

大野鹿島海岸のヘッドランド周辺の海浜流と 地形変化の現地観測

宇多高明*・斉藤光司**・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の利用される機会も増えている。一般に、ヘッドランドはその間隔を数百m～1kmと長くとり、その間での海浜安定化を目指す。一方、海浜流系のうち、離岸流の間隔は平均で碎波帯幅の約3倍（佐々木，1974）と言われており、碎波帯幅を例えば100mとすると離岸流の間隔は300mとなっており、上述の規模のヘッドランド間にいくつかのセルが含まれることもあり得る。離岸流の発達には海浜地形や海浜利用にも大きく影響するので、離岸流系の発達とヘッドランドの間隔についての検討はヘッドランドの設計上の重要なポイントの一つであろう。筆者ら（宇多ほか，1994）は近年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の現地観測により、海浜流の発達について調べたが、その調査はヘッドランド周辺部に限られており、上記の視点からの検討は行われていない。また、この種の研究はほかにも例が見られない。そこで、本研究では前報と同様に大野鹿島海岸で現地観測を行い、上記の問題点について検討するものである。また、ヘッドランドの群としての海浜安定化効果を調べるとともに、ヘッドランド間で発達する離岸流や沿岸流について、海浜流モデルによる検証を行い、その再現性についても論じる。

2. 現地観測の概要

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に示す鹿島灘沿岸のほぼ中央部、鹿島港の北側に隣接する延長約12.5kmの海岸である。この海岸では堤長約150m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（住谷ら，1988）、1990年には突堤部分（100m）については11基全てが完成した。また、1995年3月現在

では、8～13号堤の6基がヘッド部も含めて完成している。ヘッドランドは図-1に示すように、沿岸方向にほぼ1km間隔で配置されている。

海浜流の観測は、1993年12月7日の14～15時に、10、11号堤を含む沿岸方向に約800mの区間で実施した。ヘッドランドの基部2カ所、ヘッドランド間3カ所および沖合の1カ所に染料（フローレッシンナトリウム）を注入し、染料の移流状況を高度約1000mに停止させたヘリコプターから15s間隔で撮影した。また、10～11号堤の区間について、測線間隔約80m、測線数11本、岸沖距離約500mの深淺測量を実施した。なお、悪天候のため、深淺測量は海浜流調査より9日後となった。

海浜流観測時の波向は極端な南寄り入射であり、このことは今回の観測結果に強く反映し、北向きの強い沿岸流の卓越をもたらした。

3. 海浜流の観測結果

前報では1991年と1992年の海浜流の観測結果に基づいて個々のヘッドランド周辺の流況に注目した。ここではより広域の流況に注目する。そこで、前報で報告した1992年の観測結果のうち10、11号堤をカバーする範囲

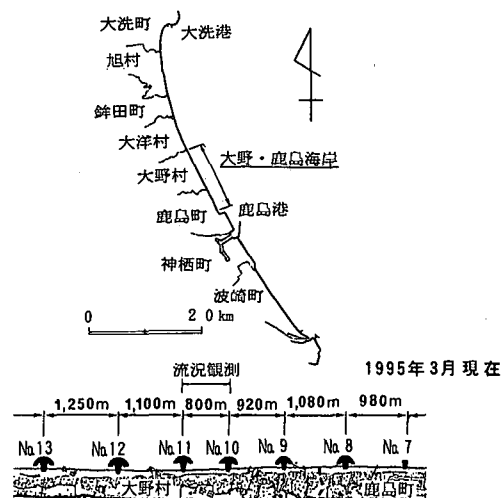


図-1 大野鹿島海岸の位置と海浜流の観測地点

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

の流況をまとめて図-2に示す。この観測は1992年12月15日に行われ、 $H_{1/3}$ は1.3m、 $T_{1/3}$ は9.1sであり、海岸線に対し反時計回りに約15°の方向(北側)より波が入射する条件であった。この波向のため南向きの沿岸流が発達しており、10号堤の北側近傍では循環流が形成されている。一方、11号堤では、北側のヘッド部を越え、斜め沖方向へと流出する離岸流が発生している。さらに、10、11号堤の中間部では離岸流が発生している。離岸流の位置は11号堤の南約500mで、ヘッドランド間の中央よりやや南側である。ここで波による岸向きの質量フラックスを考えたとき、11号堤～離岸流位置の間における岸向きフラックスは中央部の離岸流により沖へ戻る。これに対し離岸流位置～10号堤間の沿岸距離は短いためにフラックスも小さく、したがって10号堤の北側近傍での離岸流の強度が相対的に小さくなったと考えられる。

