Vietnam の Vung Tau 近傍の Co May River 河口部における地形変動

宇多 高明¹・野志 保仁²・小林 昭男³・芹沢 真澄⁴・
宮原 志帆⁵・伊達 文美⁶

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 タカラビル)

E-mail: uda@pwrc.or.jp

² 正会員 日本大学理工学部海洋建築工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

³ 日本大学教授理工学部海洋建築工学科

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 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)

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

Vietnam の Vung Tau の東 9 km に流入する Co May 川河口における砂州の変動状況を調べた。この河口では、河口を取り囲む浅瀬の外縁線が東西非対称形であることから、南西向きの沿岸漂砂が卓越していることが分かった。また、河口右岸砂州の付け根付近では高波浪時の波の遡上により後背湿地に生育するマングローブ林まで砂が打ち込まれ、その後滞筋に沿って上流方向へと向かう沿岸漂砂により侵食され、上流部に砂嘴の発達を促した。現況汀線に粘性土層と枯れた樹木が残されている点より、河口右岸砂州は砂の打ち込みと波による侵食という変動を繰り返しながら徐々に侵食されつつあると見られた。

Key Words : Vietnam, Vung Tau, Co May River, river mouth bar, mangrove, longshore sand transport

1. はじめに

東南アジアなど、経済発展が急速に進みつつある国々では、各地での急速な沿岸域開発に伴い、わが国が過去に経験したと同種の海岸侵食が顕在化しつつあり、問題の放置は大きな外部不経済の要因となる可能性が大きい。問題の発生を防ぐには、開発地域の漂砂特性の十分な理解とともに、各種開発の計画段階から様々な人為改変の影響を十分検討し、対応策についても考えておくことが大事である。しかし開発を重視するあまり十分な環境保全策が取られていない事例も多い。筆者らは、このように急速に発展しつつある国々の海岸保全に関心を持ち、いくつかの発展途上国において海岸調査を行ってきた(例えば, Onaka *et al.*¹⁾; San-nami *et al.*²⁾; 宇多ほか³⁾)。さらにごく最近ではVietnamのHo Chi Minh City Universityとの協力の下、南部の大都市Ho Chi Minh Cityの東約270 kmに位置するPhan Rang City周辺の海岸を調査し、しばしば発展途上国で見られるように、解析に必要とされるデータが十分取得されない条件下でも現地踏査と衛星写真の判読を組み合わせた方式により海浜変形機構の解明が可能なことを明らかにした⁴⁾。本研究では、上記研究協力の

図-1 Co May Riverの位置

2年目として、2014年10月25, 26日、新たにHo Chi Minh Cityの南東67 kmに位置するVung Tau周辺の海岸を調査区域として選んで現地調査を行った。ここでは図-1に示すようにVung Tauの東9 kmに流入するCo May Riverの河口における砂州変動状況調査の結果について述べる。

2. 調査地域の概況

図-1に示すように、Co May River河口を含む矩形区域に

おける2010年2月14日と2012年12月1日の衛星画像を図-2, 3に示す。Co May Riverの河口では、左岸側から長さ1.7 kmの河口砂州が河口部を塞ぐように南西向きに大きく伸び、河口の流路は南西方向へと細長く伸びている。この状況より、当地での沿岸漂砂の卓越方向は南西向きといえる。一方、左岸河口砂州の南西に隣接して開口部があるが、この開口部の幅は2010年2月14日には525 mであったが、2012年12月1日には594 mと、69 m広がった。一方、右岸河口砂州に沿って沖合を浅瀬で塞がれた流路が南西方向へ伸びているが、この流路の最小幅は2010年2月14日の115 mから2012年12月1日には99 mと16 m狭まっており、左岸河口砂州に隣接する開口部と逆モードの変化が見られる。これは主に入退潮流の流量見合いで開口部幅が定まっており、片側の開口幅の増加は他方の減少に繋がるという変化が起きているためと推察される。また、これから開口部の外海側では入射波の碎波状況から、河口を取り囲む幅広い浅瀬が発達していることが見て取れる。図-2, 3にはこの浅瀬の外縁を滑らかに結ぶ線を破線で示すが、浅瀬の外縁線は東西非対称で、左岸砂州の東側では汀線に滑らかに接した後汀線とほぼ平行に伸びているが、開口部沖では大きく突出した後、河口の南西側では急角度をなして岸へと近づいている。このような河口沖の浅

図-2 Co May River の左岸砂州の衛星画像
(2010年2月14日)

図-3 Co May River の左岸砂州の衛星画像
(2012年12月1日)

