ベトナム・ダラン川河口周辺の汀線変動と 河口テラスとの関連

田中 仁¹・Vo Cong HOANG²・Tran Minh THANH³・Nguyen Trong HIEP⁴・
Nguyen Trung VIET⁵

¹フェロー会員 東北大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻
(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: hitoshi.tanaka.b7@tohoku.ac.jp

²学生会員 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻
(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: hoangvc@tlu.edu.vn

³学生会員 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻
(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: thanhtranqhtl@gmail.com

⁴Thuy Loi University, Faculty of Civil Engineering (175 Tay Son, Dong Da, Hanoi, Vietnam.)
E-mail: hieptn3k@wru.vn

⁵Thuy Loi University, Faculty of Civil Engineering (175 Tay Son, Dong Da, Hanoi, Vietnam.)
E-mail: nguyentrungviet@tlu.edu.vn

ベトナム南部に位置するダラン川河口周辺海浜においては、近年、深刻な海岸侵食が見られる。ただし、侵食は限定された箇所に存在している。このような局所的な海岸侵食機構を検討するために、Google Earth 画像を用いて汀線変動の傾向を解析した。その結果、汀線変動は河口開口部をはさんで左右岸において非対称であり、右岸で約 5 km、左岸で約 4 km の範囲で汀線変動が顕著であった。その多くの区間において 2009 年から 2012 年の間に顕著な汀線後退が見られた。一方で、右岸で局所的に約 1 km にわたり汀線が前進する箇所が見られた。そこで、河口前面海域における深浅測量データとこの侵食・堆積との対応を検討した。その結果、ダラン川河口前面には沿岸方向 4 km にも及ぶ大規模な河口テラスが存在し、汀線前進を示す箇所は河口テラス縁辺部が汀線に接する場所に対応することが判明した。これは、河口テラスの縁辺部に沿って河口前面堆積砂が岸向きに回帰することを示している。

Key Words : Da Rang River mouth, morphology change, Google Earth images, erosion, river mouth terrace

1. はじめに

ベトナムの海岸線は3,620 kmにも及び、多くの河川が南シナ海に注いでいる。近年、同国における海浜、特に河口部周辺の砂浜海岸の多くに深刻な海岸侵食が見られている。このことから、ベトナムにおける海岸侵食を扱ったいくつかの研究報告がなされている。Viet et al.¹⁾はカイ川河口右岸に位置するニャチャン海岸における侵食現象が季節的なものであることを明らかにし、その機構はモンスーン期および非モンスーン期の波浪特性、特に波向きの変化によるものであることを報告している。その後、同海岸にはビデオカメラが設置され、長期間の撮影画像に基づく汀線変動ならびに沿岸漂砂の向きに関する定量的評価がなされている(Thanh et al.²⁾)。一方、Viet et al.³⁾、Hoang et al.⁴⁾はクアダイ河口左岸の砂浜海岸におけ

る深刻な侵食に関する検討を行っている。同海岸は河口に隣接していることから、河川流出土砂と侵食現象との関連が推測されている。Noshi et al.⁵⁾はベトナム南部ファンラン市の海岸について、河口砂嘴の延伸と導流堤による沿岸漂砂の阻止に伴う海岸侵食について検討を行った。

本研究で対象とするダラン河口は中部ベトナムのトゥイホア市に位置し、近年海岸侵食が著しい。最大で60 mに及ぶ汀線後退が生じている。しかし、汀線の後退は砂浜全域に生じてはならず、局所的なものである。

途上国においてはこのような海岸侵食機構について検討を行う際に、現地資料が限定されることによる困難さを伴う。そこで、本研究においてはGoogle Earth画像を用いて近年の汀線変動の傾向を明らかにした。また、いくつかの深浅測量データも併用することにより、河口テラスと汀線変動の関係について考察を行った。

図-1 ダラン川河口の位置

2. ダラン河口の概要と研究方法

図-1 にはダラン川河口の位置とその概要を示している。幹川流路延長は 374 km, 流域面積は 13,900 km², 年平均の流量は 275 m³/s である (Huong et al.⁶⁾). Cong et al.⁷⁾ はダラン河口における潮流調査を行い, 河口部における土砂移動に関する検討を行っている。

本研究においては, 侵食過程の実態を知るために 2015

年 9 月に現地調査を実施した。さらに, Google 画像を解析し, 2009 年から 2015 年までの汀線変動を得た。この際に, 画像の幾何補正を行い, さらに WGS84 座標系に変換を行い, 比較を行った。なお, Google 画像は撮影時刻が不明であることから, これまで汀線位置の潮位補正が行えないという欠点があった。本研究においては, Hoang ら⁸⁾によって提案された手法により画像中の建物などの影の向き・影の長さから撮影日の太陽高度・太陽方位を求め, これより撮影時刻を推定した後に潮位補正を行った。これにより, Google 画像から精度良く汀線位置を求めることが可能になった。