次に、図-3に1993年12月7日の流況を示す。波浪条件は、 $H_{1/3}$ が1.6m、 $T_{1/3}$ が7.6sである。入射方向は1992年の観測の場合と逆転し、南側からとなった。このため全体として北向きの沿岸流が発達し、1992年12月の観測結果と対称的な特性を示している。10号堤の北側近傍では反時計回りの循環流が発生している。そのすぐ北側からは北向きの沿岸流が発達し、11号堤の南約300m地点より斜め沖(ほぼNE)方向へ向いた離岸流に変わる。一方、沿岸流の下手側に位置する11号堤の南側近傍では時計回りの循環流が生じ、その一部はヘッド部を越え、南側から流出する離岸流と合流している。さらに、汀線より約400m沖では南向きの弱い流れとなっており、砕波帯の沖合も含めるとヘッドランド間で大規模な時計回りの循環流系が生じていることになる。図-3には9日後の深浅図も示す。ヘッドランド基部の両側の砂浜幅を比較すると、南側が明らかに広い。このことは深浅測量の実施日まで北向きの沿岸流が発達していた可能性が大きいことを示している。

図-4に流速分布を示す。流速は、撮影時間毎に図-3に示した流軸上の長さを時間で除して求めた。北向き沿岸流の最大流速は0.85m/sであり、ヘッドランド間の中央付近で生じている。北東向きの離岸流の最大流速は0.67m/sとなっている。

4. ヘッドランド周辺の地形変化

4.1 汀線変化

1992年までの汀線変化については前報で述べたが、1993年12月測定の前報を加えて砂浜幅の沿岸分布をまとめると図-5となる。右(南)端は鹿島港であり、そこから北側14kmの位置を沿岸距離の基点としている。

$x=9.5\text{ km} \sim 13\text{ km}$ の間は1986年以前に既に激しく

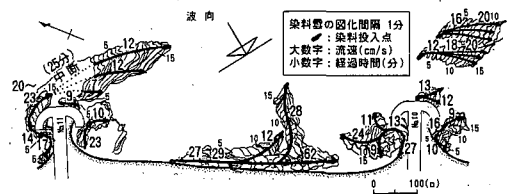


図-2 10、11号堤間における染料の移流状況 (1992年12月15日)

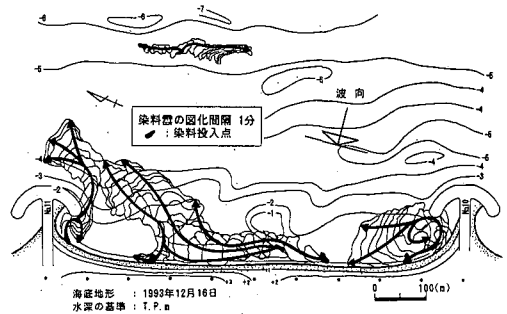


図-3 10、11号堤間における染料の移流状況 (1993年12月7日)

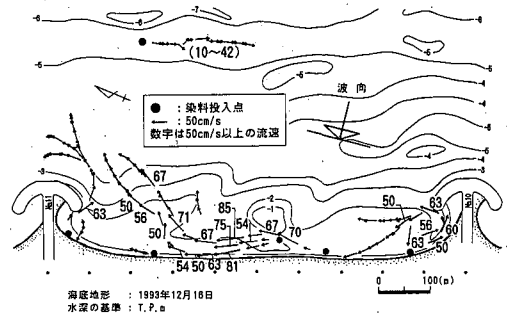


図-4 海浜流の流速ベクトル (1993年12月7日)