瀬の外縁形状の東西非対称性もまた南西向きの沿岸漂砂の卓越に対応していると推察される。このように、Co May Riverの河口では左岸における砂嘴の発達状況と河口沖の浅瀬の外縁形状の非対称性より、南西方向への沿岸漂砂が卓越し、この沿岸漂砂が河口沖の浅瀬を通過して流れていると考えられる。

図-2, 3には詳細調査を行った区域①②③を示す。これらの区域のうち、区域①では高波浪時の波の遡上により砂に埋まった干潟が侵食され、再露出した状況が観察された。区域②では、海岸線の突出部における砂州の発達と縮小が、そして区域③では砂嘴の連続的な伸長が観察された。とくに地域①では現地調査の結果も併せることにより砂州の堆積-侵食のプロセスの一端を確認できた。

3. 調査結果

(1) 高波浪の遡上により砂に埋まった干潟の侵食による再露出 (区域①)

図-4 には、区域①の2008年1月30日から2014年3月15日まで5時期の衛星画像を示すとともに、各図には2014年10月26日の現地踏査における写真撮影地点番号も示す。また、各図には比較の基準として地点1の東2.94 kmの地点を通る南北線を記入してある。この基準線を参照したとき、2008年1月には基準線上のdry beachの幅は330 mであったが、2010年2月には一挙に1720 mまで広がった。この地形変化は、高波浪により砂が一挙に砂が打ち込まれたものと推定されるが、汀線付近が削られて砂が陸側深く打ち込まれるのであれば、汀線付近の侵食と陸側での堆積がセットで起こるはずである。しかし汀線付近には変化は見られず堆積のみが顕著である。一方、沖合の浅瀬と右岸砂州の間には滞筋が形成されているので、沖合の浅瀬を横断して岸向きに砂が運ばれたとしても砂は滞筋の急斜面で堆積してしまうことから、滞筋を越えて右岸砂州に大量の砂が運び込まれたと考えることは難しい。さらに大量の砂が打ち込まれた場所の南側区域でも堆砂が著しいことから、砂は主に南側から滞筋に沿うようにして運び込まれたと推察される。

その後、2012年3月ではdry beachの幅は1440 mと狭まったが、画像から判断すると砂州の陸側端付近には変化がないことから、dry beachの水路に面した部分の汀線が後退したことがこの理由と考えられる。2012年12月には、広がった砂州の陸側部分で植生の繁茂が始まる一方、汀線付近には後に現地状況写真に示すように砂浜の侵食に伴い、砂浜に埋まっていた粘性土層が表面に現れた(図-4(d)の地点4以北)。同じ状態が2014年3月15日にも続いている。

次に、図-5には現地状況写真を一括して示す。踏査地

図-4 調査区域①における砂州の変動

図-5 現地状況写真 (a-j)

点の海岸状況として、地点1から北西方向を望んだのが図-5①である。北西方向へと緩勾配の砂浜が続いていたが、写真の左端では建物の残骸が見られ、さらにその北側の砂浜と砂丘地の境界付近では砂丘を切って形成された浜崖が遠望された(写真の矢印A)。浜崖を近傍から撮影したのが図-5②であり、比高約4mと高い浜崖が形成されていたことから、地点2付近では著しい侵食を受けたが、その後浜崖前面では堆砂が進み、前浜が再形成されたことが分かった。

一方、地点2の北東1660mに位置する地点3からは、汀線付近の広い区域に粘性土層が帯状に現れているのが

見えた(図-5③)。この粘性土層には矢印Bで示すように枯れた樹木の株が多数残されていた。B付近の詳細状況を図-5④に示す。この付近に粘性土層と多数の樹木の株があることは、地点4付近が干潟として形成され、そこにマングローブなどの樹木が生育していたが、この干潟が侵食され樹木の株が残されたことを示唆する。しかしながらこの付近は現況で砂浜となっている。粘性土層が海に面した場所で形成されることはないので、過去に外側をbarrierのように砂浜により囲まれた場所に干潟が発達していたが、外側を囲む砂浜が侵食された結果、陸側にあった干潟に形成されていた粘性土層が露出したと推察される。そこで汀線とほぼ直角方向に内陸方向へと移動しつつ背後地の状況を調べた。まず、図-5③に示したように粘性土層の露出地点の背後には砂浜があるので、これを横断し小規模な砂丘を越えると平坦な草原があった(図-5⑤)。この草原には高木はわずかししか生育していなかったが、この草地を越えた先には樹林帯が望めた(矢印C)。草地を横断して地点6に達すると、比高は小さいものの砂丘があり、この砂丘を越えた場所にはマングローブ林が茂っていた(図-5⑥)。樹間から干潟を望んだのが図-5⑦で、確かにマングローブで覆われた干潟があり、そこには粘性土が堆積していた。このことから図-5⑤に示した粘性土層はこの付近まで続いていたと推定された。

