南九十九里浜一宮海岸の ヘッドランド周辺の地形特性

BEACH CHANGES AROUND ARTIFICIAL HEADLANDS ON ICHINOMIYA COAST

宇多高明¹・熊田貴之²・清水達也³・富澤和雄⁴・川瀬 栄⁵・今村康士⁶
Takaaki UDA, Takayuki KUMADA, Tatsuya SHIMIZU, Kazuo TOMIZAWA,
Sakae KAWASE and Yasushi IMAMURA

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター常務理事なぎさ総合研究室長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タカラビル)

²正会員 博 (工) (財) 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タカラビル)

³正会員 修 (工) (有) アイコムネット環境コンサルティング部
(〒135-0064 東京都江東区青海2-7-4-627)

⁴千葉県長生地域整備センター建設課長 (〒297-0026 千葉県茂原市茂原1102-1)

⁵千葉県長生地域整備センター建設課副主幹 (〒297-0026 千葉県茂原市茂原1102-1)

⁶千葉県長生地域整備センター建設課主査 (〒297-0026 千葉県茂原市茂原1102-1)

On the Ichinomiya coast located in the south part of Kujukuri Beach, ten artificial headlands have been constructed since 1983. By 2010, part of these headlands has been completed but the rest of them are still under construction. The shape of these headlands is classified into T-shaped and jetty-type, and characteristic beach changes occurred around these headlands depending on their shape. The shoreline changes around these artificial headlands were investigated on the basis of the aerial photographs, and typical shoreline changes were summarized.

Key Words : Artificial headland, Ichinomiya coast, shoreline changes

1. はじめに

九十九里浜は、房総半島東部において太平洋と接し、北端の屏風ヶ浦から南端の太東崎まで伸びる長さ約60kmの砂浜海岸であり、未固結の砂岩・泥岩で構成された屏風ヶ浦と太東崎の海食崖からの崩落土砂、および太東崎の南側に流入する夷隅川からの流出土砂が沿岸漂砂によって浅い湾の中央部へと運び込まれて堆積してできた海岸である。海浜は細砂から構成されているため緩勾配の海浜が形成されている。この海岸では1970年代以降進められた海食崖の侵食防止工事、九十九里浜の北端・南端に造られた飯岡・太東漁港による沿岸漂砂の阻止などにより九十九里浜への供給土砂量が激減した結果、近年では弧状海岸線の両端部から中央部へと侵食が進んでいる^{1) 2)}。このため九十九里浜南部に位置する一宮海岸では、1983年より10基のヘッドランド(HL)の建設が進められてきた。2010年現在これらのHLは全てが完成形には至っておらず、縦堤が伸ばされたのみのものもある。これらの様々な建設

段階にあるHLでは波の遮蔽効果がそれぞれ異なるため、HL周辺の汀線形状もHL形状に応じた違いが現れている。このようなHLの形状が周辺海浜へ及ぼす影響を調べることはHLの設計における形状の相違と海浜地形の関係を考察する上で有効な資料となる。そこで、本研究では完成形に至るまで種々の形状にあるHL周辺の汀線変化を空中写真に基づいて調べ、HLの縦堤、横堤が延伸された場合の周辺の汀線変化について分析した。同時に、HL設置海域では海底地形にも大きな変化が見られることから2004年と2010年の深浅図の比較も併せて行った。

2. 検討方法

一宮海岸において現在まで建設が進められている10基のHLの配置を2010年の空中写真に示すと図-1のようである。HLは一宮川河口から太東漁港まで約7km区間に配置され、一宮川河口に隣接するのが1号堤、太東漁港近傍が10号堤である。HLの平均設

図-1 一宮海岸におけるヘッドランドの配置

(a) 2004年

(b) 2010年

図-2 一宮海岸の2004年と2010年の深浅図

置間隔は680mであり、最小間隔は6, 7号堤間の400m, 最長間隔は3, 4号堤間の960mである。またHLは現在もなお建設中のため、その形状は様々で9, 10号堤のように縦堤のみの場合と2, 3号堤のように縦・横堤が完成したものもある。図-1のようにHLは沿岸方向に配置されているので沿岸漂砂から見て同一条件にはないが、HLの建設段階が互いに同じ状況にあるもの、例えば両側とも縦堤のみ、片側にのみ横堤がある場合、さらには両側のHLが完成形のものなどに分類できる。そこでHLの設置位置の相違

