

大野鹿島海岸のヘッドランド周辺の海浜流の観測

宇多高明* ・ 齊藤光司** ・ 横田喜一郎**
 大原 茂*** ・ 川中島洋二*** ・ 内田 恵三****

1. まえがき

海岸侵食対策の一つとして自然の砂浜のもつ消波効果をできる限り発揮させ、砂浜を安定化する手法としてヘッドランド（人工岬）工法があるが、全国各地での海岸侵食の激化とともにこの工法が利用される機会も増えている。ヘッドランド工法では、一般にその先端にヘッド部を付けることにより波や流れを制御する方法がとられているが、海岸の現場ではヘッド部の機能について十分理解されておらず、場合によると単なる突堤を造ったのみでヘッドランドの機能が果たされると誤解されることもある。ヘッドランド工法の発展を考える上でこれは大きな問題である。そこで、本研究ではヘッドランドの建設が進んでいる茨城県の大野鹿島海岸での現地観測によりこの点を明らかにするとともに、ヘッドランドの群としての海浜安定化効果について現地調査により調べたので報告するものである。また、この海岸では長年月にわたって深淺測量が行われてきているので、それらを分析し、平均水深からの水深変動量の標準偏差の水深方向分布を求めるとともに、これと沿岸漂砂量の鉛直分布との比較を行う。さらに波による地形変化の限界水深とヘッドランドの先端水深との関係についても議論を進める。

2. ヘッドランド周辺の海浜流の観測

2.1 観測地域の概要

現地観測はヘッドランドの建設が進められている茨城県の大野鹿島海岸で行った。大野鹿島海岸は図-1に示すように大洗～波崎の間に広がる全長約96 kmの砂浜海岸のほぼ中央部、鹿島港の北側に隣接する延長約12.5 kmの海岸である。この海岸では、堤長約150 m、堤幅6 mのヘッドランド11基の建設が1984年より進められてきており、1992年12月現在で2基のヘッドランドがヘッド部も含めて完成している。ヘッドランド（住谷ほか、1988）は図-1に示すように、沿岸方向にほぼ1 km間隔で配置されている。海浜流の観測は図-1に示すよ

うに9, 10号堤周辺で行った。

2.2 ヘッドランド周辺の海浜流の予測

まず、ヘッドランドのヘッド部の有無による海浜流の変化を海浜流の数値シミュレーションにより比較検討した。大野鹿島海岸を想定した海浜勾配1/70の一樣勾配海浜に入射波高2.0 m、周期8.5 s、波向 $\theta=20^\circ$ の波を入射させて波高分布を求め、これより求めた海浜流計算の結果を図-2に示す。図-2(a)はヘッド部なし、(b)はヘッド部有の場合である。(a)の突堤状構造部の長さは100 m、(b)のヘッド部の沿岸方向の幅は100 m、先端部の延長は100 mである。波の入射方向が海岸線への法線方向に対して時計回りの方向からであるために、全体として左向きの沿岸流が発達する。

(a)では沿岸流は突堤部より離岸流に変わって沖へと流出し、その後突堤の先端を越えて下手側へと流下する。

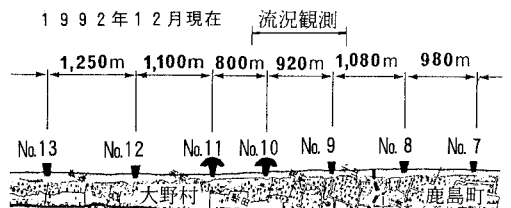
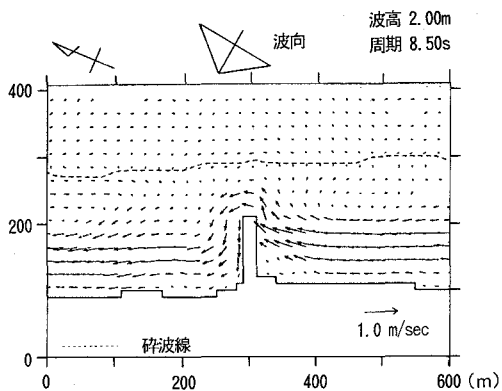
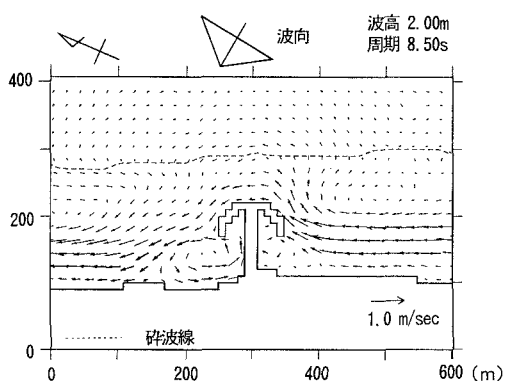


