七里御浜井田海岸における海浜変化特性*

Morphological Change in Shichiri-Mihama Ida Beach

趙 容 桓**
CHO Yong-hwan

菊 雅 美***
KIKU Masami

中 村 友 昭**
NAKAMURA Tomoaki

水 谷 法 美**
MIZUTANI Norimi

Abstract This manuscript demonstrated the characteristics of morphological change in Shichiri-mihama Ida coast, located in the southern part of Mie prefecture, by means of discriminant analysis based on shoreline change characteristics analyzed by network camera and wave data, and SfM/MVS analysis using UAV. Additionally, the correlation between the run-up height and the morphological change was discussed. As a result, discriminant analysis showed the usefulness of estimating advance, retrogression and stay events of shoreline behind artificial reefs at Ida beach. In the results of SfM/MVS analysis, the effectiveness of artificial reefs installed in Ida beach to reduce erosion behind artificial reefs, while it was confirmed that the function of artificial reefs to decline erosion was decreased by the long period waves with a significant wave period more than 13s. The total volume of Ida coast has increased due to the recently implemented beach nourishment. However, because the large beach nourishment material makes the foreshore slope of the Ida coast steep which is possible to accelerate beach erosion, the necessity of ongoing monitoring was suggested. Finally, the possibility to predict the maximum altitude of morphological change in Ida coast foreshores from the calculation of the run-up height by considering the wave direction of the wave after passing through the artificial reef was confirmed.

Keywords: SfM/MVS, Volumetric change, Rubble beach, Nourishment, Coastal erosion

1. 緒 言

七里御浜は、三重県南部の太平洋に面した総延長約 22 km の日本で最も長い礫浜海岸であり、アカウミガメの産卵地や白砂青松百選にも選出された景勝地として知られている。一方、熊野川流域に建設されたダムや熊野川の土砂採取、鵜殿港の整備等によって七里御浜の海岸侵食が深刻化しており、これまでに様々な海岸保全対策が実施されている。例えば、熊野川の土砂採取を制限した後に河口砂州が復元し、その南側の王子ヶ浜では海浜の回復傾向がみられた [1]。また、Fig. 1 に示す鵜殿港北側に位置する井田地区海岸（以下、井田海岸）では、1990 年代に人工リーフが建設され、台風期における侵食低減効果が確認されている [2]。しかし、井田海岸では、人工リーフや

消波ブロックの増設、大規模な養浜等が実施されているものの、依然として井田海岸の回復には至っていない。そのため、井田海岸に有効な海岸侵食対策を講じるためには、侵食の実態を把握することが重要である。そこで、著者らはこれまでに、井田海岸に設置したネットワークカメラ（Canon VB-C50 iR）を使った汀線変動の特性や、UAV（Unmanned Aerial Vehicle）により撮影した空撮画像に SfM/MVS（Structure from Motion/Multi View Stereo）技術を活用した測量（以下、SfM/MVS 測量）による 3 次元的地形変化の特性について考究してきた [3-5]。

本稿では、井田海岸の礫浜を対象に 2015 年 11 月～2017 年 11 月の 2 年間に実施した観測データに基づいて、波浪特性による汀線変動および海浜

* 2019.4.12 受付

** 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 〒464-8603 名古屋市千種区不老町
TEL: (052)789-4634 FAX: (052)789-4634 E-mail: yhcho@civil.nagoya-u.ac.jp

*** 岐阜工業高等専門学校環境都市工学科

Fig. 1 Shichiri-mihama Ida beach.

変形特性、養浜等の侵食対策の効果、波浪の打上高と海浜変形の相関について考究した渡邊ら [6] と趙ら [7] の検討事例を紹介する。

2. 研究手法

2.1 UAV-SfM/MVS 測量

井田海岸の一部（総延長 450 m）を対象に、小型 UAV を用いて、オーバーラップ率 80~90%、サイドラップ率 60%を目標に空中撮影を9回行った（2015 年 11 月 30 日、12 月 21 日、2016 年 6 月 14 日、8 月 30 日、11 月 26 日、2017 年 5 月 2 日、7 月 6 日、8 月 10 日、11 月 12 日）。UAV として、2016 年 6 月 14 日以前の観測には DJI Phantom 2 Vision +、2016 年 8 月 30 日以降の観測には DJI Phantom 4 を用いた。また、3 次元地形モデルに位置情報を付加するため、約 24 点の GCP（Ground Control Point：地上基準点）を設置し、GNSS 測量を実施した。その後、SfM/MVS ソフトウェア Agisoft 社 PhotoScan Professional Edition（現 Metashape）を用いて、小型 UAV の空中写真と GCP による 3 次元海浜地形モデルを作成した。一連の 3 次元海浜地形モデルの作成のフローを Fig. 2 に示す。

