ベトナム・ニャチャン海岸における漂砂特性の 季節変動に関する検討

Tran Minh THANH¹・田中 仁²・三戸部 佑太³・Nguyen Trung VIET⁴・
Vo Cong HOANG⁵

¹ 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

² 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

³ 正会員 東北大学大学院助教 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: yuta.mitobe.c5@tohoku.ac.jp

⁴ Thuy Loi 大学准教授 Faculty of Civil Engineering
(175 Tay Son, Dong Da, Hanoi, Vietnam.)
E-mail: nguyentrungviet@tlu.edu.vn

⁵ 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

近年、局所的な海岸侵食が発生しているベトナム・ニャチャン海岸において、二台のビデオカメラにより汀線変動を約13ヶ月にわたってモニターした。その結果、約650mの区間において季節的な変動を示していることが明らかになった。その変動幅は砂浜の端部で40mほどであり、端部からの距離の増加とともに減少していることが分かった。また、画像に記録された砕波帯幅の大小の情報から、北東モンスーン期とそれ以外の時期において大きく異なる波浪特性を確認することが出来た。得られた汀線変化データから沿岸漂砂量を推定するにあたり、このような波浪の大小に伴う移動限界水深の変化を考慮する必要があることから、単純な海浜断面の仮定により、砕波帯幅から移動限界水深を推定した。従来の一定値とする手法に比べ、沿岸漂砂量について有意な違いを生むことが明らかになった。

Key Words : Nha Trang Coast, Vietnam, shoreline change, longshore sediment movement, seasonal variation, video monitoring

1. はじめに

ベトナムは3,260 kmに及ぶ長大な海岸を有している。近年、ダム湖における堆砂、河口部での土砂浚渫、さらには気候変動の影響などを受け、深刻な海岸侵食が問題となっている箇所が多く見られている。本研究の対象であるニャチャン海岸はベトナム南部に位置するビーチリゾートであり、やはり海岸侵食が顕在化しつつある。ただし、途上国においては我が国のように十分な海浜測量データ、波浪データが存在するわけではなく、このことがベトナムでの漂砂環境に関する定量的な検討を困難としている。

このような背景から、これまでのベトナムにおける海浜変形を検討するためのアプローチとしては、Landsatや

Google Earthなどの衛星画像を用いた検討(例えば、宇多ら¹⁾、宇多ら²⁾、Thuyら³⁾、Nguyen et al.⁴⁾、田中ら⁵⁾)が多くなされている。

本研究においては、ニャチャン海岸においてビデオカメラによる汀線変動の継続的なモニタリングを行った。また、この観測結果をもとに、モンスーン期・非モンスーン期の波浪特性の相違を考慮した移動限界水深の推定、および沿岸漂砂量の推定を行った。なお、前報⁶⁾においてはニャチャン海岸北端部に設置された一台のカメラから得られた300 mほどの狭域の汀線変動を検討しているのに対して、本論文においては二台のカメラによる画像を用いることにより、沿岸方向に650 mに及ぶ広範囲における汀線を扱っている。また、画像から得られる砕波帯幅より移動限界水深の推定を行っている。

2. 研究対象および使用データ

ニャチャン海岸はホーチミン市から北東に約300 km に位置する長さ約4.3 kmの砂浜海岸である(図-1). 本研究においては, このうち侵食傾向が顕在化している北部650 m程度の範囲を対象としている(図-2). ベトナム科学技術省(Ministry of Science and Technology, MOST)およびフランス開発研究所(Institute of Research and Development, IRD)の共同研究プロジェクトにより2013年5月に2台のカメラによるビデオモニタリングシステムが図-1に示した青丸印の箇所に設置された. その後, 現

図-1 ニャチャン海岸の位置

図-2 調査海浜の詳細

(a) 北向きカメラによる画像

(b) 南向きカメラによる画像

図-3 ビデオカメラから得られた平均画像の一例

在まで連続的に映像を取得し, 海浜変形過程をモニターしている.