図-1 大野鹿島海岸の位置と海浜流の観測地点

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長
 ** 茨城県土木部河川課
 *** 茨城県潮来土木事務所
 **** 正会員 (株)アイ・エヌ・エー海岸環境部



(a) ヘッド部なし



(b) ヘッド部あり

図-2 ヘッドランド周辺の海浜流の流況の数値計算結果

このような流況では突堤部の上手側には深いリップチャンネルが形成されるとともに、強い流れにより底質が突堤部の沖へ流出してしまうと考えられる。一方、ヘッド部を有する (b) の場合には、ヘッドランドの両翼には1対の循環流が形成される。また沿岸流は緩やかに蛇行してヘッドランドの沖合を流下するが、ヘッド部のすぐ沖合の流速は (a) の場合と比較して低下している。図-2(b) に示す流況より、ヘッドランドの岸側の静穏な海域では堆砂が促進されると考えられる。

2.3 海浜流の観測

2.2節で予測されたヘッドランド周辺の海浜流について現地観測による検証を試みた。海浜流観測は1991年12月17日と1992年12月15日の2回実施した。1991年では南寄り（時計回りの方向）の入射波条件、1992年では北寄りの入射波条件であって、対照的な波浪条件下にあった。ここでは11基の人工岬の工事が進められており、その中でヘッド部を含めて完成した10号堤と、ヘッド部が未完で、10号堤の南920mに位置する9号堤を選んで現地観測を行った。海浜流観測ではフローレッセン

をヘッドランドの基部の汀線付近に注入し、その拡散状況をヘリコプターで30秒間隔で撮影した。また併せてフロート投入も行い、それよりフロートの流跡線も求めた。

図-3, 4には第1回目の1991年12月17日の観測によって得られたフロート軌跡から求めた流速ベクトルを示す。観測時の波浪条件は鹿島港の観測結果によれば波高が約1.0m、周期が約10.0sであった。時計回りの方向からの波の入射のために、ヘッド部のない場合には突堤部の南側側面に沿って強い離岸流が発達し、突堤の北側では向岸流となっている。この状況は図-2に示した数値計算の結果と非常によく対応を示す。一方、図-4に示すヘッド部有る条件では、ヘッド部の背後には1対の

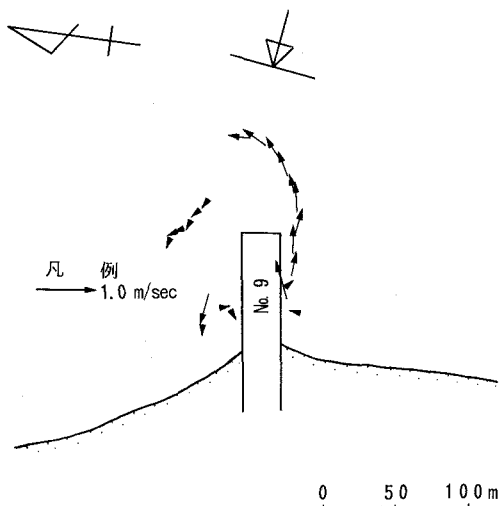


図-3 9号堤周辺の海浜流 (1991年12月17日観測)

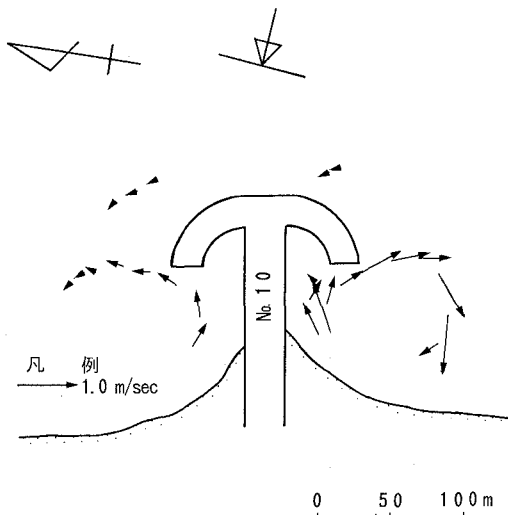


図-4 10号堤周辺の海浜流 (1991年12月17日観測)

大きな循環流が形成された点は数値計算と同様であるが、沿岸流の上手側、つまり南側での循環流の規模が大きい点が数値計算と異なる。数値計算ではヘッド部の形状を階段状に与えたが、このような形状の与え方において遮蔽域が実際より狭められてしまったことが循環流の規模が小さくなった原因の一つと考えられる。さらに、**図-4**ではヘッド部の沖合での流れは非常に弱いこともわかる。