2.2 3 次元海浜地形モデルの精度検証

3 次元海浜地形モデルの精度検証として、2017 年 7 月 6 日、8 月 10 日、11 月 26 日に実施した UAV-SfM/MVS 測量の精度検証結果を例示する。観測した GCP の位置を Fig. 3 に示す。同図に赤丸で示した GCP のうち 19 点を用いて 3 次元モデルを作成し、残りの青丸の点に対して DEM（Digital Elevation Model）から形成された値と GNSS 測量値を比較した。DEM の標高は、T.P.（Tokyo Peil、東京湾平均海面）を基準として作成し、0 m 以下の地形は除外した。Fig. 4 に GNSS

Fig. 2 Workflow for the 3D model using UAV.

Fig. 3 GCP points.

Fig. 4 Comparison of GNSS data and DEM elevation value.

Fig. 5 Measurement lines of cross sectional profile and measurement ranges of volume.

測量と DEM の標高値の比較を示す。鉛直方向について、RMSE（Root Mean Square Error）が 0.043 m（7 月 6 日）、0.014 m（8 月 10 日）、0.028 m（11 月 12 日）であり、図示しないが、水平方向の RMSE も 0.024 m（7 月 6 日）、0.020 m（8 月 10 日）、0.038 m（11 月 12 日）となり、十分な精度が確認された。

2.3 断面形状と体積の計測

DEM から断面形状と体積を計測し、各観測期間の海浜変形特性と養浜の影響を検討した。Fig. 5 に井田海岸のオルソ画像、計測測線および体積計測範囲を示す。同図の実線で囲んだエリア S1~S10、N1~N10 は、沿岸方向に 20 m 幅で区切った 20 の体積計測範囲を、破線 s1~s10、n1~n10 は、各体積計測範囲の中心を通る 20 の断

Fig. 6 NOWPHAS observation data ($H_{1/3}$, $T_{1/3}$, wave directions) at offshore of Owase.

Fig. 7 Time series of energy flux at offshore of Owase.

面形状の測線である。S1～S6 は消波ブロックが存在する区間であり、N1～N10 は養浜が行われた区間である。

2.4 汀線変動と波浪特性の判別分析

ネットワークカメラによって連続観測した汀線変動の特性を波浪データと関係づけて解析する判別分析を実施した。判別分析では、集めた標本データがどの母集団に属するかをあらかじめ区分けしておく必要があるため、Mahalanobis Distance を適用する手法 [8] を用いて判別分析を行った。波浪特性から汀線変動特性を推測する判別関数に関しては、現状の汀線位置によって汀線変動の応答特性が変わることが指摘されているため [9]、判別分析の説明変量として、現状の井田海岸の汀線位置に加えて、有義波高と有義波周期を考慮した沖波エネルギーフラックスを採用した。

井田海岸前面海域の波浪特性は、Fig. 1 に示す尾鷲沖の水深約 210 m の地点に設置された全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS) の観測データと傾向が概ね一致することが確認されているた

め [10]、井田海岸の波浪データとして Fig. 6 に示す尾鷲沖の NOWPHAS の観測データを用いた。NOWPHAS 波浪データに基づき、式(1)を用いて 1 時間毎の沖波エネルギーフラックスを算出した。

$$E_f = \frac{1}{16} \rho g (H_{1/3})^2 C_g \quad (1)$$

ここで、 E_f は沖波エネルギーフラックス、 ρ は海水密度、 g は重力加速度、 $H_{1/3}$ は有義波高、 C_g は群速度であり、 C_g は式(2)より算出した。

$$C_g = \frac{L}{2T_{1/3}} \left(1 + \frac{4\pi h / L}{\sinh 4\pi h / L} \right) \quad (2)$$

ここで、 L は波長、 $T_{1/3}$ は有義波周期、 h は水深である。式(1)、(2)から得られた 1 時間毎の沖波エネルギーフラックスと SfM/MVS 測量の実施日を Fig. 7 に示す。

