ベトナム・ニャチャン海岸における汀線の 周期的変動特性

田中 仁¹・Tran Minh THANH²・Le Thanh BINH³・三戸部佑太⁴
・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: thanhtranqhtl@gmail.com

³ Thuy Loi 大学大学院, Faculty of Civil Engineering (175 Tay Son, Dong Da, Hanoi, Vietnam.)
E-mail: lebinh.hec@gmail.com

⁴ 正会員 東北学院大学講師 工学部環境建設工学科
(〒985-8537 宮城県多賀城市中央 1-13-1)
E-mail: yuta.mitobe.c5@tohoku.ac.jp

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

ベトナム・ニャチャン海岸においては、近年、汀線の後退が顕在化している。しかし、侵食の機構・対策を論ずるための現地資料が乏しい。そこで、2013年5月から2016年8年までビデオカメラによるモニタリングを行い、ニャチャン海岸における海浜変形の特長に関する検討を行った。その結果、同海岸北端部においては、波浪の季節的な変動が著しく、北東モンスーン波浪が卓越する冬季に汀線が後退し、その後、汀線の回復が見られるという季節変動が支配的であることが明らかになった。そこで、経験的固有関数展開(EOF)を用いて実測汀線の展開を行ったところ、93.8%を占める第一成分がこのような季節変動に対応することが分かった。また、空間関数および時間関数の近似により、実測値の周期的な特性を良好に近似することが明らかになった。

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

1. はじめに

ベトナム沿岸部においては冬季モンスーン期の高波浪とそれ以外のモンスーン期の静穏期に明瞭に分かれる海象条件に大きな特徴がある。ただし、我が国の様な豊富なデータが存在するわけではないことが、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。

これまで著者らはベトナム・ニャチャン海岸を対象として、同海岸における侵食現象に関する報告を行っている^{1), 2), 3)}。特に、ビデオモニタリングの結果により、北東モンスーン期とそれ以外の期間での波浪条件の相違による汀線変動の季節変動を明らかにした。しかし、使用データは約1年3ヶ月という比較的短い期間にわたるものであり、季節特性を十分に把握することは困難であった。そこで、本研究においては、前報³⁾に比べて対象領域は狭くなるものの、約三年間にわたるビデオデータから得

られる汀線位置データをもとに、ニャチャン海岸における汀線位置の季節変動特性を明らかにした。

2. ニャチャン海岸の概要と使用データ

ニャチャン海岸はホーチミン市から北東に約300kmに位置する長さ約4.3kmの砂浜海岸である。その概要を図-1に示した。図-1に示した箇所にビデオカメラを設置して、設置点から左に向かって約300mの範囲をカバーし、連続的映像を取得し、海浜変形過程をモニターした。期間は2013年5月から2016年8月までである。なお、前報³⁾においては同地点に設置された2台のカメラから得られた画像により600mの区間を対象としていた。しかし、2台のカメラのうち南側を撮影するビデオが2014年8月に落雷により破壊されたために、600mの全域をカバーできる期

間は約1年3ヶ月に限定され、汀線の季節変動を十分に議論するにはデータが短いものであった。そこで、本研究においては解析範囲が狭いものの、長期間のデータを使用することを優先させた解析を行った。

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。映像の解析手法については前報³⁾と同一であることから、その詳細を割愛する。

3. 結果および考察

図-1 ニャチャン海岸の概要

図-2 ニャチャン海岸における汀線変動

図-3 ニャチャン海岸における汀線変動 ($x=50\text{m}$, 70m , 90m)

図-4 露出した護岸 (2016年12月24日)

図-5 波浪特性 (1990年～2014年の月平均値)

図-6 空間関数 $e_1(x)$ の分布

月に最大値を示した後, 12月にかけて急激な後退を示す. 汀線はおおよそ $y=5\text{m}$ まで下がって, これ以上の後退は生じない. これは, 図-4に示すとおりこの箇所に存在する傾斜護岸のためである. 2014年2月以降, 汀線は再び前進し, 前年と同様な汀線変動を示す. 2015年, 2016年についても同様な汀線変化パターンを示す. 図-2に示す通り, より大きな x の範囲では汀線変動が小さい.