撮影された斜め画像を射影変換することにより平面画像に変換し, 汀線位置の変動を得ることが出来る. このうち1台は砂浜北端部を観察するために北向きに, もう1台は南向きに設置されている. ビデオカメラを用いたモニタリングにより高頻度かつ長期間の撮影画像から詳細に海浜変形過程を捉えることができる. 本研究で使用するビデオカメラでは午前6時から午後5時15分までの間毎秒1枚の間隔で撮影を行っており, 本研究では2013年5月26日から2014年7月25日までのおよそ1年間の画像を収集した. これらの画像について15分間毎に撮影された画像の平均を取った時間平均画像を作成した. 潮位変化による汀線変動の影響を無視するため, 最も近くにある観測所における潮位データに基づいて, 潮位が平均潮位と一致する時刻の画像のみを対象として解析を行った. これらの画像処理の手法は前報⁵⁾と同一である.

3. 結果と考察

(1) 画像解析結果の一例

図-3には南北方向を向いた二台のカメラから得られた平均画像の一例を示している. 図-3(b)の南側を撮影した画像においては比較的直線的な汀線が続くのに対して, 図-3(a)の北側を撮影した画像においては汀線が徐々に曲線を描き, その端部は図-2に示すホテルの護岸に接している.

図-3の様な画像に射影変換を施すにあたり, 図-3に見られる護岸に沿って選択した, 標高が一定の12個の地上基準点をもとに行った.

(a) 2013 年 8 月 26 日 (非モンスーン期)

(b) 2013 年 12 月 25 日 (モンスーン期)

図-4 射影変換後の画像の一例

図-5 射影変換後の画像から得られる汀線変化

この様な射影変換により得られた画像の一例を図-4に示した。ベトナムにおいては10月から3月にかけての北東モンスーン期と4月から8月にかけての南西モンスーン期に分類される。図-1に示すベトナムの地形特性から、北東モンスーン期には高波浪が来襲するが、それ以外の季節の波浪は微弱である。特に、図-1に示す様にニャチャン海岸は南からの波に対してホンチャ島の遮蔽域に位置している。このため、波浪の大きさが季節により大きく変化する。

図-4に示した画像はこのような波浪特性を反映したものになっている。まず、図-4(b)においては、特に南向きカメラにより白い砕波帯が明瞭に記録されているのに対して、図-4(a)ではこれが全く見られない。また、波向き

の相違を反映して、北東モンスーン期の図-4(b)の100 m x 200 mの区間においては汀線が護岸まで後退しているのに対して、図-4(a)においては汀線の前進が見られる。この時期に、波浪は南から入射し、さらにホンチャ島による遮蔽の影響があるものの、汀線に対してきつい角度で入射するために、北東モンスーン期に生じた侵食域を回復させるほどの沿岸漂砂が生じていることが分かる。

同様な汀線抽出を行うことにより、図-5の様な汀線変化図を得ることが出来る。後述の様に、この様に得られた汀線の変化速度を空間積分することにより、砂の連続式から沿岸漂砂量を推定することが可能である。ただし、この際の問題点は底質の移動限界水深 D_c の推定である。通常は実測断面あるいは代表波浪から一定の D_c 値を決

定してこれを用いるが、ニャチャン海岸においては図-4からも明らかなように波浪が微弱な時期には、このような一定の D_c 値を用いた時に漂砂量を過大評価することになる。ただし、詳細な深浅測量データや波浪データが存在しないことから、以下では画像から読み取ることで出来る砕波帯幅を用いて D_c 値の推定を行った。

(2) 汀線と砕波帯幅の変動

図-6に見られる様に、ニャチャン海岸における汀線位置 y_s は冬季の後退、その後の前進が周期的に繰り返されており、明確な季節変動が認められる。冬季には北東からのモンスーン波浪が入射する。冬季の汀線後退はこの波に対応している。

