茨城県阿字ヶ浦海岸の海浜変形の実態

宇多 高明¹・野志 保仁²・熊田 貴之³・酒井 和也⁴
・本橋 修二⁵・菊池 泉弥⁶

¹正会員 (一般財団) 土木研究センター常務理事なぎさ総合研究室
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)
E-mail:uda@pwrc.or.jp

²正会員 (有) アイコムネット 環境コンサルティング部
(〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-16-11エルヴァージュ神田錦町4F)
E-mail:noshi@icomnet.jp

³正会員 (一般財団) 土木研究センターなぎさ総合研究室
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)
E-mail:kumada@pwrc.or.jp

⁴正会員 (一般財団) 土木研究センターなぎさ総合研究室 (同上)
E-mail:sakai@pwrc.or.jp

⁵茨城県土木部河川課 (〒310-8555 水戸市笠原町978-6)
E-mail:sh.motohashi@pref.ibaraki.lg.jp
⁶茨城県常陸大宮土木事務所河川整備課 (〒319-2255 茨城県常陸大宮市野中町3083-2)
E-mail: iz.kikuchi@pref.ibaraki.lg.jp

常陸那珂港の沖防波堤建設に伴う阿字ヶ浦海岸の変形実態を調べた。まず、2010年11月5日には無人飛行機による空中写真撮影を行い、これと既往の空中写真をあわせて1984年から2010年まで7時期の空中写真を比較し、海岸の変遷を調べた。また、空中写真から汀線位置を読み取り、1984年を基準とした汀線変化量を算出した。さらに1996、1999、2002年に行われた深淺測量のデータを用いて地形変化解析を行い、阿字ヶ浦海岸では沖防波堤による波の遮蔽域形成に伴って北向きの沿岸漂砂が誘起され、これによって地形変化が起きたことを明らかにした。

Key Words : Ajigaura Beach, wave sheltering effect, offshore breakwater, beach changes

1. はじめに

過去、阿字ヶ浦海岸は茨城県内で有数の海水浴場として知られていたが、沖合約2.4 kmに常陸那珂港の沖防波堤が伸ばされ、それによる波の遮蔽域に入ったため、著しい海浜変形が起き、過去の長い弓形の海岸線は失われた。これとともに阿字ヶ浦海岸の海水浴場もその機能を失った¹⁾。さらに、阿字ヶ浦海岸の南端部、磯崎漁港の近傍では浜幅が大きく狭まり、高波浪時に越波が起きたため、天端高T.P.4.3 mの護岸に沿って2段のトンバックが並べられた。しかしこの手法は耐久性が十分ではないことから、高潮に対する恒久対策が必要とされている。計画立案においては、まず阿字ヶ浦海岸の過去の変遷を明らかにすることが必要とされる。そこでまず2010年11月5日午前9時には無人飛行機 (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) ²⁾を用いて汀線の空中写真撮影を行った。これに

過去の空中写真を加え、1984年から2010年までの7時期の空中写真を基に阿字ヶ浦海岸の変遷を調べた。次に、空中写真から汀線位置を読み取るとともに、1984年を基準とした汀線変化量を算出した。その際、撮影時刻の潮位 (小名浜と銚子漁港の中間値) と、2011年1月23日の現地踏査時の実測前浜勾配1/12を用いて潮位補正を行った。さらに1996、1999、2002年に行われた深淺測量のデータを用いて地形変化解析を行った。以上のデータを基に阿字ヶ浦の海浜変形機構について分析した。

2. 阿字ヶ浦海岸と常陸那珂港沖防波堤との関係

阿字ヶ浦海岸の海浜変形には常陸那珂港の沖防波堤の建設が密接に関係しているが、沖防波堤は南向きに徐々に伸ばされてきているため、沖防波堤による波の遮蔽域

図-1 常陸那珂港の沖防波堤と阿字ヶ浦海岸の関係

もまた経年的に南側へと広がってきた。そこでまず図-1には沖防波堤までを含む広域の空中写真（2010年撮影）を示す。沖防波堤は阿字ヶ浦海岸の沖合約2.4 kmに海岸線と平行に延ばされてきている。1999年にはその位置は作業基地沖に留まっていたが、2010年には250 mの開口部を残して阿字ヶ浦海岸沖の約1/2を囲むほどに延ばされた。また、図に示す矩形区域は次節で空中写真の詳細判読を行った区域である。

