域の水深分布と底質区分が記載されている。砂嘴先端のFloripon Pointの東側にはtidal inletがあり、対岸との間に水深8 mに達する深い溝が形成されるとともに、沖合には退潮流によるebb tidal deltaが形成されている。Inletから沖に伸びた深い溝の西側では、水深3 mの浅瀬がほぼ三角形に大きく張り出しており、この突出部は砂で構成されている。南東向きの沿岸漂砂によって運ばれてきた砂が砂嘴先端を回り込んでinletの溝に落ち込むと、その砂の多くは退潮流により沖向きに運ばれ、浅海域に堆積して突出した砂州を形成したと推察される。一方、砂嘴先端より北側区域の水深と底質分布を調べると、ほぼ-6 mを境に砂からmudへと底質が変化し、また-6 mの等深線は海岸線とほぼ平行に伸びている。したがって当海岸での波による地形変化の限界水深 h_c はほぼ-6 m程

図-9 変形の続く新しい砂嘴 (2008年6月27日～2013年11月19日)

図-10 対象地域の海図 水深 (D.L.,m), M: mud, S: sand

度にあると推定される。 h_c が外海・外洋に面した海岸の -10 m 程度と比べて小さいのは、Sibuyan Sea が島々に囲まれた内海であり、図-2 に示したように Kalibo 付近での対岸距離が約 160 km と比較的短く、波の発達が抑制されているためと推定される。

6. 考察

調査対象地域では、上手端にある Aklan 川からの供給土砂が南東向きの沿岸漂砂によって運ばれ、南東端に堆積して砂嘴が形成されてきたが、Aklan 川では骨材用の砂利採取が広範に行われ、長期的に見て流出土砂量が減少する一方、海岸線に沿って走る道路の両側に住宅地が立ち並ぶため、道路が海岸線に接近した場所では道路と住宅を波浪災害から防護するために各所で護岸が造られた。侵食が進むに従い護岸の破壊が進み、護岸（残骸）が海中に取り残された結果、南東向きの沿岸漂砂が阻害され、それらの漂砂下手（南東）側ではいずれも侵食が著しく進んでいる。さらに、台風 30 号 (Haiyan) などの高波浪の作用により侵食が助長されたと考えられる。当

地では、Aklan 川河口から南東端にある砂嘴まで長さ約 21 km の海岸線全体を視野に入れて保全を図るという総合的な手法についての理解がなく、護岸による局所対応が行われているため、問題は解決される方向には進んでいない。砂利採取に伴う河川流出土砂量の激減と、その後の護岸建設および下手側侵食の組み合わせは、わが国の安倍川と静岡・清水海岸で 1970、1980 年代に起きた侵食事例⁴⁾⁵⁾ と全く同様である。局所的対応として護岸を建設しても、新設護岸の下手側に新たな問題が造り出されることを考慮すれば、河川流域をも含んで沿岸全体を視野に入れ、海岸の安定化を図って侵食を防ぐ手法について取組み、その中で個々の地点での防護を位置付けることが必要と考えられる。

対策としては、まず Aklan 川からの土砂供給があつてこそ海岸が保たれていることを理解した上で、海岸線付近で施設が海側に過剰に施設が突出しないような土地利用を誘導することが必要である。その上で、上手側の侵食箇所から個別に護岸を造るのではなく、沿岸全体を俯瞰し、数か所に離岸堤など沿岸漂砂を制御する施設を配置し、その上でわが国の静岡清水海岸で実施されているように、サンドバイパスによる養浜を行うなどの手法が考えられる。Phillipine においてもこのような視点からの海岸保全手法について人々の理解を促すことが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 河合弘泰, 関 克己, 藤木 峻: 台風 1330 号によるフィリピン中部の高潮・波浪特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp.L221-L225, 2014.
- 2) 宇多高明, 山本幸次: 北海道野付崎の形成過程, 地形, Vol.13, pp.19-33, 1992.
- 3) National Mapping & Resource Information Authority, 2004.
- 4) 宇多高明: 「海岸侵食の実態と解決策」, 山海堂, p.304, 2004 (PDF ver. 2014).
- 5) Uda, T. 2010. *Japan's Beach Erosion - Reality and Future Measures*, World Scientific, p. 418.

INVESTIGATION OF BEACH EROSION NEAR NEW WASHINGTON AND DEFORMATION OF SAND SPIT IN PANAY ISLAND IN PHILIPPINE

Takaaki UDA, Shingo ICHIKAWA, Shin ONAKA and Hidefumi ENDO

As a study on beach erosion in developing countries, beach erosion in Kalibo City located in the northern part of Panay Island in Phillipine was investigated together with the investigation of the deformation of a sand spit using satellite images. The study area is the shoreline of 7.7 km length between New Washington south of Kalibo City and the sand spit located southwest of the city. Field observation was carried out on January 16, 2014 after Typhoon No. 30. In this area, the shoreline severely receded owing to the decrease in sand supply from the Aklan River. Local optimization method using seawalls has been taken, resulting in no fundamental solution of erosion.