前述のように、著者らは井田海岸に設置したネ

ネットワークカメラを用いて汀線変動を観測しており、2015年4月～2016年12月の1時間毎の汀線位置をネットワークカメラから撮影された画像より抽出した。さらに、潮位変動の影響を除去するため、日平均して1日毎の汀線位置とし、その結果から汀線変動量を算出した。この際、1時間毎の沖波エネルギーフラックスも日平均して1日毎の沖波エネルギーフラックスとした。汀線変化のイベントは、後退時の変化量を正としたとき、汀線の変化速度の上位10% (1.18 m/day 以上) を汀線の後退イベント、汀線の変化速度の下位10% (-1.09 m/day 以下) を前進イベントとした。また、ネットワークカメラから解析した画像の1px が約0.4 m であることから、-0.4～0.4 m/day の変化速度が3日以上継続した場合は停滞イベントと定義した。これ以外の期間については、各イベントの遷移期間として判別分析から除外した。

2.5 波の打上高

井田海岸における波の打上高を2.4節と同様にNOWPHASの波浪データを用いて算出した。打上高算定式は、代表打上高を surf similarity parameter ($\tan \beta \sqrt{H_0/L_0}$ 、 $\tan \beta$: 海底勾配、 H_0/L_0 : 波形勾配) との関係より算定する玉田ら [11] が提案した式(3)を採用した。

$$\frac{R_{2\%}}{H_0} = 2.99 - 2.73e^{-0.57 \times \tan \beta / \sqrt{H_0/L_0}} \quad (3)$$

ここで、 $R_{2\%}$ は不規則波の上位2%の波数に対応する2%超過打上高である。この打上高算定式の適用範囲は、

$$\begin{cases} 0 < \tan \beta / \sqrt{H_0/L_0} < 6.0 \\ 0.009 < H_0/L_0 < 0.06 \\ -0.37 < h_0/L_0 < 0.53 \end{cases} \quad (4)$$

である。ここで、 h_0 は斜面の法先水深であり、沖波波長 L_0 は尾鷲沖の潮位を考慮した水深と有義波周期より算出した。 H_0 は、井田海岸沖側に潜堤が設置されているため、Ahrens [12] が提案した式(5)を用いて、尾鷲沖の有義波高 H_s より潜堤通過後の有義波高 H_t を算出して用いた。

$$\frac{H_t}{H_s} = \frac{1.0}{1.0 + \left(\frac{h_c}{d_s}\right)^{c_1} \left(\frac{A_t}{d_s L_0}\right)^{c_2} e^{\left[c_3 \left(\frac{F}{H_s}\right) + c_4 \left(\frac{A_t^{3/2}}{d_{50}^2 L_0}\right)\right]}} \quad (5)$$

ここで、 $c_1 = 1.188$ 、 $c_2 = 0.261$ 、 $c_3 = 0.529$ 、 $c_4 = 0.00551$ であり、 h_c と A_t は潜堤の天端高と断面積、 d_s は潜堤位置での水深、 F は天端水深 ($= h_c - d_s$)、 d_{50} は捨石の中央粒径である。また、波向きによる $\tan \beta$ の変化と潮位を考慮するため、式(3)を式(6)のように修正して T.P. での打上高 $R_{2\%}$ を算出した。

$$R_{2\%} = \left(2.99 - 2.73e^{-0.57 \times C / \sqrt{H_t/L_0}}\right) \times H_t + h_t \quad (6)$$

ここで、 h_t は潮位であり、 C は

$$C = \frac{|\sin(\theta - 20) \times \sin \beta|}{\sqrt{1 - \sin^2(\theta - 20) \times \sin^2 \beta}} \quad (7)$$

により与えられる。ここで、 θ は N 方向を 0° とし、時計回りを正とする波向きである。七里御浜海岸は N 方向から時計回りに約 20° 回転しているため、式(7)では $\theta - 20^\circ$ とした。