3. 空中写真（広域）の判読

図-2は、常陸那珂港の建設が本格化する前の1984年から、1987, 1990, 1996, 1999, 2009, 2010年までの空中写真を示す。これらのうち、2010年撮影の写真については、海岸線付近はUAVによる画像を、一方、沖合は2009年撮影の空中写真であり両者を重ねている。以下、図-2の特徴を把握する。

1984年では対象区域では緩く湾曲した海岸線が伸びたのみで、南端の磯崎漁港の防波堤の西側直近で波の遮蔽効果のため海岸線の曲率が大きく増していた。また対象地区の北半分は当時射爆場として立ち入りが禁止されていたため自然海浜が広がっており、当地で卓越する北東風の作用により南西方向へ向いた砂丘の発達が良好であった。とくに矢印Aで示す阿字ヶ浦砂丘は、その先端が海岸線から400 mの地点まで発達していた。阿字ヶ浦海水浴場はほぼ砂丘Aの南側地区にあり、当時沖合に何らの構造物もなく太平洋からの波浪が入射するためサーフィンにも多く利用される海岸であった。

1987年でも海岸線には大きな施設は造られていなかったが、磯崎漁港の東防波堤の先端部が1984年と比べて50 m伸ばされた。この結果、防波堤による波の遮蔽効果が向上したため「く」の字形の西防波堤の付け根の汀線が約20 m前進したのみでなく、阿字ヶ浦海岸南端部全体で前浜が広がりを示した。また阿字ヶ浦砂丘はその後も発

達を続け、とくに砂丘の南面での堆積量が増大した。

1990年には既に対象区域の北端に作業基地の防波堤が延ばされた。作業基地の防波堤は南北に700 mの間隔を開けて建設され、防波堤先端までの長さはそれぞれ450 m（北防波堤）と550 m（南防波堤）であった。防波堤に挟まれた区域はポケットビーチ化し、湾曲した汀線が形成された。同時に作業基地の南防波堤の付け根ではその遮蔽効果によって汀線が前進した。このように1990年には対象区域はすでに北部海浜と切り離され、ポケットビーチ化が進んだ。

1996年には作業基地が完成し、南防波堤は沖向に長さ850 mまで伸ばされた。また海岸線に沿って道路も建設された。南端の磯崎漁港では、東防波堤が1990年と比べて70 m北向きに伸ばされると同時に、従来からあった「く」の字形の西防波堤から100 m離れた位置に長さ200 mの防砂突堤が建設された。その際、東防波堤により波の遮蔽効果が高まって汀線が大きく前進した後に防砂突堤が延ばされたため、防砂突堤と「く」の字型西防波堤の間に砂が閉じ込められた。さらに、延長された東防波堤の遮蔽効果が著しいため、防砂突堤の西側にも大量の砂が堆積した。1996年には既に作業基地の防波堤付け根付近での堆積が起きていたことから、阿字ヶ浦海岸では中央部から両端部への沿岸漂砂が起り、その分中央部では侵食が進むことになった。

1999年では1996年と比べて作業基地の南側での堆砂が著しくなり、1996年と比べて47 mもの汀線前進が起きた。一方、磯崎漁港でも防砂突堤が1996年時点より25 m伸ばされていたが、漁港周辺の汀線はむしろ後退している。これは作業基地の防波堤背後へと北向きの沿岸漂砂により流出したためと考えられる。図に示す点Bに示す付近が越波対策が必要となった場所である。1999年の空中写真で見てもこの付近の浜幅は約20 mと非常に狭かったことが分かる。また、2002年当時の侵食状況については宇多ら²⁾に詳しい。このように侵食されたことから、阿字ヶ浦海岸では侵食対策が行われることになった。

