

鹿島灘沿岸におけるヘッドランドの建設による海浜の安定化

住谷 勉夫*・園部 武正**・宇多 高明***
伊藤 隆**・猿田 正則****・横田喜一郎****

1. ま え が き

近年、海岸侵食が全国各地で著しく進んだため、種々の対策が施されている。例えば、海岸護岸、消波堤、あるいは突堤や離岸堤等が造られている。これらの施設は海岸線に沿って連続的に設置されたり、あるいは断続的ではあるが密に置かれることがほとんどである。このため自然の砂浜は狭くなる一方である。自然の砂浜はそれ自体が優れた防災機能を有しており、また景観上も良好である。そのため本来的に、自然の砂浜をできる限り保存した形で防災工事がなされることが望ましい。茨城県の鹿島灘沿岸でも近年侵食が著しい^{1),2)}。そこで、茨城県では太平洋に面した鹿島灘沿岸の侵食を防止し、安定な砂浜とするためにヘッドランド工法を計画し、現在までに 11 基を建設してきた。ヘッドランド工法は我が国で実施例がなく、工法上解決されるべき問題点を含んでいるのが現状である。そこで、本研究では、実海域における新しい工法の追跡調査を行ったものである。なお、ヘッドランド工法については既に Silvester³⁾や土屋⁴⁾により種々の研究が行われている。これらは波の入射方向が一方に大きく傾いた海岸に適用される。ところが、茨城県沿岸では入射方向が季節的、周期的に大きく変化するので、通常のヘッドランド工法は適用できない。一方、筆者らの一人(宇多)は人工岬により波向が周期的に変化する場で汀線変動を抑制する方法を示した⁵⁾。しかし、これらはいずれも長い海岸線を適当に分割することにより海浜を安定化させる意味では同一なので、ここで実施した工法をヘッドランド工法と呼ぶ。

2. 鹿島灘沿岸の全体的地形変化特性

調査対象地区の大野・鹿島海岸は鹿島灘沿岸のほぼ中央部、鹿島港の北側に位置する。これらの海岸では季節的に変化する波向によって沿岸漂砂の方向が変化するが、北向きのエネルギーフラックスの方が大きいために

近年海岸侵食が著しい^{1),2)}。その状況を汀線変化、中央粒径、前浜勾配の変化より調べると図-1 となる。図の横軸は大洗港を原点とした沿岸方向距離であり、汀線変化は 1984 年 10 月を基準として 1985 年と 1987 年の変化を示し、中央粒径と前浜勾配は 1985 年と 1987 年の測定値である。沿岸距離 25 km~39 km に位置する大野・鹿島海岸では最近においても汀線が後退しており、そこでは底質が粗粒化し、かつ前浜勾配が急となっていることが明らかである。また、同様な特徴は大洗港南部でも見られる。このような経年的な侵食を防止し、安定な海浜を形成させるためにヘッドランド工法の適用を考えた。

3. ヘッドランドの施工

ヘッドランドは 1984 年 8 月に撮影された空中写真を参考として、汀線の後退量が約 30 m 以下となることを条件として約 1 km の間隔で建設した。ヘッドランドの設置位置は現況汀線データをもとに、1-line モデルの計

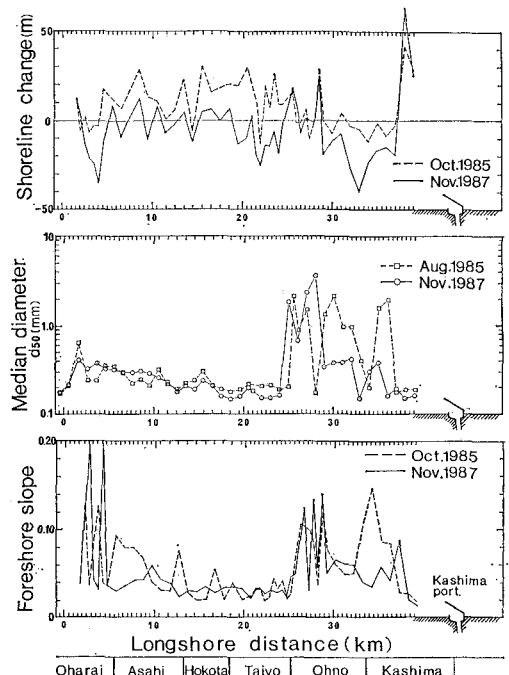


図-1 鹿島灘沿岸の汀線変化量、中央粒径、前浜勾配の分布

* 正会員 茨城県土木部下水道課
** 茨城県土木部河川課
*** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
**** 茨城県潮来土木事務所