その後再び汀線へ戻り、粘性土層内に残された樹木の株を撮影したのが図-5⑧で、枯れた樹木の地表面から1 mの高さにおいて、飛沫帯と満潮時に水中に没する高さでのフジツボの種類の変化から、粘性土層上約1 mまでの満潮時の水面が達すると見られた。この満潮時の水面と見られる高さと同じ標高を持つ地点を図-5⑨に示す。観測者の持つポール基点が図-5⑧に示す地表面上1 mの高さと同じである。よってこの位置は前浜の基部付近に相当していた。さらに、この砂層の下部に粘性土層が残されている証拠の一つとして、海浜に穴を掘って生息するスナガニの巣穴の周辺に砂層下にあると見られる粘性土層の砂団子が多数残されていたことも挙げられる(図-5⑩)。スナガニがそれほど厚みの深くない砂層を通過して下層の粘性土層にまで穴を掘ったことが分かる。前出の図-4において地点4, 8は汀線に沿う黒い帯上に位置しており、図に示された黒い帯が侵食によって表面に現れた粘性土層であることが確認された。

(2) 海岸線の折れ点付近における砂州の発達と縮小 (区域②)

図-2, 3に示したように、右岸砂州のほぼ中央部には海岸線の折れ点がある。この折れ点より北側の汀線は、南側の汀線の延長上より反時計回りに約20°傾いている。この理由は、折れ点以北では左岸砂州の南西側隣接部にある開口部からの波の作用を強く受け、上流方向への漂

砂が発達するためと推察される。折れ点付近について

図-6 調査区域②における舌状砂州の変動

2008～2014年に取得された衛星画像を図-6に示す。各図では白く見える dry beach と wet beach の境界線が区別されることから、これを汀線として各画像には前回汀線も記入した。なお潮位変動による汀線変化はノイズ扱いとした。

2008年1月30日には、砂州は南北方向に260mの規模で、東西方向に最大60mの幅を有し、南北方向にほぼ対称形を有していた。また砂州の折れ点Dの南東側には、幅160mの水路を跨いで東北東～南西方向へと沿岸砂州が伸び、とくにEには水面上に現れた砂州も形成されていた。以下、全ての図には比較のため点D、Eとともに、2008年1月30日当時の植生帯外縁（点F）の位置を示す。2010年2月14日には、砂州がDを越えて北側へと大きく発達し、砂州の折れ点がDの北81mまで移り、浜幅が86m増加した。同時にDの南西側では長さ490mにわたって約30mの汀線後退が起き、F付近では植生帯の外縁線の後退が起きた。一方、この間砂州の南側にある浅瀬の陸側境界線は、砂の堆積によりD、Fの中間地点で約20m岸側に接近している。したがって沖合の浅瀬上では岸向きに砂が運ばれたもののその砂は滞筋を越えて岸側へと運び込まれることができず、したがって右岸砂州の変化は、主に滞筋に沿って上流方向へと向かう漂砂が起きたためと考えられる。滞筋を跨ぐ沖合の浅瀬上には北北東方向へと伸びた細長い砂州が数多く発達しているが、このような縦砂州は南南東方向からの波浪作用により形成されるものであるから、南南東方向から高波浪が作用し、これが右岸砂州に対して斜め入射したため上記の地形変化が起きたと推定される。このように成長した砂州も、2012年3月3日までにはほとんど消失し、折れ点Dは水面下となった。2012年12月1日には折れ点周辺ではさらに侵食が進み、D付近での浜幅は大きく狭まった。砂州が消失した状態は2014年3月15日も続き、汀線の折れ点付近では大きな汀線変動が起きたことが分かった。なお、沖合のEでは2008～2012年には孤立した砂州が形成されていたが、2014年では洪水流と見られる流水の作用により砂州は消失した。前出の区域①では2008年1月30日から2010年2月14日の間に波による砂州の打ち込みが生じたが、これと同じ期間に区域②でも北向きに砂州が大きく発達した。その後、区域①では侵食傾向となり汀線が後退したが、区域②でも同様な地形変化が起きたことが分かった。

(3) 左岸砂州の北東端における砂嘴の発達（区域③）

左岸砂州の北東端では、北東方向に流れてきた支川が本川と合流しており、その境界に砂嘴が伸びている。図-7にはこの砂嘴と対岸にある別の砂嘴を含む区域について2008～2014年に取得された5時期の衛星画像を示す。また初期の2008年1月30日の汀線と前回汀線を合わせ