は無視した上HLが同一条件にあるものを集め、HL形状の相違が汀線変化に及ぼす影響について検討した。その場合の汀線変化量の算出では、HLがなくまた侵食も起きていなかった1947年の汀線位置を基準として変化量を算出した。

3. 一宮海岸全域の深浅図の比較

HL周辺の汀線形状特性を明らかにする前に、全

HLを含む広域の深浅図の比較を行い、HL周辺とHL沖を含む区域の海底地形の特徴を調べた。一宮海岸全体を包括した深浅測量は2004年になって初めて行われ、その後現況の2010年に再度深浅測量が行われた。ここではこれら2時期の深浅図の比較を行った。図-2には2004年と2010年の深浅図を示す。これらの時期には既にHLの工事が進んでおり、少なくとも縦堤はいずれのHLでも伸ばされていたが、2010年までにいくつかのHLでは横堤も一部は伸ばされた。これらの深浅図によれば、4号堤より北側では汀線から-6mまでの等深線が互いに平行に延びているが、4号堤から太東漁港近傍では汀線と平行なのは-4mの等深線であり、これらの水深を境に岸側と沖側の海底勾配が急変し、岸側の海底勾配と比較して沖合では海底勾配が小さくなり、緩勾配に変わる。これは太東崎による波の遮蔽効果が現れ、太東崎に近づくことと波による地形変化の限界水深が浅くなっていることに対応すると考えられる。また2004年と2010年いずれの深浅図においても、2～5号堤ではHLの沖合において等深線の蛇行が起きている。宇多ら³⁾は等深線変化モデルを用いて動的平衡状態にある海岸にHLを設置した場合の沿岸漂砂の制御効果を予測したが、HL沖ではHLによって沿岸漂砂が部分的に阻止されると砂の一部がHL沖へと運ばれ、その砂が下手側海浜で再び岸向きに移動し、その際等深線の蛇行が起こる。このように、一宮海岸のHL沖での等深線の蛇行は、宇多ら³⁾が等深線変化モデルによる検討で明らかにした現象と同じと考えられる。ただし宇多ら³⁾は一方向の沿岸漂砂が卓越する場での検討結果であったが、一宮海岸では波向が季節的に大きく変動する特徴があるので、HL沖の等深線の蛇行状況が南北対称形となっていると推定される。なお、銚子沖で観測されたデータ（2000～2008年）によれば、夏季のエネルギー平均波高は1.5m（ $T=11.3s$ ）、波向はN113°Eであり、冬季のエネルギー平均波高は2.0m（ $T=7.9s$ ）、波向はN79°Eである。また、太東漁港近傍の6～10号堤では縦堤のみが伸ばされた状態にあるが、2004年も2010年とも等深線の蛇行は顕著ではない。この付近は太東崎による波の遮蔽を受けるためHLの沖を回り込む沿岸漂砂が小さくなっているためと考えられる。またこのようなHL沖で等深線の蛇行現象が生じている点より、一宮海岸の既設の10基のHLでは沿岸漂砂の一部はその先端を回り込むことができ、静的平衡状態の海浜とはなっていないと推察される。

4. HL 形状に応じた汀線の変化

(1) 縦堤のみの場合

図-3、4には間隔400mの6、7号堤と間隔440mの8、9号堤周辺の空中写真と汀線変化を示す。縦堤のみ伸ばされた6、7号堤および9号堤ではHLの付け根付近の汀線が直線状でありHLの軸線とほぼ直角に伸

図-3 6、7号HL間の汀線変化

図-4 8、9号HL間の汀線変化

図-5 3、4号HL間の汀線変化

びている。しかし8号堤では沖合に離岸堤が設置されており、それによる波の遮蔽効果のため8号堤の縦堤の付け根付近で汀線が局所的に前進している。各HL間の平均汀線位置を調べると、8、9号堤間での-11mに対し6、7号堤間では-56mと、6、7号堤間での汀線後退量が45m大きい。これはより広域的に見た侵食・堆積域における各HLの相対位置に依存すると考えられる。しかし縦堤を伸ばした場合、HLの付け根では汀線が立ち上がることなく直線的に伸びることが分かる。