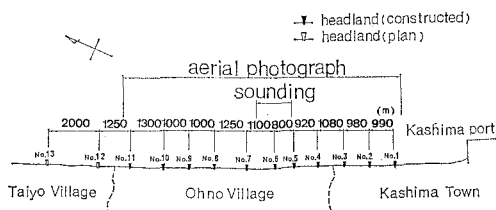


図-2 大野・鹿島海岸のヘッドランド施工位置

算を行って決めた。各ヘッドランドの配置を図-2に示す。現在までに11基が建設され、2基が将来建設される予定である。これらのヘッドランドのうち、No. 1およびNo. 4は1985年12月より建設が始められ、1986年3月完成した。残りのヘッドランドの建設開始時期は表-1に示すようである。ヘッドランドの構造の計画概要を図-3に示す。天端幅は6m、天端高はT.P. 2.2m、長さは100mとし、1t以上の自然石で建設する。なお、現況の長さは80mである。

表-1 深浅測量と写真撮影の実施時期

Kind	1986												1987												1988													
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.		
Sounding	○																																					
Aerial Photo		○																		○		○		○														
Construction Period of Headlands	No. 3, No. 5-7												No. 2 - 10												No. 2, No. 11													

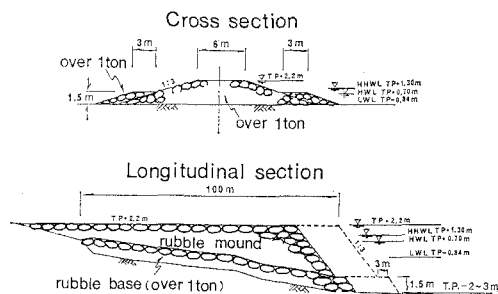


図-3 ヘッドランドの形状

4. 現地調査手法と調査期間中の波浪特性

現地調査の内容はヘッドランド周辺での深浅測量と空中写真撮影とから成る。それらの実施スケジュールは表-1にまとめた。深浅測量は延べ9回実施した。空中写真撮影と深浅測量とはできる限り同一時期となるよう調整したが、天候の関係により少しのずれがある。

深浅測量はNo. 5~7号堤を中心として合計20本の測線を設けて行った。一本の測線長は200mである。深浅測量の測線数は20本とかなり多いので、それら全ての断面形の変化を調べるのは手間がかかる。そこで図-4に示すようにNo. 6号堤を中心としてその北側に2測線(A, B)、南側に2測線(C, D)を選んでそれらの断面形の変化を調べることにした。とくに構造物を挟んで隣接するB, C断面の形状変化を比較すれば、ヘッ

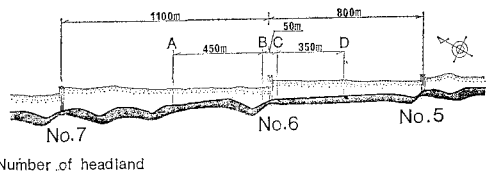


図-4 深浅測量の測線位置

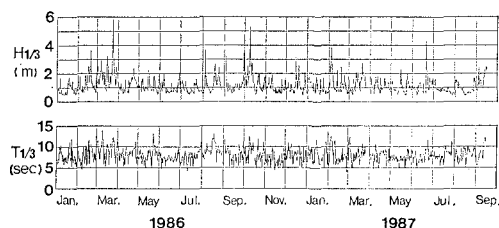


図-5 有義波高・周期の経時変化(大洗港)