次に, このような周期的な汀線変動パターンと波浪との関係について述べる. 図-5には, 図-1に示したA点での波高 H , 波向き θ (方位角) をSWANにより計算した結果を示している. なお, この計算結果は Böös and

Dahlström⁴⁾により検証がなされている. 冬季の北東モンスーン期には方位角 70 度程度の高波浪が入射する. これは冬季の急激な汀線後退を引き起こす. 一方, 南西モンスーン期の風は本研究対象地点に来襲する波浪の発達に貢献しない. このため, 4月から8月の波浪は波高が低い. しかし, 図-5から明らかなように南からのきつい入射角を有し, これにより汀線の回復をもたらす. 図-1にはこの二つの角度を矢印で図示した. このように, 汀線の急激な後退とその後汀線が徐々に前進するパターンが, 図-5に示す波浪条件と対応することが確認される.

(2) 経験的固有関数 (EOF) による展開

以下では, 汀線位置について経験的固有関数 (Empirical Orthogonal Function, EOF) 解析を行うことで, ニャチャン海岸における汀線変化過程の特徴を抽出することとする. 経験的固有関数解析はある物理量の時空間的分布を空間に関する固有関数 $e_n(x)$ および時間に関する固有関数 $c_n(t)$ の積として表し, これまでも海浜地形の解析に多用されてきた (例えば, Miller・Dean⁵⁾, Miller・Dean⁶⁾, Hoang ら⁷⁾). 本研究では次式のように平均汀線位置 $\bar{y}(x)$ からの変動量 $y(x, t)$ について, 下記のように経験的固有関数解析を行った.

$$y(x, t) = y_s(x, t) - \bar{y}(x) \quad (1)$$

上記で定義された汀線の変動量は経験的固有関数展開により下記のように分解される.

$$y(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} e_n(x) c_n(t) \quad (2)$$

また, 第 n 成分の貢献率 R_n は第 n 成分の固有値 λ_n を用いて次式より計算される.

$$R_n = \frac{\lambda_n}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} \quad (3)$$

図-6, 図-7は, 図-3の汀線変動を経験的固有関数により展開した空間関数 $e_1(x)$, 時間関数 $c_1(t)$ を示している. 第一成分は $R_1=93.8\%$ の貢献を示している. 第二成分の貢献度は $R_2=5.1\%$ であり, 第二成分以降の成分はきわめて微小であった. このため, 明瞭な物理的解釈を見いだすことは出来なかった.

まず, 図-6の空間関数 $e_1(x)$ を見ると, 図-3に見られた x の増加と共に汀線変動の振幅が低減することに対応していることが明瞭であり, 汀線の変動が局在化している. また, 図-7の時間関数 $c_1(t)$ は非モンスーン期の汀線前進, 北東モンスーン期の汀線後退を表しており, 図-5に示した波浪特性の季節変動に対応している. このことから, 経験的固有関数展開により得られた第一成分は沿岸漂砂による成分であると結論付けられる.

図-7 時間関数 $c_1(t)$ の変動

(a) 各年の時間関数とその平均値

(b) フーリエ級数近似の当てはめ

図-8 時間関数 $c_1(t)$ とその平均値

(3) 空間関数・時間関数の近似

図-6 図-7 に示したように、EOF 第一成分の時間関数、空間関数はいずれも比較的単純な振る舞いをしていることが明らかになった。そこで、これらの関数に簡単な回帰式を当てはめ、近似式による汀線変動の再現精度を確認する。

まず、空間関数 $e_1(x)$ は左端のホテル護岸突出部から徐々に減ずる分布を有する。そこで、この変動に対して図-6 に示す直線関数近似式を当てはめた。

$$e_1(x) = -3.26 \times 10^{-4} x + 1.09 \times 10^{-1} \quad (4)$$

一方、時間関数 $c_1(t)$ に対しては、図-7 の様に年ごとの変動がきわめて類似していることから、各年の 1 月から 12 月までの値の変化を、時間軸を統一してプロットした。結果を図-8(a) に示す。年により振幅に若干の差が見られるが、その変動パターンについてはきわめて類似性が高いことが確認される。そこで、この 4 年間（一部は 3 年間）の平均値を計算した。図-8(a) の印がその結果である。さらに、この平均的な変動に対して次式のフーリ

エ級数近似を行った。

$$c_1(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n \{a_i \cos(i\omega t) + b_i \sin(i\omega t)\} \quad (5)$$

ここで、 a_i 、 b_i ：フーリエ係数、 ω ：角振動数（ $=2\pi/365 \text{ day}^{-1}$ ）である。フーリエ解析から得られた式中の係数の値を表-1 にまとめた。また、式(5)による計算結果を図-8(b) に示した。ここで、 $n=3$ 以降のフーリエ係数は微小であることから、 $n=2$ とした。第二周波数成分までを用いた単純な式であるにもかかわらず、丸印で示された平均値の挙動を良好に近似していることが確認される。