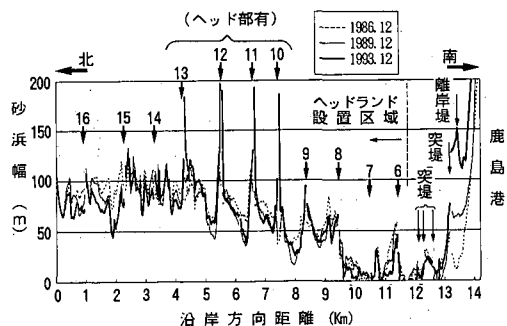


図-5 大野鹿島海岸全域における砂浜幅の変化 (1986年～1993年)

侵食していた(住谷ら, 1988)ため, 砂浜幅 10 m 以下の所が多い。逆にこの南側では経年的に汀線が前進している。この理由は, 南端には冲向きに約 250 m の長さを有する鹿島港の埋立護岸が伸びており, それによる波の遮蔽域へと $x=9.5\text{ km}\sim 13\text{ km}$ 区間の土砂の一部が流出したためである。同時に 11, 12 号堤の汀線形状が南北非対称であってヘッドランドの北側隣接部で汀線の後退量が大きいことから判断して一部の土砂は北側へも流出し, この結果 $x=9.5\text{ km}\sim 13\text{ km}$ では護岸前面に前浜がほとんどない状況になったことがわかる。

ヘッドランド近傍の汀線変化を図-6 に示す。各ヘッドランド間では, 南側で汀線が後退し, 砂浜幅が狭く, 北側で砂浜幅が広い。全体として階段状の汀線が形成されヘッドランドの漂砂阻止効果が明瞭に表れている。

住谷ら (1988) は, 大野鹿島海岸においては波向の季節変動に応じてサイクリックなモードの汀線変化が生じていることを明らかにした。具体的には夏季には南東方向からの入射波によりヘッドランドの北側直近が削られ, 南側で堆砂が生じる。そして冬季はこの逆となる。住谷らが調査した当時, ヘッドランドは建設開始間もなくであったため, その形状は突堤状であった。その後 11 号堤ではヘッド部が完成している。そこで改めて同様な調査を行った。11 号堤を中心に南北両側にそれぞれ 100 m, 200 m および 300 m 離れた測線 (以下, S1~S3, N1~N3 と略記) における 1986 年~1993 年の砂浜幅の変化を図-7 に示す。測量は毎年 12 月の同一時期に行われている。そこで 1986 年時点の砂浜幅を基準とし, それからの変化量を整理した。また図中には各年度のヘッドランドの長さやヘッド部の完成時期も示した。図によると, まず南側の S1~S3 は同位相で変化し, しかもヘッドランドに近い測線 S1 で砂浜幅が増加, S2 ではほぼ中立, そして S3 では減少する傾向を有している。一方, 北側の N2 および N3 では南側の測線と逆モードの変化が表れている。しかし, ヘッドランドの北側直近の凹んだ位置にある N1 での砂浜幅の変化は N2, N3 とやや

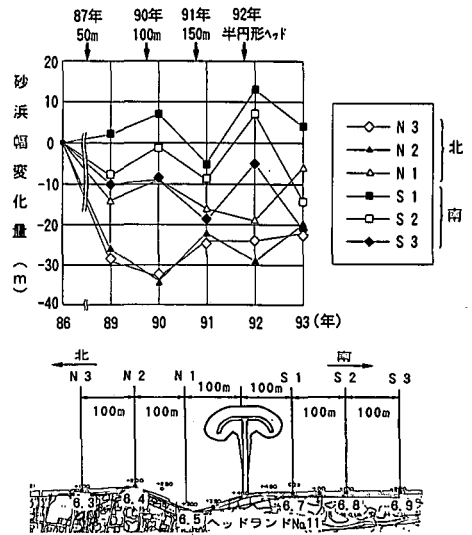


図-7 ヘッドランド 11 号堤周辺において観測されたサイクリックモードの汀線変化

異なる変動を示す。ヘッドランドの長さが 100 m 以下と短かった 1989 年までは全体に侵食傾向にあった。しかしその後はヘッドランドの南北でサイクリックなモードの変化が生じ, これにヘッド部の建設に伴う堆砂効果が重なっていることがわかる。