(2) 片側にのみ横堤がある場合

このタイプには3、4号堤、4、5号堤、および5、6号堤が分類される。図-5、6、7には各ケースの汀線変化を示す。図-5では、4号堤側では汀線はほぼ直線状であるが、3、4号堤間の平均汀線位置（-32m）を基準とすると3号堤の付け根では98m汀線が前進している。同様な特徴が4、5号堤の場合にも見られ、4、5号堤間の平均汀線位置（-26m）を基準として4号堤の付け根では83mの汀線前進が起きている。さらに5、6号堤の場合も同様であり、横堤を有する5号堤の付け根では5、6号堤間の平均汀線位置（-50m）を基準として88mの汀線前進が起きている。3-6号堤の縦堤の長さは200m、横堤の長さは65mといずれも同一であるから、上記結果はHL構造が同一の場合の結果と見なすことができる。これより長さ200mの縦堤に65mの横堤を伸ばした場合、平均値としてHLの付け根では平均汀線位置より90mの汀線前進を見込むことができることが分かった。HL間の砂の量がほぼ一定であればHLの横堤が延びればそれに応じてHL間の中央部汀線が後退することになる。

(3) 両側のHLが完成形

両側のHLが完成しているのは2、3号HLである。図-8は2、3号堤間における汀線変化を示す。両側に横堤が伸ばされたため両端部の汀線が急激に立ち上がっている。汀線前進量は平均汀線を基準として2号堤では133m、3号堤では71mであって、対称形ではなく北側の2号堤側の汀線前進量が多い。また2号HL背後の汀線前進量が多いことと対応し、HL間での汀線後退量は2号HLに近い $x=0.3\text{km}$ で最大後退量-38mが現れており、北側の2号堤方向には急激に変化する一方、南側の3号HL方向には緩やかな後退を示す。HL間の片側に横堤のみを伸ばした場合の結果と考え合わせると、HL間の砂の量がほぼ一定の条件では、HLの横堤を延ばすとそれに応じてHL間の中央部汀線が後退することになる。すなわち横堤の建設は、波の遮蔽効果を通じてHL間の汀線曲率を増大させる結果をもたらす、横堤背後での過剰な堆砂とHL間での汀線後退を招くことが明らかである。

(4) 片側に離岸堤がある場合

図-6 4、5号HL間の汀線変化

図-7 5、6号HL間の汀線変化

図-8 2、3号HL間の汀線変化

片側に離岸堤が設置された場合としては、1, 2号堤間の2号堤近傍で離岸堤が設置された例（図-9）と8号堤の横堤が先行的に造られた場合（図-10）がある。図-9の場合には離岸堤の堤長が160mと長く、それが2号堤に接近して設置されたため1, 2号堤間の中央南側の広い区域での汀線前進をもたらしている。しかし2号堤の南側の汀線がHLに向かって鋭く立ちあがっているのに対し、離岸堤背後では舌状砂州が緩やかに発達するという違いがある。8号堤の横堤が先行的に造られた場合（図-10）には横堤と縦堤の間にある90mの隙間から波が侵入するため縦堤と横堤が繋げられた場合より緩やかな形で砂の堆積が起きている。

5. HL 建設に伴う汀線の時間的变化

2, 3号堤の横堤は既に完成形を有する。これらのHLは1990年以降建設が進められ、2000年までは縦堤が伸ばされたのみであったが、2005年までには横堤も延ばされ2010年の完成形と同形となった。したがって1990年と2000年の写真では縦堤のみ、2005年と2010年の写真では横堤も延ばされて完成形となった状態での汀線変化を調べることができる。4. では最新の空中写真をもとに各建設段階にあるHLの形状と周辺の汀線変化の関係について論じたが、同様な特徴は2, 3号堤の各建設段階における汀線変化からも読み取れると考えられる。そしてHLの形状変化に応じて汀線変化が起こるのであれば、空間的变化と時間的变化から得られた特徴は一致するはずである。そこで以下では2, 3号堤の建設に伴う周辺の汀線の時間的变化過程を調べた。図-11には4時期の汀線変化を示す。いずれも自然状態にあった1947年の空中写真から定めた汀線を基準に汀線変化量を求めた。図-11によれば、横堤がなかった1990年と2000年にはHL間の汀線はほぼ直線状であったが、横堤が伸び始めた2005年以降HL付け根部分での汀線前進が始まった。これらの特徴は4. で得られた結果とよく一致する。また2005年と2010年ではHLの形状は同一であり、ともにHLの付け根の汀線が平均汀線より前進しているが、2010年では $x \leq 0.65\text{km}$ で汀線が前進し、 $x \geq 0.65\text{km}$ では後退するというHL間での汀線の振動モードも重なっていることが分かる。