同様に、1992年12月15日の観測による9, 10号堤周辺での染料雲の広がり状況を**図-5, 6**に示す。観測時刻は9号堤が11:04, 10号堤が11:15であり、いずれの場合もヘッドランドの左(北)側より入射する条件であり、入射波高は約1.0m, 周期は約6.0sであった。**図-5**に示すヘッド部のない9号堤では北側側面に沿って非常に強い離岸流が発達した。一方、南側側面では一度緩やかに沖向きに流れたあと、停滞傾向に近づき、また染料の一部は岸方向へも移動している。同じくヘッド部のない場合の流況を表わす**図-3, 5**における海浜流の特徴は、波の入射方向が逆転したことにより流れの方向が変わったものの、特性自体は両者でほぼ一致し、海浜流の計算結果との一致度は良好である。**図-6**に示すヘッド部を有する10号堤では、沖合では明らかに南向きの沿岸流が発達しているにもかかわらず、ヘッドランドの両脇では循環流が生じている。また、ヘッド部沖合直近での流れは弱い。**図-4**に示した前年の観測結果と比較すると、両者はかなりよい対応を示し、沿岸流の上手側の循環流の流速が大きい。この点は、**図-2**に示した計算結果とは逆の傾向である。またいずれもヘッド部の岸側での循環流の強度に比較してヘッド部沖側直近の流速は小さい。ヘッド部は約1/3勾配の斜面であり、波のエネルギーがかなりよく消散されるため、ヘッド部沖での沿岸流の発達に弱められていると考えられる。

以上に述べたように、ヘッドランドではヘッド部を付けることにより突堤部に沿う強い離岸流の抑制を促進することが可能となる。循環流の発達区域は波の静穏域ともほぼ重なること、一方突堤部の側面での離岸流は同時にリップチャネルを発達させることを考えれば、ヘッド部の施工によりその背後域には魚類のち子が生育する上で良好な場所になると考えられる。事実、10号ヘッドランド周辺では汀線付近までチョウセンハマグリの生育が盛んになっている(宇多ほか, 1994)。この点からも単に漂砂制御の上からだけでなく、生態系への配慮から見てもヘッド部の有効性が理解される。

3. ヘッドランドによる海岸線の安定化効果

大野鹿島海岸の人工岬の設置目的は、長い海岸線をいくつかのポケットビーチに分割し、海浜の安定化を図る

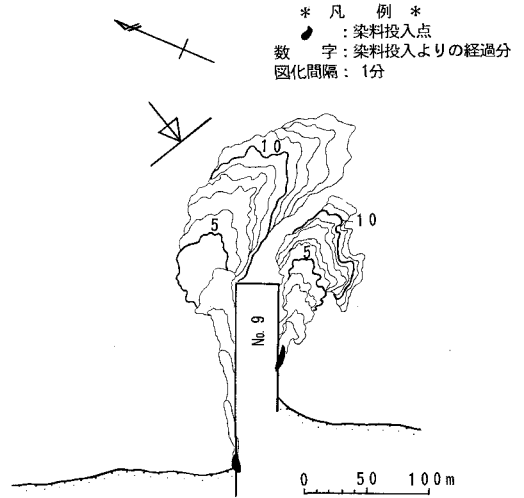


図-5 9号堤周辺の海浜流 (1992年12月15日観測)

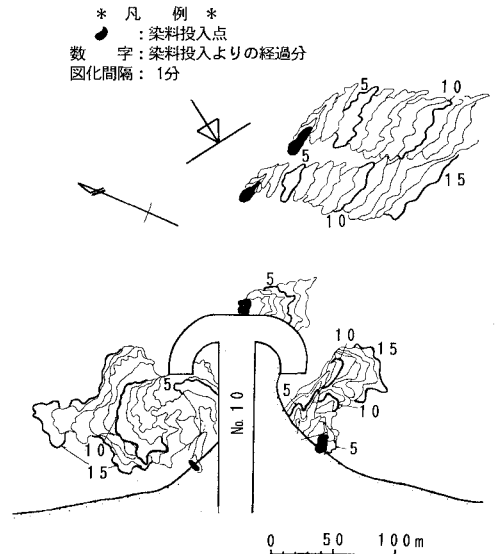


図-6 10号堤周辺の海浜流 (1992年12月15日観測)