3. 井田海岸の地形変化特性

3.1 判別分析による汀線変動特性

人工リーフの背後地であるエリア N9-10 のある側線での汀線変化を、前進、停滞、後退イベントに分類した判別分析結果を Fig. 8 に示す。横軸は変動前の汀線位置 S_p 、縦軸は尾鷲沖の沖波エネルギーフラックス E_f である。また、判別分析から算出した後退と停滞、前進と停滞、前進と後退イベントの判別関数は、それぞれ

$$Z = 0.25S_p - 5.0 \times 10^{-6} E_f + 5.80 \quad (8)$$

$$Z = 0.76S_p - 0.3 \times 10^{-6} E_f + 1.87 \quad (9)$$

$$Z = -1.02S_p + 5.2 \times 10^{-6} E_f - 7.67 \quad (10)$$

となり、判別得点 $Z < 0$ のとき、それぞれ後退 (Retrogress)、停滞 (Stay)、前進 (Advance) イベントと判別されることから、同図には後退と停

Table 1 Results of discriminant analysis.

Discriminant Analysis	Stay	Retrogress	Advance	Total
Image analysis				
Stay [%]	119 [87.5]	2 [1.5]	15 [11.0]	136 [100.0]
Retrogress [%]	9 [16.1]	39 [69.6]	8 [14.3]	56 [100.0]
Advance [%]	16 [27.1]	0 [0.0]	43 [72.9]	59 [100.0]

滞、前進と停滞、前進と後退イベントの境界線を実線で示した。

同図より、汀線の変動は判別関数によってイベントごとに概ね分類できており、 S_p が正のとき、すなわち汀線が岸側に位置しているときは汀線の前進イベントが支配的であるものの、沖側に位置しているときは $E_f \approx 1.0 \times 10^6$ kN/day を基点に停滞イベントと後退イベントに変わる特徴がある。Fig. 9 に、 $E_f = 1.01 \times 10^6$ kN/day のときの有義波高 $H_{1/3}$ と有義波周期 $T_{1/3}$ の関係を示す。同図より、有義波高が小さくても有義波周期が長いことで、有義波高が大きいときと同じ大きさの E_f となるため、汀線の後退イベントが生じる可能性が示唆される。この結果から、波浪条件により汀線変動特性を評価する際は、有義波高だけでなく、有義波周期の考慮も重要であるといえる。

汀線の変動イベントごとの判別結果を Table 1 に示す。ここで、行は画像解析による判別結果、列は判別分析の結果である。また、括弧内の値は判別の中率あるいは判別確率である。例えば、画像解析によって停滞イベントと分類された 136 ケースの中で、判別関数によって正しく停滞と分類されたケース数が 119 (判別の中率 87.5 %)、誤判別されたケース数が後退 2 (判別確率 1.5 %)、前進 15 (同 11.0 %) であることを意味する。同表より、停滞イベントの判別の中率は 87.5 % と高いことがわかる。また、後退イベントや前進イベントの判別の中率は 70 % 程度であり、必要とされている判別の中率 80 % より若干低いものの概ね各イベントを判別できていると考えられる。以上より、人工リーフの背後地での汀線の前進、停滞、後退イベントを判別分析によって分類できる可能性が示唆された。

3.2 井田海岸の地形変化傾向

UAV を用いた SfM/MVS 測量の結果から作成した井田海岸の DEM を Fig. 10 に、各観測間の DEM の差分を Fig. 11 に示す。ここで、Fig. 11 のコンターの赤色 (負) は、前回の地形より侵食された

Fig. 8 Relationship between the position of shoreline and E_f .

Fig. 9 Relationship between $H_{1/3}$ and $T_{1/3}$ at $E_f = 1.0 \times 10^6$ kN/day.

ことを、青色 (正) は前回の地形より堆積したことを意味する。また、両図内の矢印の範囲は、井田海岸前面海域の 150 m 付近にある人工リーフの設置位置を意味する。ただし、期間内に人工リーフが増設されたため、その範囲については赤色の矢印で示した。

2015 年 11 月 30 日～2015 年 12 月 21 日では、高沖波エネルギーフラックス (Fig. 7) が観測されたことに応じて、同期間の地形変化を示した Fig. 11(a) より、前浜全体が侵食された様子が確認できる。特に、人工リーフの北側の開口部と人工リーフの北側の未設置区間では、高波浪の影響を直接に受けたことで、大規模な侵食が生じている。一方、人工リーフ背後地では、前浜が若干侵食されるとともに、その岸側にはバーム (堆積) が形成されていることがわかる。この結果より、人工

Fig. 10 DEM of Ida beach for each observation.