3. 結果と考察

(1) Google Earth 画像に見られる河口地形変化

図-2 には収集した Google 画像に幾何補正を施した結果を示している。沖に向かって凸形状の明瞭な河口デルタ地形を示し, 多量の河川流出土砂に由来する海岸地形であることが推察される。ただし, 2009 年から 2012 年にかけて特に河口砂州部分での汀線後退が認められる。そこで, 大きな変化が見られた前半部 (Period 1: 2009 年 6 月 ~ 2012 年 4 月) と, その後の比較的安定した後半時期 (Period 2: 2012 年 5 月 ~ 2015 年 2 月) に分け, さらに空間的にも図-2(g)に示す 3 つのゾーンに分けて考

図-2 ダラン川河口周辺の地形変化

(a) Zone 1 における汀線変動

(b) Zone 1 における汀線位置の変化

図-3 Zone 1 における汀線変動と汀線位置の変化

察を行うこととした。

(2) Zone 1 における汀線変動

図-3 にはもっとも北に位置する Zone 1 における汀線を示している。変動は見られるものの、全体的に汀線は安定しており、図-3(a)、図-3(b)のいずれにおいても大きな汀線変化の傾向は認められない。唯一、図-3(b)の $x=2,500$ m, $3,000$ m において 2010 年から 2012 年にかけて汀線の後退傾向が見られ、これは後述する Zone 2 における変動特性と符合している。

(3) Zone 2 における汀線変動

上記の図-3 に比べて、図-4 に示した Zone 2 においては沿岸方向に汀線変動の特性に相違が現れている。図-4(a)においては右岸・左岸ともに河口開口部からの距離が増加するに連れて変動幅が減少していることが分かる。ただ、変動の様子は河口をはさんで左右対称ではなく、右岸においてより遠方まで汀線の変動が見られる。図-4(b)において汀線位置の変化を見ると、Period 1 (2009 年 6 月～2012 年 4 月) と、Period 2 (2012 年 5 月～2015 年 2 月) において傾向が異なっている。Period 1 においては多くの測線で汀線の後退がみられ、一方、Period 2 においては汀線の回復が見られている。両期間における汀線変化速度の定量的評価については後述する。

なお、2009 年、2010 年の両年において、 $x=7,200$ m 付

近に汀線の前進が見られる。これは、汀線から沖合約 40 m に設置されていた浮きドックの影響により背後にトンポロが形成されたものである。その後、浮きドックが撤去されると全体的な汀線の後退が進み、このような凸状の汀線形状が消失した。

(4) Zone 3 における汀線変動

河口から約 3 km から 6 km 離れた Zone 3 においては徐々に汀線の変動幅が減少している。この様に、侵食の傾向は河口をはさんで対称ではない。図-5(b)において見られるように、やはり Period 1 において汀線後退が見られ、その後、汀線は安定している。

(5) 現地調査結果

現地調査時の写真を図-6 に示す。図-2(g)の最下部に示した沿岸方向座標系において、 $x=7,500$ m 付近の状況を示している。写真中央付近の印内には、以前、陸上に存在した建物の基礎部が地上に抜け出している。

このような深刻な海岸侵食対策として、手前側の海浜部において突堤の工事がなされていた。工事は 2015 年 4 月から行われ、最終的には岸沖方向長さ 30 m の突堤を沿岸方向に 75 m 間隔で合計 15 基設置する対策工事が実施される予定であり、現時点で 12 基までの建設が完了している。これにより、さらなる汀線後退は防止されている。

(a) Zone 2 における汀線変動

(b) Zone 2 における汀線位置の変化

図-4 Zone 2 における汀線変動と汀線位置の変化

(a) Zone 3 における汀線変動

(b) Zone 3 における汀線位置の変化

図-5 Zone 3 における汀線変動と汀線位置の変化

図-6 河口右岸海浜 ($x=7,500$ m) の侵食状況
(2015年9月8日撮影)

(6) 汀線変化速度と河口テラスとの関連

汀線変動の長期的な傾向を知るために, Period 1: 2009年6月~2012年4月, Period 2: 2012年5月~2015年2月の二つの期間に分けて, 汀線位置 y に対して次の最小二乗法を当てはめた.

$$y = at + b \quad (1)$$

ここで, t : 時刻, a, b : 定数である. これより, 汀線変化速度 a (m/年, または m/日) を求め, 図-7 に示した. これより, Period 1 (青丸印) には河口をはさんで左右岸の4,000 m 区間 (4,000 m x 8,000 m) において大規模な侵食が見られる. 一方, Period 2 では全体的に汀線が安定しており, 侵食域はほとんど見られない.

図-7 において興味深い点は, $x=9,000$ m 付近の約1 km に及ぶ区間においてはその左右両端において侵食が見られるにもかかわらず, 10 m/年程度の海岸線の前進を示し, 他に比べて特異的な汀線の振る舞いが見られることである(図-7の青矢印).

この $x=9,000$ m 付近での特異な汀線変動の機構を検討

するために, 深浅データを入手した. 1965年, 1968年, 2008年の三カ年にわたる深浅図を図-8に示す. 河口部には顕著な河口テラスが形成されていることが確認される. その沿岸方向の幅は4 km, 岸沖方向1.5 kmにも及び, 我が国の河口テラスの事例(例えば, 天竜川, 阿武隈川など)に比べてきわめて大規模なテラスが形成されていることが分かる. 年によりテラス地形の変形はみられるものの, ほぼ同程度の河口テラス地形が安定して存在することが確認される.