4.2 ヘッドランドの堆砂効果

堆砂効果については 25 m 間隔で配置された測線の深浅測量により調べられている。図-8 に 10 号堤北側の代表測線の位置とこれらの測線における 1987 年~1993 年の 5 時期の断面変化を示す。ヘッドランドより北側に約 100 m 離れた測線 CN 100 では前浜勾配約 1/8 で急に深くなり, 離岸距離 100~300 m の間にバー・トラフが著しい発達をみているが, ヘッド部が完成した 1992 年以降, 沖合のバー・トラフの発達是小さくなっている。ここよりさらに 50 m ヘッドランドに接近した CN 50 ではヘッド部による波の遮蔽効果により汀線付近で堆砂している。そしてヘッドランドの北側直近の CN 0 では大量の土砂が堆積し舌状砂州が形成され, 100 m 付近での堆砂厚は約 3 m に達している。また, ヘッド部の沖合でも局所洗掘等は見られず, 海底勾配約 1/100 のなだらかな海底面となっている。以上のように, 10 号堤周辺ではヘッド部による波の遮蔽効果により堆砂が著しいことがわかる。

4.3 水深変動量の水深方向分布

宇多ら (1994) は大野鹿島海岸のヘッドランド周辺での深浅データをもとに, 平均水深からの水深変動量の水深方向分布を求めた。本研究ではその後の深浅測量データをも加えて, 10, 11 号堤の間の範囲における 1987 年~1993 年のデータをもとに同様な整理を行った。結果を

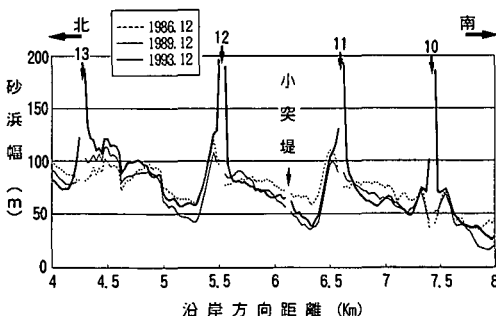


図-6 ヘッドランド周辺の砂浜幅の変化

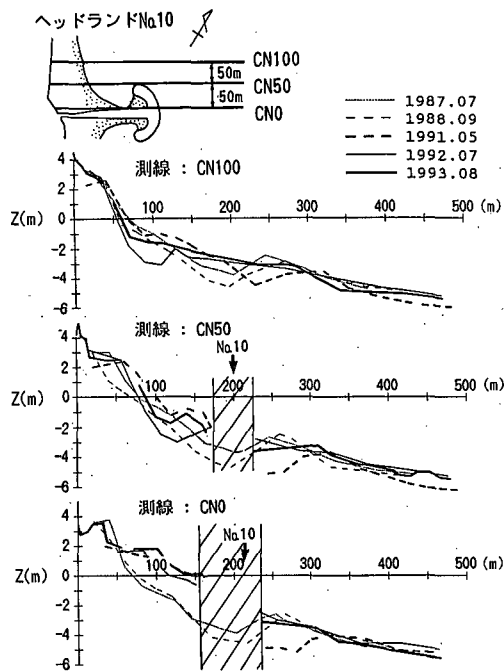


図-8 10号堤周辺における代表3測線の海浜断面形の変化

図-9に示す。データはかなりばらつくが、前報と同様、有意な地形変化は-6mより+3mの間で生じている。また、変動量のピークは汀線付近と-3m付近の2カ所にある。-3m付近のピークはバー・トラフの変動に起因するものである。標準偏差の水深方向分布は、波による著しい地形変化の範囲を示し、ヘッドランドの先端は水深約3mであるから、この著しい地形変化の範囲をほぼ包含する位置にある。この意味より当地のヘッドランドはその効果が発揮される限界位置にあると言える。