一方、図-7には、図-4に例示した砕波帯幅の位置 W の変化を示した。砕波帯幅は北東モンスーン期の10月から3月にかけて増加しており、その増加時期は図-6の汀線後退に対応している。一方、砕波帯幅が急激に減少した2月、3月以降、汀線の回復が見られる。図-4に示した赤破線の区間(230 m x 290 m, 360 m x 470 m)において砕波帯幅を平均した結果が図-8である。さらに、モンスーン期、非モンスーン期について砕波帯幅の平均値を求めれば、それぞれ23.9 mおよび4.8 mとなる。

(3) モンスーン特性を考慮した移動限界水深の推定

移動限界水深 D_c を推定するにあたり、十分な実測値があれば、海浜断面と汀線変化量の間の比例定数として求めることが出来る⁷⁾。一方、このような実測値がない場合には、Hallermeier⁸⁾や、次のBirkemeier⁹⁾の式により求めることが多い。

$$D_c = 1.75H_s - 57.9 \frac{H_s^2}{gT_s^2} \quad (1)$$

ここで、 H_s 、 T_s ：有義波波高、周期である。一方、宇多⁷⁾は次式のように D_c が砕波波高 H_b と相関することを報告している。

$$D_c = a H_b \quad (2)$$

ここで、砕波指標として簡便な次式を使用する。

$$H_b = \gamma h_b \quad (3)$$

ここで、 h_b ：砕波水深、 γ ：定数である。さらに簡単のために、海浜勾配 $\tan\beta$ ＝一定すれば、砕波帯幅 W と砕波水深 h_b の間に次式が成り立つ。

$$\tan\beta = \frac{h_b}{W} \quad (4)$$

図-6 汀線の変動

図-7 砕波位置の変動

図-8 平均の砕波帯幅

図-9 推定された沿岸漂砂量

以上の式(2), 式(3), 式(4)より, D_c の算定式として次式が得られる.

$$D_c = a \gamma \tan \beta W \quad (5)$$

これより, 北東モンスーン期の移動限界水深 $D_{c(NE)}$ とそれ以外の季節の移動限界水深 $D_{c(Non)}$ の比は次式で与えられる.

$$\frac{D_{c(NE)}}{D_{c(Non)}} = \frac{\bar{W}_{NE}}{\bar{W}_{Non}} \quad (6)$$

以上より, 砕波帯幅 W から移動限界水深を推定することが出来る.

図-8において, 北東モンスーン期および非モンスーン期について赤い破線で示した平均値を用いることとする. この砕波帯幅より式(6)の比が定まる. ここで, 北東モンスーン期については別途行われたSWANによる推定波浪に対してモンスーン期間内の0.137% 超過確率を有する波浪条件を定め, これに対してBirkemeier⁹⁾による式(1)を用いて, $D_{c(NE)}=7.0$ mが得られた. また, 式(6)から非モンスーン期の値は $D_{c(Non)}=1.4$ mとなった.

(4) 漂砂量の推定

図-2の砂浜左端に存在するホテルは消波護岸により防護され, ホテル敷地が凸状にせり出し, 海浜に対して突堤に類似した機能を有している. このため, ここでの沿岸漂砂をゼロとすれば, 任意の箇所での沿岸漂砂は,

$$Q(x) = - (D_C + D_B) \int_0^x \frac{\Delta y_s}{\Delta t} dx \quad (7)$$

から求めることが出来る. ここで, D_B : バーム高さ, 汀線位置の時間変化 y_s / t については図-6のビデオモニター結果を使用した. 通常, D_c はある超過確率を有する波浪条件から, 既存の経験式を用いて推定することが出来る. しかし, ニャチャン海岸においては波浪が明瞭な季節変動を有することから, 年間を通じて一定の D_c 値を使用することは適切ではない. そこで, 上記ビデオ画像から推定値をモンスーン期・非モンスーン期に分けて使用し, 一定値とした推定結果との比較を行った.