リーフの波浪エネルギー減衰効果によって、前浜の侵食が抑制されるとともに、侵食された一部の砂礫が波の打ち上げによって岸側に堆積し、バームが形成されたと判断される。

2015年12月21日～2016年6月14日の地形変化を示した Fig. 11(b)より、人工リーフの北側の未設置区間では、汀線付近に侵食が生じていることがわかる。これは、穏やかな波浪が観測前の1ヶ月間続いたものの、人工リーフの未設置区間であったために侵食が進んだと考えられる。一方、人工リーフの背後地では堆積が生じており、Fig. 10(a)と Fig. 10(b)の比較より、人工リーフの背後地で汀線（標高 = 0）が前進した傾向も確認できる。

2016年6月14日～2016年8月30日の地形変化を示した Fig. 11(c)では、観測前の数日間にわたって沖波エネルギーフラックスが比較的大きい状態となっており、観測範囲全体に激しい侵食が生じたことが確認できる。また、Fig. 10(b)と Fig. 10(c)の比較より、前浜に形成されたバームが消失したことも確認できる。この観測期間中の沖波エネルギーフラックスは、Fig. 11(a)の期間（ $H_{1/3} \approx 7$ m, $T_{1/3} \approx 10$ s ; Fig. 6 参照）と比べて小さいものの、 $T_{1/3}$ が 12 s を上回る比較的周期が長い波浪（ $H_{1/3} \approx 3$ m）が発生し続けたことで、人工

Fig. 11 Volume change between each observation.

リーフの機能が十分発揮できなかったために、上述したような激しい侵食とバームの消失が生じたと考えられる。一方、侵食の岸側に堆積が生じていることも確認できる。これは、周期が長い波浪の打ち上げによって侵食された砂礫の一部が堆積したことで生じたと推測される。

2016年8月30日～2016年11月26日の期間では、Fig. 10(d)より汀線の後退がみられるものの、Fig. 11(d)より全体的に堆積が生じた様子が確認できる。この原因として、Fig. 10(d)に示すように、北側の人工リーフの背後に追加の養浜が実施されたことや期間中に侵食を生じさせる波があまり発生しなかったことが考えられる。

3.3 養浜による井田海岸の海浜変形特性

2015年11月30日～2017年11月12日の2年間の全観測期間における総体積変化量を Fig. 12に示す。同図の紫点線は、全標高に対する体積変化量を表す。2016年8月30日～2017年5月2日の期間中に Fig. 5に示す N1～N10にかけて養浜が実施され、2年間の総体積変化量（紫色点線）が全体的に増加している。しかし、期間別の総体積変化量を示した Fig. 12(a)より、台風時の高波浪を含む有義波高 5 m 以上の波浪が来襲した期間（赤・黒・空色実線）では、人工リーフ開口部

Fig. 12 Total volume change during the observation period (Nov. 30th, 2015 ~ Nov. 12th, 2015).

背後地付近である S2~S4 と N4~N7 の区間で多くの侵食が生じたことから、高波浪に対して人工リーフ開口部背後地は侵食に脆弱であることが示唆される。また、同図の黄色とピンク色の実線のように、有義波周期 13 s 以上の長周期波が来襲すると井田海岸の海浜に全体的に侵食が発生し、特に人工リーフ背後地でより多くの侵食が生じる特徴がある。この原因として、各長周期波の来襲時に多くの侵食が観測された S4、S8、N4、N10 の前浜が他エリアより沖側に出ており、より侵食しやすい条件だったことが考えられる。

標高別の総体積変化量を示す Fig. 12(b)を見ると、養浜に関わらず、北側の人工リーフ開口部背後地である N7 付近では、標高 0~2 m 帯（赤・青色）で減少しており、同様の傾向が標高 3~4 m 帯（黄色）でも確認される。以上より、上述したように、高波浪に対して脆弱な人工リーフ開口部背後地の場合、侵食量が堆積量よりも大きいと判断される。一方、南側の人工リーフ開口部背後地の場合、Fig. 13(a)に示す測線 s2 の断面形状のように、黒線で囲んだ標高 2~4 m に位置した Fig. 13(b)に示す消波ブロックによって高波浪による体積変化が抑制され、総体積量が増加する傾

(a) The cross-sectional profile of s2

(b) Wave dissipating block near s2

Fig. 13 Characteristics of profile change at s2.

