茨城県鉾田海岸の季節的海浜変動の観測

野志 保仁¹・宇多 高明²・柴崎 誠³・熊田 貴之⁴・荒芝 良彰⁵

¹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

²正会員 一般財団法人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

³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:shibasaki@icomnet.jp

⁴正会員 一般財団法人土木研究センター 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

⁵茨城県鉾田工事事務所 道路河川整備課 (〒311-1504茨城県鉾田市安房1414)
E-mail:arashiba@pref.ibaraki.lg.jp

茨城県鉾田海岸で現地観測を行い、HL周辺の季節的地形変動を調べた。この結果、鉾田海岸の底質は中砂と細砂で構成され、両方で全体の90%以上を占め、中砂はほぼ-3 m以浅に集中的に堆積していることが明らかになった。また、南側に位置する23号HLの北側隣接部では、夏季は冬季に比べて中砂量が増加する一方、29号HLの南側隣接部ではこれと逆の傾向を示した。この現象は、当海岸では夏季には北向きの沿岸漂砂が卓越して主に細砂が流出し、冬季はこの逆になることから説明できた。この点はUAV観測によるHL周辺の汀線変化比較からも確認された。

Key Words : Longshore sand transport, seasonal beach changes, grain size composition, Hokota coast

1. まえがき

鹿島灘に面した茨城県鉾田海岸では徐々に侵食が進んできているが、侵食の進行を防ぐために23号ヘッドランド (HL) と29号HLをそれぞれ先端水深6 m, 8 mまで延伸することによりHL間からの土砂流出を防止するとともに、養浜により海浜土砂量を増す対策が検討された。その際、養浜には40号HLの南側隣接部に堆積した中央粒径約0.3 mmの砂の利用が予定された¹⁾。しかしながら、HLの延伸には多大な費用を要することから、HLの先端部を没水型とする案 (潜突堤) が提案され、数値計算と二次元水路実験により潜突堤を横切る漂砂の機構が調べられた²⁾。この結果、海底地盤からの潜突堤の突出高を、冬季～夏季の地盤変動量の予測値2 mに浮遊砂の最大巻き上がり高1.3 m (実験結果) を加えて3.3 m以上とすれば、常時波浪における潜突堤による漂砂阻止が可能と考えられた。このように既設HLを潜突堤方式で伸ばすことの有効性が示されたが、鉾田海岸では現地データが十

分取得されていないため、計算の前提条件である冬季・夏季における波向・波高変動に応じた海浜地形変化は定量的に明らかにされていなかった。そこで、鉾田海岸において汀線・深浅測量、空中写真撮影を実施し、23, 29号HL周辺の季節的地形変動について現地観測により調べた。また、当海岸の底質粒径は岸沖方向に分布を有しており、構造物周辺での地形応答にも変化が現れる。そこで、底質粒径の水深方向分布を詳しく調べ、地形変化との関係についても考察した。

2. 観測方法

調査対象は、図-1に示すように鹿島灘に面した鉾田 (地先) 海岸である。鉾田海岸の北15 kmには大洗港が、南25 kmには鹿島港が立地し、鉾田海岸はこれらの港に挟まれた区域の中央やや北側に位置している。当海岸に作用する波浪は、冬季・夏季で特性が大きく異なり、冬

図-1 銚田海岸の位置

図-2 深浅測量の測線配置

冬季は北東寄り、夏季は南東寄りの入射と、入射方向が大きく変化する³⁾。そこで、冬季・夏季波浪後の海浜形状と底質特性を調べるために、2012年3～6月（冬季）、2012年9～10月（夏季）に深浅測量と底質採取を行った。深浅測量は、広域測量とHL周辺の狭域測量からなり、広域測量では沿岸方向に500 m間隔（HL周辺は250 m間隔）の測線に沿い護岸から沖向きに1000 mまでの範囲を対象とし、狭域測量では25 m間隔の測線によりHL周辺の詳細地形を測量した（図-2）。底質は、陸上部の+3 mから-8 mまで1 m間隔で採取し、乾燥後フルイ分け分析を行った。なお、冬季・夏季の測量期間が長いのは測量期間中時化が続き、その度に待機が必要であったことによる。また、冬季・夏季波浪後の汀線変化を調べるために、深浅測量時期と合わせてUAV⁴⁾による空中写真撮影も行った。撮影時期は2012年3月18日、4月25日、8月21日である。さらに、観測期間中の波浪条件についてはNOWPHAS鹿島港での波浪観測結果を参照した。