ドランドが海浜変形に及ぼす影響を評価することが可能となる。

調査期間の波浪条件として、図-5に大洗港沖(水深21m)での有義波高($H_{1/3}$)、周期($T_{1/3}$)の1986年1月から1987年9月までの観測データを示す。例年、春期の2, 3月と秋期の10月は高波浪が出現する。これに対し、春~夏の4月~7, 8月は一般に静穏な条件が続く。有義周期は有義波高と弱い相関を有し、波高が高いほど周期が長くなる傾向がある。

大洗港では波浪観測とともに波向観測も行われている。そこで有義波高と波向の複合頻度分布を調べたところ、エネルギーレベルが高く、なお卓越した波向としては、4方向があり、さらにそれらはNEとENE、およびSEとSSEの2つのグループに大別された。大野・鹿島海岸の沖合でもこれと同様の波向条件となるとしたとき、当地点の平均汀線の法線方向がENEであることから、当海岸においてNE方向は南向きの沿岸漂砂を、また後者は北向きの沿岸漂砂を生じさせることになる。このように、当海岸では波向が大きく変化することが特徴であり、これによって構造物周りでは特徴ある地形変化が見られることになる。

5. 観測結果

(1) 汀線変化

最初に、ヘッドランド周辺の汀線変化を図-6に示す。図では1986年9月8日より1988年1月7日まで延べ9回分の汀線比較がなされている。図の最下段にはNo. 1~No. 7号堤の位置を示す。9月8日~10月28日では、当時既に建設されていたNo. 1, No. 4号堤の北側部を除くほぼ全域で汀線が大きく後退した。この主な理由は図-5に示したように、10月9日に有義波高5mを越える高波が来襲し、これにより冲向きに漂砂が生じたため

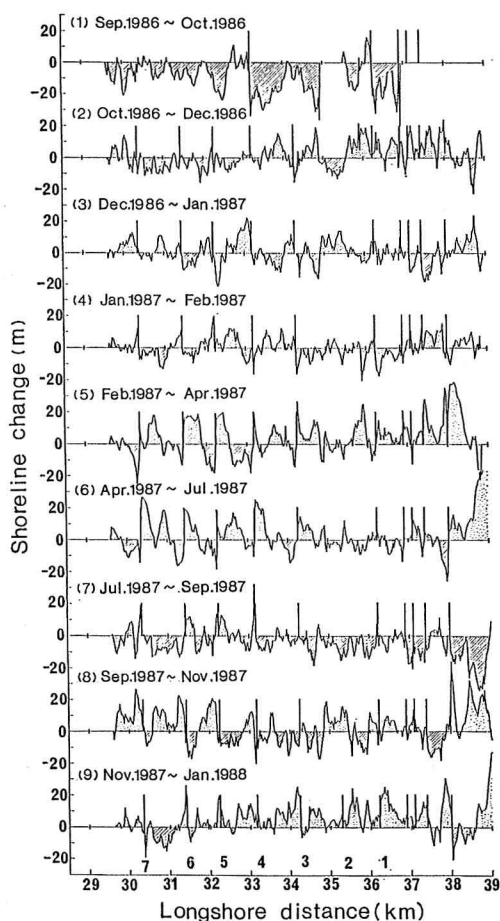


図-6 空中写真による汀線変化状況
(1986年9月～1988年1月)

ある。また、No. 1, 4号堤の北側で汀線が局所的に前進したのは、汀線の法線に対し反時計回りの方向より波が入射したため、南向きの沿岸漂砂が生じ、それによってヘッドランドの北側で汀線が前進したことを表わすと考えられる。12月24日～1月17日の間では、特にNo. 3, 4, 7号堤の周辺で明らかなように、ヘッドランドの南側で汀線が後退し、北側では汀線が前進している。これは当海岸で卓越するNE-ENE方向の入射波が汀線の法線に対し反時計回りの方向からの入射となるために、南下する沿岸漂砂が生じたために生じた汀線変化である。ところが、2月13日～4月13日および4月13日～7月23日の汀線変化はこれと全く逆の変化である。すなわち、各構造物の南(右)側で汀線が大きく前進し、北側で後退した。これは春～夏にこの海岸で卓越するSE～SSE方向からの波が入射したためである。その後、7月23日～9月12日では著しい汀線変化は見られないが、9月12日～11月6日の間、再び各構造物の北側で汀線が前進し、南側では後退した。この変化特性は、1986年12月24日～1月17日の間に見られた汀線変化と同一