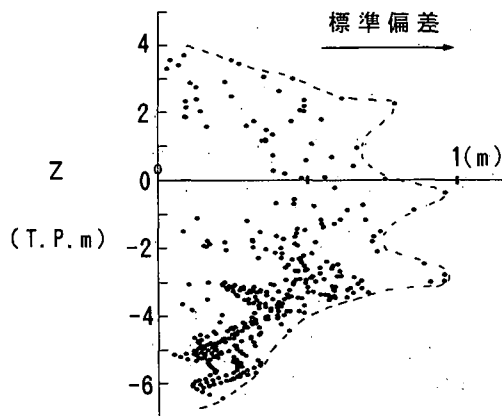


図-9 水深変動量の水深方向分布

5. 海浜流の数値計算

5.1 検証データと計算条件の設定

まず、波向については図-10に示すSt. 1~St. 3の代表点における波峰線を空中写真より読み取った結果、表-1に示すとおりとなった。なお、波向は沿岸方向軸に対して反時計回りを正としている。表-1はわずか約10分間の波向を示すが、その変動幅を見るとかなりの幅がある。St. 1, 3はヘッドランドに近く、その影響を受け易いので、中央部に位置し、時間変動も小さいSt. 2の波向を検証の目安とした。

次に、海底地形データは1993年12月16日の深浅測量結果を1991年5月の測量結果を用いて補い、範囲を広げて作成した(地形1:図-10)。また、先述したように地形が変化していると考えられるため、平滑化した地形(地形2:図-11)についても検討するものとした。

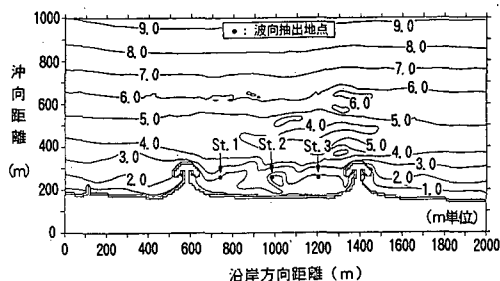


図-10 海浜流計算のための深浅図と波向の読み取り地点

表-1 空中写真より読み取った代表点における波向

観測開始後の経過時間	St.1 (度)	St.2 (度)	St.3 (度)
5 m 30 s	-19.0	-14.5	-11.5
9 m 45 s	-10.1	-11.0	-4.0
11 m 45 s	-9.0	-11.5	4.0
15 m 15 s	-16.5	-16.0	-9.0
平均	-13.7	-13.3	-5.1

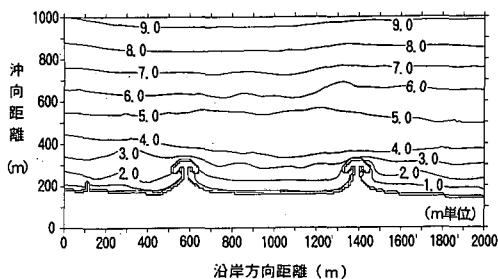


図-11 海浜流計算のための平滑化された深浅図

表-2 海浜流の計算条件

項 目	条 件
計 算 範 囲	沿岸 2,000 m × 岸沖 1,000 m
格 子 間 隔	$\Delta x = \Delta y = 10$ m
初 期 地 形	1993年12月測量結果 (地形1) 地形1を平滑化した地形 (地形2)
構 造 物	現況 (ヘッドランド No. 10, No. 11)
波	波高, 周期は1993年12月7日14時の鹿島港における観測結果を採用 ($H_{1/3}$, $T_{1/3}$) 波向は計算ケースにより試行的に変更
潮 位	T. P. + 0.806 m
計 算 期 間	1 日
不規則波計算	周波数分割数 : 5 方向分割数 : 11 方向集中パラメータ (S_{max}) : 25 側方境界条件 : 開境界
海 浜 流 計 算	海底摩擦係数 : $C_f = 0.01$ 水平渦動粘性係数 : $A_t = 25$ m ² /s 時間間隔 : $\Delta t = 0.5$ s 計算ステップ数 : 1000 ステップ 側方境界条件 : 開境界