て示す。まず、2008年1月30日では砂嘴先端部は直径が約210mのほぼ半円形であり、砂嘴を取り囲んで支川

図-7 調査区域③における砂嘴の伸長

から本川へと滞筋が伸びていた。一方、対岸では沖合の砂の堆積域へと陸繋島のように細長く砂州が伸びていた。2010年2月14日では砂州が北東方向へ59m伸びると同時に、対岸の砂州の先端部が消失した。同じ比較期間において、区域②では北向きの漂砂が生じたが、この結果と区域③での砂嘴の北東方向への伸長および対岸の砂州先端部の消失は、上流方向へ向かう波の作用があった点において整合する。2012年3月3日には、砂嘴の先端部がさらに伸び、いったんは砂州がほぼ消失した対岸においても再び砂の集積が始まった。2012年12月1日には対岸では西向きに210mの細長い砂嘴が形成された。また2014年3月15日では、砂嘴は北東方向へやや伸び、対岸の砂嘴はその先端が陸と接続したため背後に lagoon が残された。

4. まとめ

Vietnam の Vung Tau の東9kmに流入する Co May River の河口において砂州変動状況の調査を行い、次の結果を得た。

Co May River の左岸側から伸びた砂州の南西側には、河口を取り囲むように浅瀬が発達し、その外縁線が東西に大きく非対称形であった。これより Co May River の河口では全体として南西向きの沿岸漂砂が卓越していること、また、浅瀬が南西方向に大きく伸びているため Co May River の滞筋は西側に押されるようにして細長く伸びることが分かった。また、左岸砂州の西側隣接部に形成された開口部の幅と南西方向に伸びた滞筋の川幅の変化には逆モードの変化が見られ、入退潮流に合わせて河口幅が保たれる傾向があった。

右岸砂州の付け根付近では高波浪時の波の遡上により後背湿地に生育するマングローブ林まで砂が打ち込まれ、その後植生により覆われて一時的に安定化したが、滞筋に沿って上流方向へと向かう沿岸漂砂により侵食され、砂は上流方向へ運ばれ、区域③にある砂嘴の発達を促すという変化が観察された。さらに、区域①の現況汀線に粘性土層が現れ、そこに枯れた樹木が残されている点より、河口右岸砂州は砂の打ち込みと波による侵食という変動を繰り返しながらも徐々に侵食されつつあると推定された。なお、今回の解析に用いた2008～2014年の空中写真の比較では、区域①の汀線付近に粘性土層が現れた理由を明確にはできなかったが、河口沖の浅瀬が徐々に南西方向に伸びたとすると、これに応じて滞筋が西側へ押しやられると考えられることから、これに伴い砂州が侵食されたことが原因と推定される。

参考文献

- 1) Onaka, S., Endo, S., and Uda, T : Bali beach conservation project and issues in beach maintenance after completion of project, *Asian and Pacific Coasts* 2013, Proc. 7th Inter. Conf., pp. 198-203, 2013.
- 2) San-nami, T., Uda, T., and Onaka, S : Long-term shoreline recession on eastern Bali coast caused by riverbed mining, *Asian and Pacific Coasts* 2013, Proc. 7th Inter. Conf., pp. 275-282, 2013.
- 3) 宇多高明, 大中 晋, 芹沢真澄 : Bali 海峡に面した Pengambengan 漁港周辺の海浜変形, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, pp.L_678-L_683, 2014.
- 4) 宇多高明, 野志保仁, 小林昭男, 宮原志帆, 芹沢真澄: Vietnam 南東部 Phan Rang City 近郊で観察された海浜変形, 地形, Vol.36, 2015. (印刷中)

TOPOGRAPHIC CHANGES AROUND CO MAY RIVER MOUTH LOCATED IN VUNG TAU IN VIETNAM

Takaaki UDA, Yasuhito NOSHI, Akio KOBAYASHI, Masumi SERIZAWA,
Shiho MIYAHARA and Ayami DATE

Topographic changes in the Co May River mouth located 9 km east of Vung Tau in Vietnam were investigated. Around this river mouth, the development of an asymmetric shoal in the east-west direction was observed, suggesting the predominance of southwestward longshore sand transport. Furthermore, sand was transported and deposited inside the mangrove forest by storm waves in the hinterland of the right bank of the river mouth, and then sand bar was eroded by longshore sand transport in the upstream direction along the river bank, resulting in the development of a sand spit at upstream end. Also, the exposure of the bed composed of the cohesive material and the roots of the dead trees showed that the right river bank is subjected to the sand deposition under the storm wave condition and wave abrasion owing to longshore sand transport.