3. 観測結果

(1) 波浪特性

図-3 測量期間中の波浪観測結果

表-1 有義波高4 m以上の高波の波高、周期および波向

	最大有義波高 (m)	周期 (s)	波向 (°)
① 3月10日	4.56	8.0	-63
② 5月3日	4.49	10.9	23
③ 6月7日	4.54	13.0	-5
④ 9月28日	4.26	9.5	15

期間中の鹿島港での波浪観測結果を図-3に示す。ここに、入射角は銚田海岸の海岸線に立てた法線の方に対して右回りを正とした角度である。観測期間が始まった2012年3月以降、7月までに有義波高4 m以上の高波浪が3回（①3月10日、②5月3日、③6月7日）来襲した。表-1にはこの時の最大有義波高・周期および波向を示す。一方、冬季観測以降では、9月28日に台風17号が襲来し再び有義波高4 m以上の波が作用したが、この期間内の7月1日～9月26日では平均有義波高が0.93 mと静穏な状態が続いた。この波高は、1991～2006年の長期データを用いた夏季のエネルギー平均波高1.49 m³⁾よりも低く、前浜では急速な堆積が生じた。また、波向については、図-3に縦破線で示すように、夏季観測直前の8月14日～9月2日の静穏波（平均有義波高0.63 m）作用時には、入射角は平均で35°南寄りの入射波であった。このため静穏波の作用により前浜に砂が堆積すると同時に、汀線付近において北向きの沿岸漂砂が卓越し、HLの南側近傍での堆積が促進されたと推察される。

(2) 海底地形と底質粒度組成

冬季・夏季に取得した深浅図と、冬季から夏季の地形変化量を図-4(a),(b),(c)に示す。測量区域は22、23号HL間

図-4 深浅図 (a: 2012年3~6月, b: 2012年9~10月) と水深変化量

の中央から29, 30号HL間の中央まで、沿岸方向に7 km, 岸沖方向に1.2 kmの区域である。図-4(a)に示す冬季では、測量区域の南端に位置する23号HLと、北端の29号HL付近では複雑な等深線形状となっているが、HLに挟まれた区間の等深線は沿岸方向にはほぼ一様で、4 m付近にはトラフが形成されていた。また、汀線付近では沿岸方向に約1 km間隔のラージカスプの形成が認められる。HLの先端水深は23, 29号HLとも3~4 mであり、これらは当海岸における冬季、夏季の波による地形変化の限界水深8 mおよび6 mと比較して十分小さい。このため現況では沿岸漂砂がHL沖を通過しうる条件にある。とくに、29号HL沖において7 m付近までの等深線が沖向きに突出している状況は、HL沖を沿岸漂砂が通過していることに対応していると考えられる。

図-4(b)に示す夏季では、南東方向から静穏波が入射したため、23号HLの北側直近は侵食され、29号HLの南側隣接部で堆砂が起きた。また、冬季に水深5 mにあったバーは消失し、その土砂の一部が水深2 m以浅に堆積した。また、図-4(c)に示す冬季から夏季の地形変化量では、沿岸方向にはほぼ一様に伸びていたバーが削られて陸側で堆積するとともに、23号HLの北側直近では侵食が、29号HLの南側直近では堆積が顕著である。その上

図-5 2012年3~6月測量の縦断面形と粒度組成の比較 (X=2.5, 7.5 km)

図-6 2012年9~10月測量の縦断面形と粒度組成の比較 (X=2.5, 7.5 km)

バーの沖合でも緩やかな堆積が生じている。

図-4に示すように、それぞれ29, 23号HLから南北に0.5 km離れたX=2.5, 7.5 kmに測線を定め、これらの測線上の縦断面形と底質粒度組成の水深方向分布を調べた。図-5には冬季(2012年3~6月)の縦断面形と粒径分布の観測結果を示す。両測線とも前浜勾配は約1/20であるが、沖浜勾配は約1/70と緩いためバー・トラフの発達が良好である。d₅₀も前浜では0.3 mm程度と相対的に粗いが、沖浜では減少し、水深4 m付近では両測線とも0.15 mmと小さくなる。さらに、粒度組成に関しては、X=2.5 km測線の前浜では中砂が平均66%、細砂が33%を占め、両者では