計算範囲等の条件を表-2に示す。波高・周期については、1993年12月7日午後2時における鹿島港の観測データを採用し、 $H_{1/3} : 1.57$ m, $T_{1/3} : 7.6$ sとした。

5.2 計算結果

波向を再現すべく、試行的に条件を変更して行った結果、計算ケースは表-3に示す8ケースとなった。このうちケース7、8で用いた入射波向 -25° による計算結果 (ケース7: -13.6° , ケース8: -12.8°) が、実測値 (-13.2°) に近く、このときの入射波向 -25° が最適値と判断された。このケース7と観測結果の流況を比較したのが図-12である。これによると、10号堤下手の循環流、11号堤の離岸流、及び沿岸距離900 m付近における離岸流等の現地観測の流況特性が概ね再現されており、平滑化された海底地形条件とすれば流況の再現性はかなりよい。一方、平滑化を行っていない地形1を用いた計算ではヘッドランド間の中央部にある浅瀬上で非常に強い向岸流が発生し、実測値と大きく異なった。

6. 結 論

本研究の主要な結論は以下のようである。

① 1992年、1993年の海浜流観測により、波の入射方向がそれぞれ北寄り、南寄りの条件下におけるヘッドランド10、11号堤を含む約800 mという広域の海浜流場を明らかにすることができた。そして各ヘッドランドの隣接部では循環流が生じるとともに発生した沿岸流が中央部において離岸流に変わり、岸向きの質量フラックス

表-3 入力波浪条件と波向の計算結果

ケース No.	地 形 デー タ	入 力 波 浪 条 件				St1. (度)	St2. (度)	St3. (度)
		波 高	周 期	波 向	潮 位			
1	地形1	1.57	7.6	-14.5°	0.806	-1.4°	2.0°	-7.4°
2	〃	〃	〃	-20.0°	〃	-5.1°	-2.1°	-9.5°
3	〃	〃	〃	-35.0°	〃	-11.6°	-8.2°	-14.3°
4	〃	〃	〃	-40.0°	〃	-13.7°	-9.5°	-16.2°
5	地形2	〃	〃	-20.0°	〃	-11.6°	-11.4°	-10.5°
6	〃	〃	〃	-30.0°	〃	-15.8°	-16.6°	-15.4°
7	〃	〃	〃	-25.0°	〃	-13.4°	-13.6°	-12.8°
8	〃	2.39	〃	-25.0°	〃	-12.6°	-12.8°	-11.7°

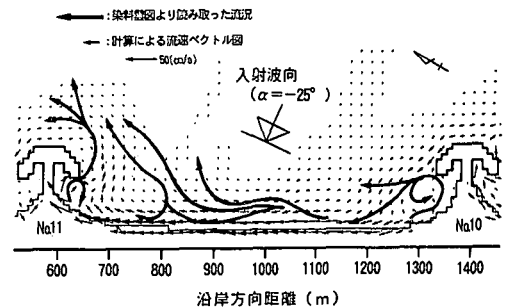


図-12 実測と計算による海浜流の流況比較

が沖向きに流出することがわかった。

② 空中写真撮影より、広域の汀線変化を調べた。ヘッドランド群周辺の汀線は全体として階段状となって安定化していること、またそれに波向の季節変動に起因する汀線変化が重合していることがわかった。

③ ヘッドランド周辺での深浅測量結果より、ヘッドランドの背後では厚さ約3 mの堆砂が生じ、安定的なトンボロが形成されたこと、またヘッド部の沖合では建設前のバー・トラフ地形が勾配約1/100の緩やかな海底地形に変化したことがわかった。

④ 海浜流の数値モデルによる再現計算によれば、平滑化した海底地形条件のもとで観測された海浜流分布と計算結果とがかなりよい対応を示した。

参 考 文 献

- 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 (1994): 大野鹿島海岸のヘッドランド周辺の海浜流の観測, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 576-580.
- 佐々木良雄 (1974): 海浜流系の構造に関する野外研究, 東京大学学位論文, 320 p.
- 住谷迪夫・関部武正・宇田高明・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.