ことにある。そこでこの点を汀線比較により調べた。**図-7**には鹿島港の北側の全長約14km区間の汀線変化を示す。図中、細い実線がヘッドランドの建設初期の1986年12月の、そして太い実線は1992年12月の汀線形状であり、ともに空中写真撮影により求められたものである。X=10~13kmの区間では砂浜幅はほとんど0であり、護岸に波が直接作用する状況を呈しているが、ここは波向の季節的変動に伴う南北両方向への漂砂により土砂が流出した区域である。この地区の南側には**図-1**に示したように鹿島港の埋立地の護岸が沖に突出しており、その近傍で波が遮蔽される条件にあるために X=14km

付近では土砂堆積により汀線が大きく前進している。そして1992年では離岸堤による堆砂の助長も併せて、汀線の大幅な前進が見られる。ヘッドランド周辺では6号～8号堤の間ではもともと前浜がほとんどない状態であったから特徴的な汀線変化は見られないが、9号～13号堤の間の汀線形を調べると、ヘッドランドの北側では汀線が後退、南側では前進を示している。図-7において顕著な汀線変化の見られる9号～11号堤を特に選び出し、その間の汀線形をより詳細に調べると図-8となる。ヘッド部を有する10, 11号堤ではトンボロの成長により汀線が大きく前進し、ポケットビーチ化が進んだことがわかる。この海岸では住谷ほか(1988)が示したように、波向が季節的に変動し、夏季には北向きの沿岸漂砂が、また冬季には南向きの漂砂が発達する。それに応じて人工岬間の汀線は変動するものの、海浜の安定化の上で人工岬は効果的である。また、ヘッド部のない9号堤とヘッド部を有する10, 11号堤との比較によれば、ヘッド部によるトンボロ形成が著しいことがよくわかる。

4. 空中写真によるヘッドランド周辺の海浜状況の判読

第2回目の海浜流観測を実施した1992年12月15日

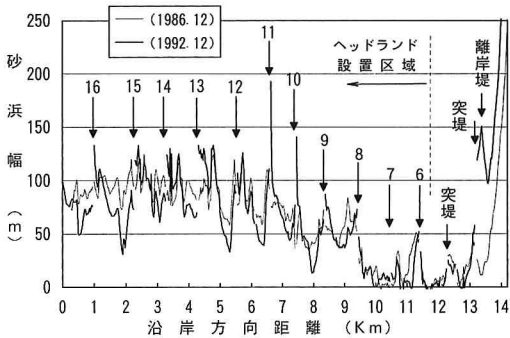


図-7 ヘッドランド群周辺の汀線変化

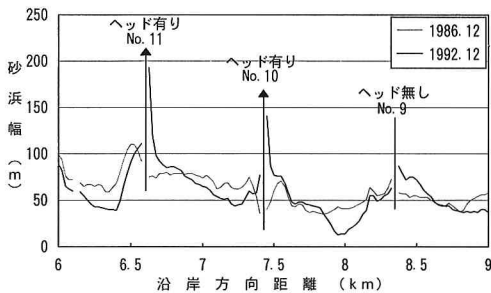


図-8 ヘッドランド9～11号堤周辺の汀線変化

にはヘッドランド間の全域の空中写真撮影を実施した。写真-1, 2にはそれぞれヘッド部のない第12, 13号堤間とヘッド部有の第10, 11号堤区間の海浜状況を示す。写真-1では、12号堤の北側隣接部で前浜幅が最も狭く、北側の13号堤に近接すると前浜幅が広がり、13号堤の南側隣接部では多量の土砂堆積の状況が見てとれる。このことは、この汀線形が全体として南側からの入射波により北向きの沿岸漂砂の卓越により形成されたことを表わしている。そして汀線に沿って一定間隔で並ぶビーチカスプが、12号堤の隣接部を除いて南側ほど顕著である点は、北への土砂移動の結果、南側ほど汀線付近の勾配が急なことを意味している。さらに、波峰線状況を写真より判読すると、現況汀線への法線方向に対し、反時計回りの方向より15°の角度で入射している。このことは写真撮影時には南向きの漂砂が発達していることを意味する。13号堤の南側隣接部の約100m区間では局所的に汀線が後退しているが、これは南向き漂砂により突堤の付け根の土砂が既に削り取られ始めたことを示すと考えられる。

同日撮影の写真-2では、ヘッドランドの効果が非常に明瞭である。ヘッドランド間が弓状となってポケットビーチ化されたことが明らかである。しかもヘッドランド周辺での汀線形は大きく湾曲し、また波のうちあげ帯の幅が狭いことから波高も低いことがわかる。これらは突堤状の構造物に挟まれた汀線状況を示す写真-1と決定的に異なる点である。ヘッドランド間の中央部付近ではわずかにカスプの発達が見られるものの、写真-1のように全域で、しかも著しいカスプの発達をみた点と大きく異なる。なお、写真-2においても、南側からの入射波が卓越していた点は、左右対称形をもつヘッドランドの南側で土砂堆積が著しく、しかもその状況が2組のヘッドランドでまったく同様であることから理解できる。