表-1 フーリエ級数の係数

係数	値
a_0	0.57
a_1	-109.4
b_1	-91.18
a_2	-38.81
b_2	32.56

図-9 近似式(式(6))を用いた汀線変動の計算結果

以上の空間関数および時間関数に対する近似式を用いることにより、次式により汀線の時空間変動を計算することが出来る。

$$y_s(x, t) = \bar{y}(x) + e_1(x)c_1(t) \quad (6)$$

図-9 にはこの様にして得られた計算値と実測値との比較を示している。上述の通りきわめて単純化された計算式であるにもかかわらず、ニャチャン海岸における大きな特徴である汀線の季節的な周期変動特性、さらには構造物からの距離 x の増加に伴う汀線変動幅の減衰を良好に表現していることが分かる。

なお、ここで示した手法は実測値に当てはめた回帰式を用いたものであり、図-9 に示した実測値との合致は当然のことと言える。ただし、本研究の対象としたベトナムにおいては、図-4 に示したようなモンスーンに起因する季節的な波浪変動を示す箇所が多く、他所においても同様なアプローチが活用できるものと期待される。

4. おわりに

本研究においてはベトナム・ニャチャン海岸を対象として、約3年間にわたるビデオカメラにより得られた汀線変動の解析を行った。それにより、モンスーンに対応した波浪の周期性に応じた汀線の季節的変動が見られた。また、経験的固有関数展開によりこの点をより定量的に評価することが出来た。

謝辞： 本研究は“Study on hydrodynamics and sediment transport regime in estuarine coastal zones of Nha Trang Bay, Khanh Hoa Province”と題したベトナム科学技術省(MOST)の支援のもとに実施された。Institute of Mechanics(ベトナム・ハノイ)より、SWANによる波浪推算結果の提供を受けた。また、本論文の公表に際し、澤本正樹研究発表奨励金の援助を受けた。ここに記して、

関係機関に対して謝意を表する。

参考文献

- 1) 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.I_1681-I_1686, 2015.
- 2) Tran Minh Thanh, 田中 仁, 三戸部佑太, Nguyen Trung Viet, Vo Cong Hoang: 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, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.72, No.2, pp.I_67-I_72, 2016.
- 3) Tran Minh Thanh, 田中 仁, 三戸部佑太, Nguyen Trung Viet: 北東モンスーン波浪の卓越が net 漂砂量に及ぼす影響 - ニャチャン海岸の事例 -, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I_547-I_552, 2016.
- 4) Böös, S. and Dahlström, A.: Coastal evolution at Nha Trang Bay, Vietnam, *VATTEN – Journal of Water Management and Research*, Vol.71, pp.223-230, 2015.
- 5) Miller, J.K. and Dean, R.G.: Shoreline variability via empirical orthogonal function analysis: Part I temporal and spatial characteristics, *Coastal Engineering*, Vol.54, No.2, pp. 111-131, 2007.
- 6) Miller, J.K. and Dean, R.G.: Shoreline variability via empirical orthogonal function analysis: Part II relationship to nearshore conditions, *Coastal Engineering*, Vol.54, No.2, pp. 133-150, 2007.
- 7) Vo Cong Hoang, 三戸部佑太, 田中 仁, Nguyen Trung Viet: 津波来襲後の広域漂砂系の変容, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp. I_521- I_525, 2014.

(2017.2.2 受付)

CHARACTERISTICS OF PERIODICAL SHORELINE CHANGE ON NHA TRANG COAST, VIETNAM

Hitoshi TANAKA, Tran Minh THANH, Le Thanh BINH, Yuta MITOBE and Nguyen Trung VIET

On Nha Trang Coast in South Central Vietnam, the retreat of shoreline has become obvious in recent years. However, investigations discussing the coastal erosion mechanism in this area are insufficient. Therefore, a video camera system was installed in this area and started monitoring the shoreline change continuously from May 2013. Based on the camera's image data of over 3 years until August 2016, this study investigated the characteristics of beach deformation on the Nha Trang Coast. According to the video monitoring, the shoreline retreats in winter when the northeast monsoon waves are prevailing, and the beach is recovered in the summer due to calm waves from east or southeast. Then EOF (Empirical Orthogonal Function) analysis was utilized to decompress the dominant processes of shoreline variation along Nha Trang Coast, and found that the first component, which accounts for 93.8% of contribution rate, corresponds to seasonal shoreline change. Moreover, in order to confirm the periodical characteristics of shoreline change, this study approximated spatial and temporal eigenfunctions by using simple linear regression and Fourier series expansion, respectively. It was also found that the seasonal shoreline variation was observed within 350 m of the northern end of this coast.