図-7 X=2.25 km, 7.75 km 測線での縦断形変化

99%となる。中砂の含有率は水深4 mまでは高いが、4 m以深では5%以下と急激に低下し、代わって細砂の含有率が33%から76%まで増加する。

X=7.5 km測線では、X=2.5 km測線と比較して中砂の含有率が相対的に低いが、この測線でも4 m以深での中砂の割合は10%と急減し、細砂の割合が87%と急激に増大している。また、-5 m以深の海底面はほぼ細砂で構成されている。このように北側に位置するX=2.5 km測線と比べ、南側のX=7.5 km測線では全体に細砂の割合が高くなっている。

次に、夏季の縦断形と粒径分布を表すと考えられる

2012年9～10月の測定結果を図-6に示す。2012年3～6月の観測結果と同様、両測線とも前浜勾配は1/20、沖浜勾配は1/70であるが、冬季に発達していたバー・トラフは消失した。 d_{50} は、前浜では0.3 mm程度と相対的に粗いが、水深4 m付近では両測線とも0.15 mmと小さくなる。夏季の粒度組成の特徴として、X=2.5 km測線では冬季の中砂含有率は水深4 m以浅で高かったが、夏季には図-6(a)に示すように中砂含有率が相対的に高いのは水深0 m以浅となり、中砂の含有率の高い水深帯が狭まった。一方、X=7.5 km測線では、冬季の中砂含有率が水深1 m以浅で高かったのに対し、夏季には中砂含有率の高い水深帯が水深3 m以浅まで深まった。このような粒径含有率の変化は、夏季の南東寄りの入射波によって北向きの漂砂が生じて細砂が北向きに運ばれ、南側に位置する23号HLの北側隣接部では細砂が流出して中砂の含有率が高まり、逆に北側に位置する29号HLの南側隣接部では細砂が多く堆積したためと推察される。

次に、29号HLの南側と23号HLの北側直近で、大きな地盤変動量が観察されると見られるX=2.25 kmと7.75 km 測線（測線位置については図-4参照）を選んで縦断形の季節変化を調べたのが図-7である。X=2.25 km測線では、冬季～夏季の間でバーが消失する一方、前浜では堆積が起きた。バーの消失に伴う断面積の減少量は111 m²、堆積断面積は207 m²で、ネットで96 m²の断面積の増加が見られた。一方、X=7.75 km測線では、バーが消失しつつ全断面が侵食され、侵食断面積は255 m²であった。29号HLの南側直近のX=2.25 km断面ではネットで堆積量が多いのに対し、23号HLの北側直近のX=7.75 km断面では侵食量が多いことから、この間、北向きの沿岸漂砂による地形変化が起きたことが明らかである。

(a) 空中写真撮影区域

(b) ヘッドランド周辺の空中写真(2012年8月21日)

図-8 観測区域の空中写真

図-9 23号HL北側の砂丘にできた浜崖（地点A）

図-10 29号HL南側の砂丘にできた浜崖（地点B）

図-11 地点A,Bの砂丘構成材料の粒度組成

図-12 23,29号HL周辺の空中写真の比較

(3) 空中写真に見る前浜地形変化

当海岸では砂丘地の侵食が進み、そこからの土砂供給も起きている。そこで空中写真と現地踏査、および砂丘

砂の粒度調査によりこの点について調べた。深浅測量時期と合わせて行ったUAVによる空中写真撮影結果を図-8に示す。図には空中写真の撮影区域と、8月21日におけるUAVによる撮影画像をオルソ幾何補正した画像を併せて示す。調査対象区域内には砂丘が発達しており、護岸の未設置区域では浜崖侵食が進み、砂丘からの崩落土砂が海岸へと供給されている。これらの浜崖の形成区域は、図-8に示すように、23号HLの北側の800 m区間、および29号HLの南側の600 m区間である。それぞれの浜崖形成状況として、図-8に矢印Aで示す位置の浜崖状況を示すのが図-9である。浜崖の勾配は約1/2で、比高は5 mであった。浜崖の基部に大量の流木が堆積していることから、高波浪時には浜崖基部まで波が作用する条件にあることが分かる。同様に図-10には図-8の矢印Bから撮影した浜崖形成状況を示す。砂丘地の海側が侵食され、勾配1/2の浜崖が形成され、比高は4 mであった。

2012年12月23日、図-9, 10に示す測線上の斜面中央部で砂丘の構成材料を採取し、粒度分析を行った。図-11にはA, Bでの粒度組成を示すが、砂の中央粒径はそれぞれ0.20 mmと0.22 mmであり、図-5, 6に示した沖浜の堆積砂と同じ粒度組成を有していた。このため浜崖侵食により供給された砂丘砂は勾配1/20と相対的に急な汀線付近には留まることができず、勾配が1/70と緩やかな沖浜へ移動すると推察された。