である。結局、ヘッドランド間の汀線は、その振幅が約40mで周期的に変動しており、動的にはほぼ安定していることがわかる。以上に述べた岬(構造物)間での汀線形の周期的変動は、同じ茨城県の北茨城海岸でも見出されている^{1), 2)}。このことから、ここで述べた汀線変化の特性は、東太平洋に面する茨城沿岸のかなり一般的な特性を示すと考えられる。

(2) ヘッドランド周りの空中写真の比較

代表的にNo. 7号堤を選んで構造物周りの海浜形状と海域の状況変化を詳細に調べた。空中写真は1987年1月17日より9月12日までの間に5回撮影されている(表-1)。

最初に1987年1月17日の状況を写真-1に示す。ヘッドランドの長さは約100mであることを考慮すると、この観測日、波浪は静穏であり、砕波帯幅は狭いことがわかる。図-6に示した波高の変化を調べると、確かにこの時期は静穏な条件が続いている。構造物の左右岸の汀線形を比較すると、右(南)側の汀線は左(北)側に比較してわずかに後退傾向にある。これは、ヘッドランドの法線に対し、反時計回りの方向からの入射波が卓越したため生じた地形変化である。2月13日になると(写真-2)、波浪条件は一変し、砕波帯幅は非常に広くなり、写真全域が砕波帯内に入った。図-5によると、2月は1月に比較して波高が高いから、写真は高波浪時の状況をよく表わしている。また、ヘッドランドを境に南側の汀線は北側に比較して大きく後退している。このことは、写真-1の場合と同様に、波の入射方向がヘッドランドの法線に対し反時計回りの方向からであったことを

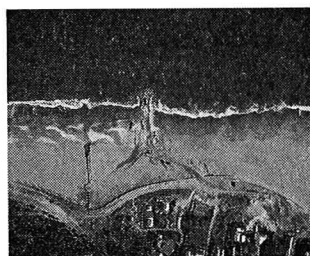
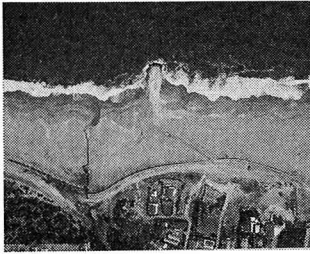


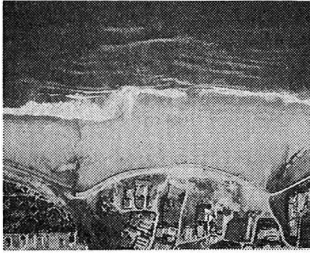
写真-1 No. 7号堤の空中写真
(1987年1月17日)



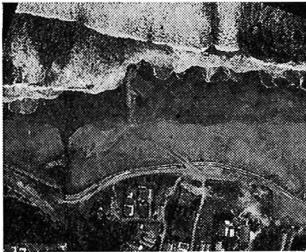
写真-2 No. 7号堤の空中写真
(1987年2月13日)



写真—3 No. 7 号堤の空中写真
(1987年4月13日)



写真—4 No. 7 号堤の空中写真
(1987年7月23日)



写真—5 No. 7 号堤の空中写真
(1987年9月12日)