写真-1 ヘッドランド周辺の汀線形状 (ヘッドなし)



写真-2 ヘッドランド周辺の汀線形状 (ヘッド有)

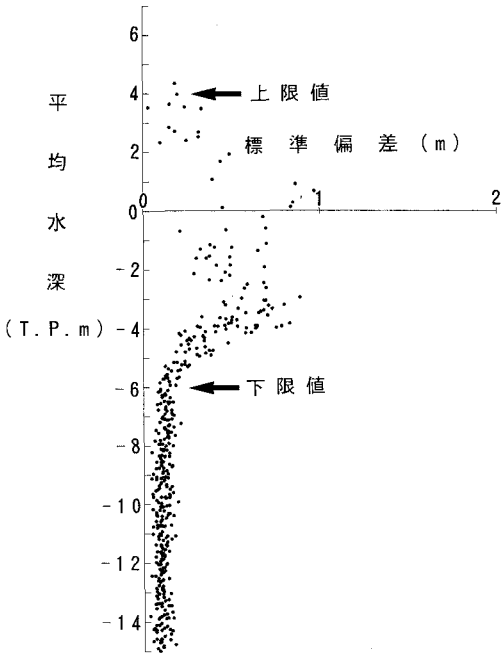


図-9 平均水深からの水深変動量の水深方向分布

5. 波による地形変化の限界水深

ヘッドランドの周辺では毎年1回深淺測量が行われてきている。そこで過去9年10回分のデータより、各測線ごとに平均断面形とそれからの水深変動量の標準偏差の分布を求めると図-9となる。標準偏差は汀線付近で1 mと最も大きく、+3~-6 mの間で分布するが、-6 m以深では測量誤差に起因すると考えられる約0.2 mで一定となる。標準偏差の大きいところは漂砂の活発な範囲を示すことから、この海岸では限界水深が6~7 mにあることがわかる。宇多ほか(1994)は、鹿島南海岸での養浜時の海浜変形データより、沿岸漂砂量の水深方向分布を示した。図-9に示した標準偏差の分布形はそれともよい対応を示すとともに、波による地形変化の限界水深6~7 mもかなりよく一致する。ヘッドランドの先端水深は約3 mにあることから、ヘッドランドは漂砂帯のうち約70%の漂砂を阻止する機能も有すると考えられる。また、図-9で十分水深が大きくても標準偏差がほ

ぼ0.2 mで一定であることは、例えば海域での土砂収支計算を行う場合注意が必要なことを示している。なぜなら、-6 m以深では水深変動量は小さいものの、有限値を示すので、これに乗ずる海域面積が増大すれば海域の変化土砂量はいくらでも大きくなりうるからである。このように海域での土砂収支の計算では常に測量誤差についての配慮が必要であって、生データがそのまま正しいと考えて計算を進めることは誤った結果を与える危険性があることに注意すべきである。

6. 結論

大野鹿島海岸のヘッドランド周辺での海浜流観測と空中写真・深淺測量データの分析の結果次の結論が得られた。

① 大野鹿島海岸の第9, 10号ヘッドランド周辺での2時期の海浜流観測によれば、ヘッド部のない場合には突堤部に沿って非常に強い離岸流が発達するのに対し、ヘッドランドではその両側に循環流が形成されることが波の入射方向が異なる2時期の現地観測と数値計算により確認された。

② ヘッドランド周辺でのこのような流れの発達のために、ヘッドランド背後には非常になだらかなトンボロが形成され、海浜利用上、そして魚介類の生育向上のため非常に有効なことがわかった。

③ ヘッドランド群により海岸線をいくつかに分割してポケットビーチ化を図る手法の有効性が空中写真による汀線比較より確認された。

④ ヘッドランド周辺での深淺測量データの分析によれば、水深変動量の標準偏差が+3 m~-6 mの間で大きく、-6 m以深では非常に小さくなること、そしてこの分布が当海岸で得られた沿岸漂砂量の水深方向分布とよい対応を示すことがわかった。

参考文献

- 宇多高明・斉藤光司・横田喜一郎・大原 茂・川中島洋二(1994): 漂砂移動とチョウセンハマグリが生息域の関係, 海洋開発論文集, Vol. 10, pp. 123-128.
住谷勉夫・園部武正・宇多高明・伊藤 隆・猿田正則・横田喜一郎(1988): 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, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 437-441.