2009年になると侵食対策とともに $4.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ の土砂による養浜が行われた。北部には3基の突堤が、また南部では2基の離岸堤が造られ、太平洋に開いた阿字ヶ浦海岸の姿は失われ、構造物で囲まれたポケットビーチに変わった。 $4.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ の養浜が行われたため、1999年と比べて浜幅は大きく広がっている。その後2010年には離岸堤背後の舌状砂州の規模が縮小し、とくに南側の離岸堤背後での舌状砂州の縮小が顕著であり、防砂突堤を境に汀線に段差が付いた。

4. 汀線変化

(a) 1984年 10月 2日

(b) 1987年 10月 20日

(c) 1990年 10月 14日

(d) 1996年 10月 3日

図-2 に示す座標系 (沿岸方向に X 軸, それと直角方向に Y 軸) を定め, X 軸から汀線までの距離を読み取った. なお, 磯崎漁港周辺では海岸線の方向が大きく変わっており, (X, Y) 座標では汀線の測定精度が大きく低下するため, 磯崎漁港周辺では漁港周辺の汀線に沿って沿岸座標を定めるとともに, それと直交する方向に沖向き距離を取ることで座標系を定め, この座標系で汀線形状を読み取り, その変化量を算出した.

図-3は1984年を基準とした1996年までと, 2010年までの汀線変化を示す. 1996年までは (図-3(a)), 作業基地の防波堤は造られていたが, 沖防波堤は建設されていなかった. 作業基地内では防波堤による波の遮蔽効果によ

(e) 1999年 11月 18日

(f) 2009年 5月 12日

(g) 2010年 11月 5日

図-2 空中写真に見る阿字ヶ浦の変遷 (1984~2010年)

り著しい汀線変化が生じているが, 作業基地内は人為的改変が著しいので以後の解析範囲から除き, 作業基地の南端に伸びた防波堤より南側地区の汀線変化について調べると, 作業基地の南側隣接部と磯崎漁港の北側隣接部での汀線前進と, 阿字ヶ浦海岸の中央やや北側での汀線後退が顕著に現れていた. 作業基地の南側隣接域での汀線は, 1990年までに最大82 m前進したが, その後1996年までの変化は少なかった. 同様に, 磯崎漁港の北側隣接部の汀線前進量は1996年までに116 mに達した. このような南北両側での汀線前進と対照的に, 阿字ヶ浦海岸中央部のX=1.07~2.38 kmでは汀線後退が著しかった. 一連の汀線変化は, 閉じた漂砂の系において, 北端と南端に防波堤が伸ばされた結果, その隣接部の遮蔽域では砂が堆積し, 中央部では砂が運び去られて汀線が後退するという変化であった.

沖防波堤建設後の1999, 2009, 2010年まで3時期の汀線変化を示すのが図-3(b)である. 沖防波堤は図-1に示したように, 1999年以降伸ばされ, その影響が顕著に現れることになった. 阿字ヶ浦海岸は, 従来は東に開いていた

(a) 1987 - 1996 年

(b) 1999 - 2010 年

図-3 阿字ヶ浦海岸の汀線変化

ため、東側からの波浪が入射し、それに合わせた汀線形状となっていたが、沖防波堤が伸ばされた結果、南東方向からのみ波が入射する条件となった。この条件では阿字ヶ浦海岸において北向きの沿岸漂砂が卓越することになる。1999年と比べると2009年以降汀線前進量が大きい、これは対象区域で養浜が行われたことによる。北側から伸ばされた沖防波堤により入射波が遮蔽されたため、対象地区内の汀線は時計回りのrotationが起ることになった。図-3(a)に示した1996年までの汀線変化と比較すると、1999年では作業基地の南側隣接部での汀線前進量が大きく増加し、最大汀線前進量が83 m (1996年) から130 m (1999年) となった。これと対照的に、南端の磯崎漁港の北側隣接部では汀線の後退が見られる。その後、対象区域内に突堤①②③と、離岸堤①②が2008年に建設され、1999年まで長く連続的に続いていた汀線は突堤群によって分断された。また2009年までに総量 $4.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ の土砂が投入されたため1999年の汀線と比較して全体的に汀線は前進しているが、突堤①の北側隣接部では1999年当時の汀線より後退している。また南部では離岸堤の背後にそれぞれ舌状砂州が形成されたが、2010年までに砂が北向きに運ばれた結果、離岸堤①の背後の舌状砂州の汀線が後退している。この付近から侵食された砂は突堤①の南側に堆積してはいるが、堆積面積は侵食面積と比べて小さい。さらに、磯崎漁港の防砂突堤と離岸堤①の間では2010年までに汀線後退が続き、とくに $X=2.94 \sim 3.07 \text{ km}$ では養浜が行われたにもかかわらず1984年当時の