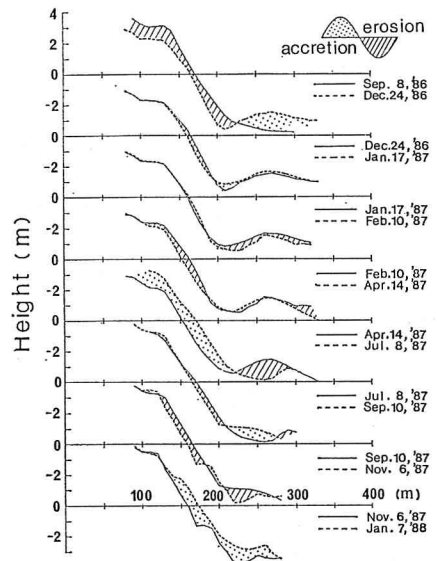
表わしている。その後2カ月が経過すると(写真—3), ヘッドランドの南北での汀線形はほぼ対称形となり, 写真—2 の場合に顕著であった構造物の南側での汀線後退傾向は解消された。これはこの2カ月間に波の入射方向がヘッドランドの法線に対し時計回りの方向へと変化したことを表わしている。しかも砕波帯幅は狭いことから, 静穏な波が入射していることがわかる。実際, 図—5 によると4月は波高が低く, 写真—3 はその典型的な状態を表わしていると考えられる。1987年7月23日になると(写真—4), 汀線形状には著しい変化が表われ, 構造物の南側で大きく汀線が前進し, 北側で後退した。ちょうど2月13日の状況(写真—2)と特性が逆転した。このときの波浪条件も静穏であり, ヘッドランド沖には時計回りの方向より入射するうねりを明瞭に判別できる。結局, 4月~7月の間の地形変化は上述のように南側から入射する入射波によって生じたことが明らかである。更に, 図—5 により7月の波浪条件を調べると, $H_{1/3}$ はほぼ1m以下の条件が続いており, 写真—4 は

このような条件下での海浜および海の条件をよく表わしている。

最後に9月12日の状況を写真—5に示す。写真上方の全域が砕波帯内に入り, 高波浪が続いていることが明らかである。また, ヘッドランド沖で波は海岸線の法線方向と約 12° を成して時計回りの方向より入射している。ヘッドランドの先端は砕波帯の白濁域に入っている。この入射波の条件では北向きの沿岸漂砂が卓越するため構造物の南側で汀線が前進し, 北側で後退した。結局, 当海岸では波の入射方向が1年間を通じて周期的に変化するために, それに応じて北向き, あるいは南向きの沿岸漂砂が生じることがわかる。すなわち, この海岸では波向が季節的に変化する点こそが最も重要な点である。写真—2, 5で明らかなように, 高波浪の条件下では, 現また, 在のヘッドランドの先端は砕波帯内に入ってしまう。したがってかなりの沿岸漂砂は構造物を回りこんで隣の海岸へ移動する可能性がある。すなわち, ヘッドランドにより漂砂量を小さくすることはできるものの, 現在の長さのままでヘッドランド間の土砂量の減少は防ぐことができない。このことから, 将来においてはヘッドランドの長さを更に長くする必要がある。

(3) 海浜断面形の変化

図—6に示した汀線変化とほぼ同時期に測定された海浜断面形状の時系列変化について述べる。No. 6, 7号堤の中央に位置し, ヘッドランドの影響が少ないと考えられるA断面を選んで断面変化をまとめた(図—7)。この断面は構造物から離れているので, 沿岸漂砂による地形変化に止まらず, 岸沖方向漂砂による地形変化の特徴も調べることができる。1986年9月8日~12月24日で



図—7 断面形状の経時変化

は、前浜が侵食され、沖合にバー・トラフ地形が形成された。図-7 によるとこの間 10 月 8 日には $H_{1/3}$ が 5 m 以上の高波浪が生じているから、この高波浪により沖向き漂砂が生じたと考えられる。その後は 4 月 14 日まで地形変化はあまり大きくないが、4 月 14 日より 7 月 8 日の間では著しい地形変化が生じた。すなわち、沖合のバーは小さくなり、前浜上には土砂が堆積した。この間の変化は、9 月 8 日～12 月 24 日の地形変化とちょうど逆モードである。しかも前浜部が侵食あるいは堆積する限界の水深が約 3 m である点はよく一致する。4 月～7 月の間は 6 月 19 日の $H_{1/3}=4.3$ m の波を除けば、有義波高がほぼ 2 m 以下の静穏な条件が継続し、とくに 7 月は有義波高 1 m 以下の波が続いている (図-5)。これらのことより、図示する地形変化は静穏波の条件の下で、岸向き漂砂が生じたため起きた地形変化であると言える。その後 11 月 6 日までの間はやや侵食傾向にある。