向があり、消波ブロックによって高波浪による侵食を制御できることが示唆された。

また、観測期間中に、養浜が実施されなかった南側で総体積変化量が増加した原因としては、観測範囲より南側の鵜殿港付近でも近年養浜が実施されていたことや、七里御浜では北向きの沿岸流が卓越していることから、井田海岸南側に土砂が供給され、南側の体積量が徐々に増加していたことが考えられる。

3.4 養浜による前浜の勾配特性

井田海岸では、海浜保存のため、安定性の高い既存の粒径より大きい材料で養浜しており、井田海岸の前浜を形成する礫の中央粒径が 10~20 mm [13] から 40~70 mm [14] まで増加している。ここで、前浜の粗粒化によって急勾配となる懸念があるため、観測期間中に養浜されなかった領域の測線 s6 と養浜された領域の測線 n6 の断面形状を示す Fig. 14 より、養浜による前浜の勾配変化特性を検討した。同図の実線と破線は、本観測における最初と最後の観測結果である。Fig. 14(a)より、前浜勾配の変化は見られないものの、Fig. 14(b)では、より急勾配になったことがわかる。なお、Fig. 14(c)に示す養浜された北側の期間別前浜勾配特性を見ると、長周期波によって広い領域に侵食が生じた時（緑色）は、前浜の勾配が穏やかになるものの、その後、海浜変動が安定し追加の養浜工事が実施された紫・ピンク色の時期では、前浜に堆積が発生するとともに、前浜勾配

Fig. 14 Gradient characteristics of foreshore due to nourishment.

が急勾配になる傾向がある。これは、高波浪時に比較的軽い既存の小さい礫が移動しやすいことや追加で養浜された大きい礫が前浜に堆積したことで粗粒化したことに起因したと考えられる。しかし、七里御浜の生態系に与える影響を考えると、宇多ら [15] が指摘したように、粗粒化による沖合の海底地盤低下の影響に注意する必要がある、養浜後の持続的モニタリングによって前浜勾配の急勾配化に対する対策を講じる必要性が求められる。

3.5 波の打上高と海浜変形特性

各現地観測間の前浜で海浜変化が発生した最大標高と式(6)から算出した最大 $R_{2\%}$ の関係を Fig. 15 に示す。同図より、 $R_{2\%}$ が海浜変化の発生した最大標高より多少過小評価されているものの、概ね一致していることが分かる。そのため、尾鷲沖の波浪情報を用いて波向きを考慮した打上高算定式より前浜の海浜変化最大標高を予測できる可能性が示唆される。

4. まとめ

本稿では、様々な侵食対策が実施されている七里御浜井田海岸を対象に、ネットワークカメラで連続観測した汀線変動の特性を波浪データと関係づけた判別分析の適用性、UAV を活用した SfM/MVS 測定の結果に基づいた 3 次元地形変化

Fig. 15 Relationship between $R_{2\%}$ and maximum elevation at which beach deformation occurred.

特性、養浜等の侵食対策工の効果について検討した渡邊ら [6] と趙ら [7] の取り組みを概説した。その結果、判別分析の結果より、人工リーフの背後地における汀線の前進、停滞、後退イベントを判別分析によって分類できる可能性を示すとともに、沖波エネルギーフラックスと関係づけて検討することの有効性が示された。SfM/MVS 測定の結果では、沖波エネルギーフラックスが大きいとき、比較的長い周期性波 ($T_s > 13$ s) が来襲すると広い領域で多くの侵食が生じるとともに、前浜勾配を緩やかにする傾向があった。非常に大きい養浜材料によって粗粒化した井田海岸の前浜が急勾配となり、持続的モニタリングによって対策を講じる必要性が示唆された。また、2 年間の総体積変化量より、養浜の有無に関係なく前浜が前進するとともに総体積量が増加し、南側の総体積量の増加には既に養浜された鶴殿港付近から沿岸流によって土砂が供給された可能性が示唆された。さらに、人工リーフ通過後の波向きを考慮した打上高算定式から井田海岸前浜に発生する海浜変形の最大標高を予測できる可能性が示され、高波浪に脆弱な北側の人工リーフ背後地の侵食対策を講じる際に消波ブロックが有用であることが示唆された。