図-8の2008年の深浅図に二つの矢印で示された沿岸方向に細く伸びた海底地形は, テラス地形から南に向かって土砂が運ばれることを示唆している. 同様な河口テラス縁辺部での土砂移動に伴う河川流出土砂の回帰と汀線前進との関係については, 雄物川河口における現地資料をもとに宇多・松田⁹⁾が報告を行っている. また, 須賀ら¹⁰⁾は平面水槽を用いた詳細な水理実験結果から, 図-9の様な河口テラス縁辺部での砕波現象, およびそれに伴う河口テラスからの砂の回帰パターンを確認している. ダラン河口においても同様な機構により河口テラスの土砂移動が汀線に回帰し, 図-7の $x=9,000$ m 付近における汀線前進をもたらしていると考えられる.

4. おわりに

本研究においてはGoogle Earth画像を用いて, ベトナム南部に位置するダラン河口周辺の海浜変形に関する検討を行った. 河口右岸の侵食域において特異な堆積傾向を示す箇所について, 河口テラスとの関係を明らかにした. ただし, それ以外の侵食箇所における機構を明らかにするには至っていない. 今後, 様々な現地データをもとにこれを解明するとともに, 対策工について検討を行うことが求められる.

図-7 ダラン河口周辺海浜における汀線変化速度

図-8 ダラン河口前面の深浅図

図-9 河口テラス周辺の碎波と砂移動(須賀ら¹⁰⁾をもとに加筆)

参考文献

- 1) Viet, N. T., Duc, N. V., Hoang, V. C., Tanaka, H., Uu, D. V., Tung, T. T., Lefebvre, J. P. and Almar, R.: Investigation of erosion mechanism on Nha Trang Coast, Vietnam, *Proc. of the 19th IAHR-APD Congress*, 2014.
- 2) Thanh, T. M., Mitobe, Y., Hoang, V. C., Viet, N. T. and Tanaka, H.: Coastal morphology change and its relationship with climate characteristics on Nha Trang Coast, Vietnam, *Proc. of the 5th International Conference on Estuaries and Coasts*, 2015.
- 3) Viet, N. T., Hoang, V. C., Hai, H. D., Giap, N. V. and Tanaka, H.: Analysis on erosion of beaches adjacent to Cua Dai River mouth, central Vietnam, *Proc. of the 5th International Conference on Estuaries and Coasts*, 2015.
- 4) Hoang, V. C., Viet, N. T. and Tanaka, H.: Morphological change on Cua Dai Beach, Vietnam: Part II Theoretical analysis, *Tohoku Journal of Natural Disaster Science*, Vol.51, pp.87-92, 2015.
- 5) Noshi, Y., Uda, T., Kobayashi, A. and Miyahara, S.: Beach changes observed in Phan Rang City in southeast Vietnam, *Proc. of the 8th International Conference on Asian and Pacific Coasts*, 2015.
- 6) Huong, P. T., Quy, N. B. and Thanh, L. D.: Tidal hydrodynamics of Da Rang River mouth in central Vietnam, *Proc. of the 5th International Conference on Asian and Pacific Coasts*, 2009.
- 7) Cong, L. V., Shibayama, T. and Cu, N. V.: Topography change of Da Rang River mouth in Vietnam: A field measurement, *Proc. of the 3th International Conference on Asian and Pacific Coasts*, pp.1408-1420, 2005.
- 8) Vo Cong Hoang, 田中 仁, 三戸部佑太, Dinh Van Duy: Google Earth を用いた汀線判読のための潮位補正手法, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. B3-72, 2016.(印刷中)
- 9) 宇多高明, 松田英明: 雄物川河口に見る河口沖テラスと河口砂州の形成・消失の相互関係, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp.566-570, 1995.
- 10) 須賀堯三, 石川忠晴, 灘岡和夫, 田中 仁: 河口前面テラスの形成とその消長, 土木学会論文集, 第 381 号/-7, pp.227-230, 1987.

(2016.2.4 受付)

RELATIONSHIP BETWEEN ESTUARY MORPHOLOGY CHANGE AND SAND TERRACE FORMATION AT THE DA RANG RIVER MOUTH, VIETNAM

Hitoshi TANAKA, Vo Cong HOANG, Tran Minh THANH, Nguyen Trong HIEP and Nguyen Trung VIET

In recent years, the erosion of shoreline at the Da Rang River mouth that is located in Tuy Hoa City in central Vietnam has become serious. This study presents changes of coastal morphology at this river mouth through the analysis of satellite images. Shoreline position in the area of about 9km in length around the river mouth was eroded severely, while it was stable on other adjacent areas. The erosion was most severe at the river mouth, whereas it was mild on the beaches far away from the river mouth. There are demarcations where the severe erosion did not propagate beyond. The roles of sand terrace as submerged sand source proving sediment to the adjacent shoreline is also discussed. The evolution of morphology at this river mouth is very important; hence accumulation of more field survey data and further study are highly required.