1986 年 9 月 8 日の断面形と 1 年が経過した 1987 年 9 月 10 日の断面形が比較すると、汀線位置、断面形ともほぼ同じとなっており、侵食された海浜断面は 1 年間で侵食前の形態へと戻ったことがわかる。このように、当海岸は、波向の周期的変化による沿岸漂砂の変動と、波浪条件の変化による岸沖漂砂の変動とが同時に生起している点に特徴を有する。

1987 年 2 月 10 日と 7 月 8 日のデータをもとに、断面 B, C の重ね合わせを行うと図-8 となる。2 月 10 日は、図-6 によれば、南向きの沿岸漂砂の卓越した時期にある。ヘッドランドの北側の B 断面は南側にある C 断面よりも汀線が前進しており、T.P. -3 m 以浅で明らかに土砂が堆積している。しかし、それより沖合ではほぼ同じ断面になる。ヘッドランドの先端水深は約 2 m であるから、その先端付近よりやや沖合まで効果が表われていることになる。同様に、7 月 8 日の両断面を比較する。7 月 8 日は、逆に北向きの沿岸漂砂が卓越する条件である。この場合、構造物の南側に位置する C 断面の方が汀線が沖に位置し、ちょうど 2 月 10 日の場合と逆転したことが分かる。B 断面では前浜の勾配が C 断面に比べて急であり、また、T.P. -2 m 以浅が侵食された形状を示す。それより沖では再び両断面はほぼ一致している。

6. 結 論

① 大野・鹿島海岸における海岸侵食の拡大を防止し、

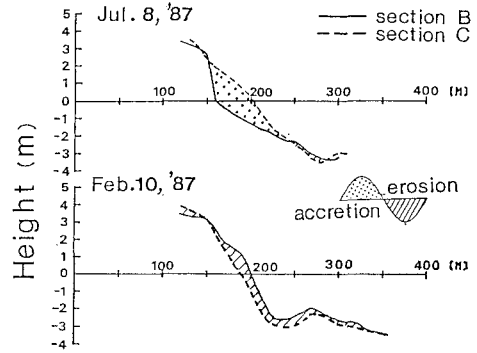


図-8 No. 6 号堤の南、北両断面形状の比較
(1987 年 2 月と 7 月)

海浜を安定化させるために 11 基のヘッドランド群を建設した。このヘッドランド群により、波向が季節的に変動する場での汀線変動量を小さくすることができた。

② 鹿島灘沿岸で見られた波の季節変動に対応した汀線形の周期的変化は、北茨城、阿字ヶ浦、霞ヶ浦においても見出されている。このことから上述の特性は本州の東日本における典型的な海浜変化と考えられる。

③ ヘッドランドの先端水深は約 2 m である。このヘッドランドの左右両測線の海浜断面形の比較によると、水深約 3 m までは断面形に相違が見られる。したがって漂砂変動を顕著に阻止する水深は約 3 m までと考えられる。

謝辞：波浪データについては、茨城県三浜港湾事務所より資料提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 宇多高明・住谷勉夫・小林洋三：茨城県における海浜変形の実態，地形，Vol.7, No.3, pp.141～163, 1986.
- 2) Uda, T., M. Sumiya, and Y. Kobayashi: Analysis of beach erosion around large-scale coastal structures, Proc. 20th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp.2329～2343, 1986.
- 3) Silvester, R.: Headland defense of coasts, Proc. 15th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp.1394～1406, 1976.
- 4) 土屋義人：海岸侵食制御試論，海岸，第 24 号，pp.100～109, 1984.
- 5) 宇多高明・山本幸次：海浜安定化工法に関する 2,3 の検討，土木技術資料，Vol.29, No.9, pp.21～26, 1987.