本研究では、侵食が激しい七里御浜南部に位置する井田海岸を対象に調査を行っているが、七里御浜の北部では堆積が卓越しており、井田海岸の養浜工事が七里御浜海岸全体に与える影響や全領域の海浜変形特性の検討は今後の課題である。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金若手研究(A) (課題番号: 26709035) の助成を受けたものである。また、現地調査および測量においては、名古屋大学の元大学院生の渡邊博之氏、小林泰輔氏に協力を得たことを付記し、感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Yamamoto, K., Sato, S., Noguchi, K. and Miyano, M., Beach Morphological Change and Gravel Layer Thickness of the Coast Supplied with Sediment from Kumano River, Proc. of Coastal Engineering, JSCE, Vol. 46, 666-670 (1999).
- [2] Wada, K. and Mizutani, N., Seasonal Beach Process around Artificial Reef at Ida Beach in Shichiri-Mihama Coast, Proc. of Civil Engineering in the Ocean, Vol. 18, 479-484 (2002).
- [3] Vu, H. and Mizutani, N., Study on Mechanism of Shoreline Change in Shichiri-Mihama Ida Beach Using Web Camera Images, Journal of JSCE, Ser. B2 (Coastal Engineering), Vol. 69(2), I_586- I_590 (2013).
- [4] Vu, H., Kiku, M. and Mizutani, N., Study on Shoreline and Beach Profile Changes in Gravel Beach Based on Field Observation, Journal of JSCE, Ser. B3 (Ocean Engineering), Vol. 71(2), I_299- I_304 (2015).
- [5] Watanabe, H., Kobayashi, T., Kiku, M., Nakamura, T. and Mizutani, N., Study on Beach Topographic Change Using UAV and Network Camera at Shichiri-Mihama Ida Beach, Journal of JSCE, Ser. B3 (Ocean Engineering), Vol. 72(2), I_790- I_795 (2016).
- [6] Watanabe, H., Cho, Y., Kiku, M., Nakamura, T. and Mizutani, N., Study on Characteristics of Topographic Change at Shichiri-Mihama Ida Coast Using Image Analysis, Journal of JSCE, Ser. B2 (Coastal Engineering), JSCE, Vol. 73(2), I_673-I_678 (2017).
- [7] Cho, Y., Kobayashi, T., Kiku, M., Nakamura, T. and Mizutani, N., Beach Morphological Characteristics at Shichiri-Mihama Ida Coast Focusing on Volumetric Change, Journal of JSCE, Ser. B3 (Ocean Engineering), Vol. 74(2), I_647-I_652 (2018).
- [8] Mahalanobis, P. C., On the Generalized Distance in Statistics, In Proc. National Institute of Science, India, Vol. 2(1), 49-55 (1936).
- [9] Suzuki, T., A Study on Shoreline Change Rate due to Wave and Foreshore Shape, Journal of JSCE, Ser. B3 (Ocean Engineering), Vol. 67(2), I_1093- I_1098 (2011).
- [10] Kim, S., Nakamura, T., Cho, Y. and Mizutani, N., Wave Hindcast Simulation at Ida Beach, JSCE Chubu Branch Annual Meeting 2016, JSCE Chubu Branch, II-37, 153-154 (2017).
- [11] Tamada, T., Mase, H. and Yasuda, T., Random Wave Runup Formulae for Seawall with Composite Cross Section, Journal of JSCE, Ser. B2 (Coastal Engineering), Vol. 65(1), 936-940 (2009).
- [12] Ahrens, J. P., Characteristics of Reef Breakwaters, CERC, Vicksburg, Technical Report CERC-87-17 (1987).
- [13] Uda, T., Goto, Y. and Yamamoto, K., Study on Morphological Change of Shichiri-Mihama Coast in Mie Prefecture, Proc. of Coastal Engineering, JSCE, Vol. 39, 351-355 (1992).
- [14] Yajima, K., Kiku, M., Nakamura, T. and Mizutani, N., The Change of Median Grain Size in Rubble Beach Using Aerial Image by UAV, JSCE Chubu Branch Annual Meeting 2018, JSCE Chubu Branch, II-62, 187-188 (2018).
- [15] Uda, T., Mizugaki, H., Uno, K., Ooki, Y. and Sakai, K., Longshore Sorting of Grain Size of Foreshore Material along Northern Kujukuri Beach, Journal of JSCE, Ser. B3 (Ocean Engineering), Vol. 70(2), I_726-I_731 (2014).