(a) 1996 年

(b) 1999 年

(c) 2002 年

図-4 阿字ヶ浦海岸の深浅図

汀線より後退することになった。

5. 深浅データの分析

阿字ヶ浦海岸では1990, 1996, 1999, 2002年に深浅測量が行われた。しかしながら1990年の深浅図と1996年以降の深浅図を比較すると、1990年の測量データでは、沖合の-15 m付近の露岩域周辺の測量精度が低く解析に使用できないことが分かった。そこでこのデータを除き、1996年以降の3時期の深浅測量データの比較を行った。空中写真に示したように、1996年は作業基地の南防波堤が大きく伸ばされて阿字ヶ浦海岸がポケットビーチ化された時期に、1999年は防波堤形状には大きな変化がないが、作業基地南防波堤の南側隣接部に大量の砂が堆積した時期に相当する。また2002年は阿字ヶ浦海岸が著しく侵食され、侵食対策が採られ始める直前の時期に相当する。

図-4(a)には1996年の深浅図を示す。当時、磯崎漁港から作業基地防波堤までほぼ-8 m以浅の等深線は平行に延びていた。一方、作業基地内では航路掘削が行われ防波堤に沿う深みが形成されつつあった。なお、海岸沖の-10~-15 mには幅が300 m程度の岩礁が帯状に広がっている。図-4(b)は図-4(a)と同じ区域の1999年の深浅図を示す。阿字ヶ浦海岸における波による地形変化の限界水深は、阿字ヶ浦の南約10 kmに位置する大洗港周辺における限界水深(-9 m)³⁾と同程度と推定されるが、これを考慮すると沖合の-10 m以深の等深線形状に見られる大きな変動は測量の誤差に伴うものであって有意なものとは考えられない。したがって-10 m以浅の等深線に注目すると、作業基地の防波堤の南側部分で等深線がやや前進するとともに、磯崎漁港の防波堤延伸に伴ってその西側に波の遮蔽域が形成され、そこで堆砂が生じたことが分かる。これらの堆積に見あう土砂は阿字ヶ浦海岸のほぼ中央部が侵食されることにより供給された。

図-4(c)には2002年の深浅図を示す。この時期までに阿字ヶ浦海岸の中央部～南部で著しい侵食が起こった。とくにX=2.4~3.0 km間では前浜がほとんど消失した。磯崎漁港の防波堤背後では1999年には堆砂が著しかったが、2002年までには堆積していた砂も再度流出している。このように阿字ヶ浦海岸南部での侵食と対照的に、作業基地の防波堤の南面に沿うようにしてほぼ9 mまでの等深線が大きく前進していることから、全体として阿字ヶ浦海岸南部から北部への沿岸漂砂が起きたことが明らかである。

1996年を基準として1999年と2002年までの地形変化量を算出した結果を図-5に示す。同時にこれらの図には北側から南側へと延伸されてきた常陸那珂港の沖防波堤の位置も示す。沖防波堤は1999年から2002年までに1.2 km南向きに伸ばされており、1999年には阿字ヶ浦海岸の沖は大きく開いていたが、2002年には阿字ヶ浦海岸沖のほぼ1/2は防波堤で閉じられた。このため南東方向からの斜め入射波のみが阿字ヶ浦海岸へ入射することになった。この入射方向は阿字ヶ浦海岸の平均的な海岸

線への法線方向(N80° E)に対して55°右回りの方向となるために、強い北向きの沿岸漂砂が生じ、阿字ヶ浦海岸の中央～南側が大きく削られ、侵食された土砂は作業基地の防波堤に沿って堆積することになった。なお、磯崎岬の東側海岸でも堆積が起きているが、この付近では当時礫が打ち上げられたことが報告されている。