(4) 空中写真による汀線変動の観測

波の入射方向の変化に伴う地形変化は、沿岸漂砂に対する固定境界を与えるHL周辺で顕著に現れると考えられることから、図-8に示す23,29号HLを含む矩形区域を拡大して比較した。図-12には冬季波浪作用後（2012年3月18日）と、夏季波浪作用後（2012年8月21日）の23, 29号HL周辺の空中写真を切り出して示す。まず23号HLについて2時期の空中写真を比較すると、3月18日にはHLの頭部背後では南北対称形の砂浜があったが、8月21日には北側と比べて南側で砂浜が広がった。同様な変化は29号HLの頭部でも観察され、頭部背後の砂浜が29号HLの南側で大きく増加している。これらのことから、冬季から夏季には北向きの沿岸漂砂による地形変化が起きたことが分かる。

図-13は、2012年3月18日～4月25日と、4月25日～8月21日の期間における23号HL両側区域の汀線変化量を示す。4月25日までの汀線変化では、HLの直近を除くX=7.7～7.9 km区間では汀線が前進していたが、夏季波浪後の8月21日では同じ区域は侵食傾向に変わり、同時に23号HLの南側では堆積が起きている。同じ期間における29号HL両側区域の汀線変化量を図-14に示す。4月25日までの汀線変化では、HLの直近を除くX=1.8～1.9 km区間では汀線が大きく前進していたが、夏季波浪後の8月21日

図-13 23号HL周辺の季節的汀線変動 (2012年3月18日基準)

図-14 29号HL周辺の季節的汀線変動 (2012年3月18日基準)

では同じ区域は侵食傾向に変わり、同時に23号HLの南側では堆積が著しい。このように空中写真によるHL周辺の汀線変化比較からも波向変動に起因する海浜変形が起きたことが確認された。

4. まとめ

(1) 鉾田海岸を構成している底質は、主に中砂と細砂であり、両方で全体の90%以上を占めていた。(2) 深浅測量と粒径調査によると、29号HLの南側に隣接するX=2.5 km測線では、夏季は冬季に比べて細砂が多く堆積し、中砂の堆積量は少なかった。一方、23号HLの北側に隣接するX=7.5 km測線ではこれと逆の傾向を示した。夏季の南東方向からの入射波により北向きの漂砂が生じ、この沿岸漂砂によって細砂が北向きに運ばれたことがこの原因と考えられる。(3) 空中写真によるHL周辺の汀線変化の比較からも波向変動に起因する海浜変形が起き

たことが確認された。ここでは、1年間の観測データを示したのみであるから、上記観測結果の普遍性の確認は十分ではないが、季節的変動をかなりうまく把握できたと考えられる。

参考文献

- 1) 小松崎 誠, 坂本一誠, 松浦健郎, 宇多高明, 熊田貴之: 波向の周期的変動場における効果的なヘッドランド形状に関する検討, 海洋開発論文集, Vol. 26, pp.1149-1154, 2010.
- 2) 今井和敏, 丹 邦敏, 宇多高明, 野志保仁, 熊田貴之, 酒井和也: ヘッドランドと潜突堤を組み合わせた新しい漂砂制御施設, 海洋開発論文集, Vol. 26, pp.1131-1136, 2010.
- 3) 宇多高明, 熊田貴之, 芹沢真澄, 長山英樹: 波向変動場で生じる漂砂大循環の発生メカニズム, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.506-510, 2008.
- 4) 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.

FIELD OBSERVATION OF SEASONAL BEACH CHANGES ON HOKOTA COAST IN IBARAKI PREFECTURE

Yasuhito NOSHI, Takaaki UDA, Makoto SHIBASAKI
Takayuki KUMADA and Yoshiaki ARASHIBA

Field investigation was carried out on the Hokota coast in Ibaraki Prefecture to investigate seasonal beach changes around the artificial headlands. As a result, the beach materials of the Hokota coast was composed of fine and medium-sized sand with the content of 90 % by two grain sizes, and medium-sized sand was mainly deposited in the zone shallower than 3 m depth. On the immediately north side of artificial headland No.23 located on the south side, the amount of medium-sized sand increases in summer compared with that in winter, whereas vice versa near the south side of headland No. 29. This phenomenon was explained by the fact that fine sand is transported by northward long-shore sand transport in summer and vice versa in winter. This was also confirmed by the field observation of shoreline changes using UAV.