結果を図-9に示した. 図-9によれば, モンスーン期に正值(南向き)の漂砂が生じており, 図-6の汀線後退が生じることが明らかになった. また, 静穏期の負の漂砂の時期には $D_c = \text{const}$ とする方法との間で有意な差が生じている.

4. おわりに

移動限界水深の季節変動を加味して, ベトナム・ニャチャン海岸における沿岸漂砂量の季節変動を推定した. 一定の移動限界水深値を使う場合と異なり, 北東モンスーン時の南下漂砂に比べ, 非モンスーン時の北上漂砂が過小であるとの結果を得ることから, net の沿岸漂砂量について議論を行う際にきわめて重要な物理過程であることが判明した. 将来, ワンラインモデルなどのシミュレーションを行う際, この様な特性を反映させることが必

要である。

参考文献

- 1) 宇多高明,野志保仁,小林昭男,芹沢真澄,宮原志帆,伊達文美: Vietnam の Vung Tau 近傍の Co May River 河口部における地形変動, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.71, No.2, pp.1766-1771, 2015.
- 2) 宇多高明,小林昭男,芹沢真澄,伊達文美,野志保仁,宮原志帆: Vietnam の Vung Tau 近郊での河口砂州伸長と rhythmic pattern の海浜形成, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.71(2), pp.1760-1765, 2015.
- 3) Mai Thi Thu Thuy, 長塚信二, 西畑 剛, 武若 聡, 三村信男, 安原一哉, Do Minh Duc: ベトナム北部ハイハウ海岸の大規模侵食の経過とその分析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第 68 巻, pp.1441-1445, 2012.
- 4) Nguyen, T. L., Tran, T. T., Nguyen, H. S., Than, V. V. and Lacroix, Y.: Estimation of shoreline changes of the Cai River estuary in Vietnam, *Proceedings of Vietnam-Japan Workshop on Estuaries, Coasts and Rivers*, 2015.
- 5) 田中 仁, Vo Cong Hoang, Nguyen Trung Viet, Dinh Van Duy: ベトナム中部クアダイ海岸に形成された河口テラスと大規模海岸侵食との関連, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.72, No.4, pp.1361-1366, 2016.
- 6) Tran Minh Thanh, 田中 仁, Nguyen Trung Viet, 三戸部佑太, Vo Cong Hoang: 冬季モンスーン波浪の卓越を考慮したニャチャン海岸における沿岸漂砂量評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71, No.2, pp.1681-1686, 2015.
- 7) 宇多高明: 日本の海岸侵食, 山海堂, 442p, 1997.
- 8) Hallermeier, R. J. : A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate, *Coastal Engineering*, Vol.4, pp.253-277, 1981.
- 9) Birkemeier, W. A. : Field data on seaward limit of profile change, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol.111(3), pp.598-602, 1985.

(2016.2.4 受付)

STUDY ON SEASONAL VARIATION OF SEDIMENT MOVEMENT ON NHA TRANG COAST, VIETNAM

Tran Minh THANH, Hitoshi TANAKA, Yuta MITOBE, Nguyen Trung VIET and Vo Cong HOANG

Each year, there have been many storms and strong monsoon waves that caused significant change of coastal morphology in the coastal zones of Vietnam. In the central of Vietnam, Nha Trang Coast also has a severe shoreline erosion problem, especially beach in the northern area of southern Nha Trang Bay disappears in several months every year. In this study, seasonal variation of morphology in this area is investigated. The detailed process of morphological change is presented based on analysis of fifteen-minute time-averaged images from northern and southern camera of video monitoring system. In addition, on the basis of the camera images analysis for surf zone characteristics, depth of closure is identified in consideration of different wave conditions between the northeast monsoon season and the non-monsoon season; hence the estimation of closure depth based on width of surf zone is also proposed in this analysis. Following that, longshore sediment transport rate for corresponded seasons is computed.