6. 回折計算

常陸那珂港の沖防波堤の影響を明らかにするため、領域を10 mメッシュで分割して、酒井ら⁴⁾の不規則波の方向分散法を用いた波浪場の計算を行った。入射波は、阿字ヶ浦海岸における通年のエネルギー平均波とし、波高 $H_0=1.32$ m, 周期 $T=8.3$ s, 波向 $\alpha=N80^\circ E$ の波浪を設定した。なお、この入射波向 α は阿字ヶ浦海岸における海岸線への法線方向と一致している。計算ケースは、常陸那珂港の沖防波堤の建設前と建設後とし、建設前は1984年、

(a) 1996 - 1999 年

(b) 1996 - 2002 年

図-5 水深変化量の分布

図-6 常陸那珂港の沖防波堤建設前の波の回折と波向分布

建設後は2010年の地形・構造物を設定した。潮位はT.P.0 mとした。また、方向集中度パラメーター $S_{\max}$ は75とした。

常陸那珂港の沖防波堤の建設前と建設後の波の回折図と波向分布を図-6, 7に示す。常陸那珂港の沖防波堤の建設前は、磯崎漁港の防波堤により波の遮蔽域が形成されて防波堤背後には静穏域が形成されていた(図-6)。沖防波堤の建設後は、沖防波堤により大きな波の遮蔽域が形成され、作業基地から磯崎漁港を含む大きな静穏域が形成され、入射波は沖防波堤によって大きく回折し、沖防波堤背後へと侵入する向きとなった(図-7)。このような回折計算の結果は、前述の地形変化の機構をよく裏付けており、常陸那珂港の沖防波堤による波の遮蔽効果が地形変化に大きな影響を及ぼしたことが分かる。

7. まとめ

空中写真や深浅データなどを基に阿字ヶ浦海岸の海浜変形の実態を調べたところ、阿字ヶ浦海岸では、常陸那珂港の沖防波堤建設により波の遮蔽域が形成され、これ

図-7 常陸那珂港の沖防波堤建設後の波の回折と波向分布

によって北向きの沿岸漂砂が誘起されて地形変化が起きたことが明らかになった。種々の対策はこの条件をよく考慮して立案する必要がある。

参考文献

- 1) 宇多高明, 清野聡子, 熊田貴之, 星上幸良, 芹沢真澄, 三波俊郎: 波の遮蔽構造物建設に起因して阿字ヶ浦・那珂海岸で進みつつある大規模侵食, 海洋開発論文集, 第19巻, pp.363-368, 2003.
- 2) 熊田貴之, 宇多高明, 鈴木真二, 酒井和也, 野志保仁, 森田 学, 柄沢研治: 無人飛行機(UAV)による新しい海岸モニタリング手法, 海洋開発論文集, 第26巻, pp.1167-1172, 2010.
- 3) 谷沢 肇, 宇多高明, 松浦健郎, 菊池泉弥, 福本崇嗣, 熊田貴之: 大洗港による那珂川流出土砂のトラップと遮蔽域内堆砂の実態, 海岸工学論文集, 第56巻, pp.566-570, 2009.
- 4) 酒井和也, 小林昭男, 宇多高明, 芹沢真澄, 熊田貴之: 波の遮蔽構造物を有する海岸における3次元静的安定海浜形状の簡易予測モデル, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.496-500, 2003.

TOPOGRAPHIC CHANGES OF AJIGAURA BEACH CAUSED BY WAVE SHELTERING EFFECT OF OFFSHORE BREAKWATER

Takaaki UDA, Yasuhito NOSHI, Takayuki KUMADA, Kazuya SAKAI,
Shuji MOTOHASHI and Izumi KIKUCHI

Topographic changes of Ajigaura Beach caused by the wave sheltering effect due to the offshore breakwater of Hitachinaka Port were investigated. Aerial photograph was taken on November 5, 2010 using an unmanned aerial vehicle. Shoreline changes were investigated using seven sets of aerial photographs taken between 1984 and 2010, including the photograph taken on November 5. In addition bathymetric survey data taken in 1996 1999 and 2002 were compared. Finally it was concluded that the beach changes at Ajigaura Beach was triggered northward longshore sand transport, which was caused by the wave sheltering effect of the offshore breakwater.