6. まとめ

(1) ヘッドランド規模に応じた汀線前進・後退の関係

芹沢ら⁴⁾は、Hsu・Evansの方法⁵⁾を応用し、ヘッドランドの横堤・縦堤の長さ、およびヘッドランド間の海岸線の長さが与えられる条件のもとで、HL背後の最大汀線前進量 $\Delta Y_{\max}$ とHL間の最大汀線後退

図-9 1, 2号HL間の汀線変化

図-10 7, 8号HL間の汀線変化

図-11 HL2, 3号間における4時期の汀線比較

量 $\Delta Y_{\min}$ の算出法を示した。HLの横堤長を a 、縦堤の長さを b 、ヘッドランド間の海岸線の長さを c とし、片側にのみ横堤がある場合の3, 4, 5号HLを対象とすると、平均で $a=65\text{m}$, $b=250\text{m}$, $c=840\text{m}$ であるから、 $a/b=0.26$, $c/b=3.3 \div 3$ となる。そこで芹沢ら⁴⁾の図-10より、 $\Delta Y_{\max}/b=0.35$, $\Delta Y_{\min}/b=0.1$ と読み取れる。 b は65mなので、最大汀線前進量は $\Delta Y_{\max}=88\text{m}$ 、最大汀線後退量は $\Delta Y_{\min}=25\text{m}$ となる。実測汀線前進量は89m、汀線後退量は36mとなり、汀線後退量は若干過小評価ではあるものの、ほぼ妥当な結果が得られる。芹沢ら⁴⁾の計算は、波向は直角入射、岸沖漂砂はなく、計算領域内での土砂収支が成立するなど単純な条件下での結果である。これに対し、当海岸は波向の季節変動に伴う汀線変動や、波浪の強弱に伴う岸沖漂砂の作用なども含まれているため、その分誤差が生じうるが、そのような変動があっても芹沢ら⁴⁾の方法である程度の予測が可能と考えられる。

(2) 海浜変形に対するエルゴード性

4. で述べたHL周辺での汀線形状の特性は、ある観測日（時間を固定して）に沿岸方向の場所を変えて撮影した空中写真から得られたものである。一方、5. で述べたHL周辺での汀線形状の特性は、ある場所で（場所を固定したとき）侵食が時間的に進んでいく場合の海浜変形のプロセスから得られたものである。両者の判読結果はとにより一致することが明らかになった。このように、同じ時期に場所を変えて見た各HL形状の違いによる汀線変化と、ある

同じ場所でHLの建設工事の進捗状況に応じた汀線変化が同じ応答をしている。この概念（海浜変形に対するエルゴード性¹⁾）が成立している点は、HL建設に伴ってある時期までに測定された結果は、今後HLの建設が進んだとき起こる現象を予め示していることになる。例えば、縦堤を伸ばした後に横堤を伸ばせば、HL背後の汀線は大きく前進するが、同時にHL間の中央部では汀線が後退し、波当たりが強まることなどが指摘できる。したがって実際の工事においてはこれらの経験知を最大限利用することが失敗を防止する上で大事である。

参考文献

- 1) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，p. 442, 1997.
- 2) 宇多高明，古池 鋼，三波俊郎，芹沢真澄：海食崖に続く堆積性弧状海岸線の形成とその変形予測，地形，Vol. 30, pp. 331-348, 2009.
- 3) 宇多高明，渡辺宗介，古池 鋼，星上幸良，長山英樹：ヘッドランドの規模の相違が海浜変形と通過沿岸漂砂量に及ぼす影響，海岸工学論文集，第 55 巻，pp. 566-570, 2008.
- 4) 芹沢真澄，宇多高明，三波俊郎，古池 剛，神田康嗣：修正 HSU モデルによるヘッドランド周辺の最適安定海浜形状の計算法，海岸工学論文集，第 43 巻，pp. 646-650, 1996.
- 5) Hsu, J. R. C. and C. Evans: Parabolic bay shapes and applications, *Proc. Intn. Civ. Engrs.*, Part 2, 87, pp. 557-570, 1989.