

長大な海岸線における漂砂制御

建設省土木研究所河川部長

宇 多 高 明

土 木 学 会
海岸工学委員会・水理委員会
2000 年 8 月

長大な海岸線における漂砂制御

Stabilization of Long Coastline by Headland System

宇多高明

Takaaki Uda

目 次

1. まえがき	1
2. ヘッドランドによる長大な海岸線の安定化の原理	2
3. 対称型ヘッドランドの建設 - 大野鹿島海岸の例	4
3.1 大野鹿島海岸におけるヘッドランドの建設	4
3.2 大野鹿島海岸におけるヘッドランド建設後の地形変化	8
4. 非対称型ヘッドランド群の建設 - 清水海岸の例	11
4.1 清水海岸の概要	11
4.2 海浜地形変化	12
4.3 海浜縦断形の変化	14
5. ヘッドランドの計画上の留意事項	16
5.1 ヘッドランドによる静的安定海浜の形成の可否	16
5.2 前浜が狭い海岸におけるヘッドランド建設の影響とその対策	16
5.3 防波堤等の各種利用施設も含む海岸線全体での安定化	18
5.4 ヘッドランド計画における合意形成	19
6. あとがき	19
参考文献	20

1. まえがき

近年、わが国では全国各地で海岸侵食が進み、自然海浜が急速な勢いで減少してきている。海岸侵食の主な機構は、①防波堤などの人工構造物による卓越沿岸漂砂の阻止、②沖合での大規模構造物の建設に伴って生じる波の遮蔽域外から遮蔽域内への沿岸漂砂移動により、構造物隣接海岸から砂が運び去られるもの、さらには③河川や海食崖からの供給土砂量が減少し、それを前提として成立してきた海岸（例えば河口デルタ海岸など）で侵食が進むもの、などに分かれる¹⁾。いずれにしても沿岸方向に土砂が運び去られることが海岸侵食の主な要因になっており、それらの事例は全国に数え切れないほどある¹⁾。こうした状況下において、侵食軽減のための方策が求められている。

侵食問題の根本的解決には、侵食原因を除去することが必要とされる。しかし実際には、各地の海岸で様々な目的のために建設されてきた人工構造物を撤去し、それらの構造物の建設以前に存在した自然の砂の流れを回復することは不可能である。また、旧海岸法では施設対応が求められたために、各種施設によって漂砂の制御を行い、海浜を安定化する方法が用いられてきた。それらの工法の一つにヘッドランド工法がある。ここでは、各種漂砂制御工法のうち、長大な海岸線の安定化のためのヘッドランド工法の有効性と限界について、太平洋に面した大野鹿島海岸と清水海岸での事例を引きつつ紹介する。

2. ヘッドランドによる長大な海岸線の安定化の原理

ヘッドランド工法は、海岸線と直角方向に不透透構造物群を伸ばすことによって、長い海岸線をいくつかのポケットビーチに分割し、海岸線の向きを波の入射方向とほぼ直角にして沿岸漂砂量を減少させ、これによって海浜を安定化させることを目的とした工法である。この工法は、ヘッド部の形態によって非対称型と対称型に分かれる²⁾。

図-1は、非対称型ヘッドランドにより静的安定海浜を創出する場合の概念図である。卓越入射波が平均的海岸線に対して大きく斜め入射する場合に適用される工法である。ヘッドランドの下手側にはフック状の海岸線が形成される。このタイプは、島や岬の背後に安定な湾入地形が形成されていることからの類推³⁾により考案されたものであり、ヘッド部は離岸堤として造ることもできる。土屋⁴⁾によれば、岬の間隔 (b) と湾入距離 (a) の関係は、図-2における $\beta_0/\theta_0=1$ で示される。

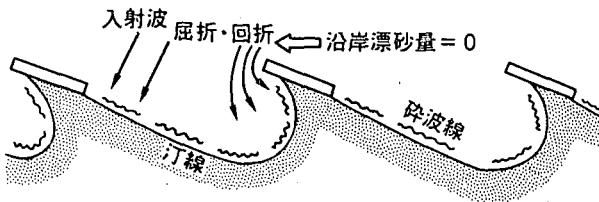


図-1 非対称型ヘッドランドによる安定海浜の形成²⁾

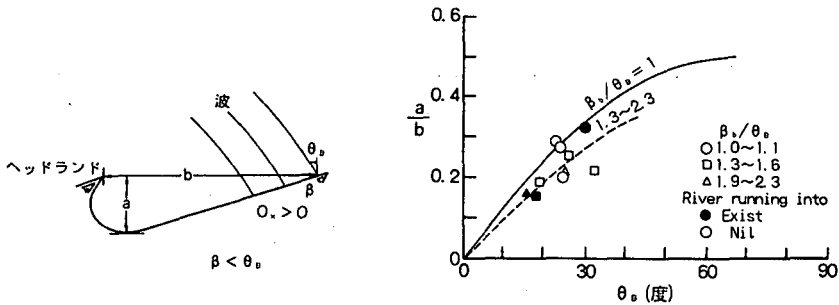


図-2 安定海浜の形状特性²⁾

一方、対称型ヘッドランドは、図-3に示すように左右対称形を有し、沿岸漂砂の方向が季節的に大きく変動する場合に適用される。岬状に突き出たヘッドランドが新しい境界条件となって沿岸漂砂移動を抑制し、海岸線のポケットビーチ化を進める。

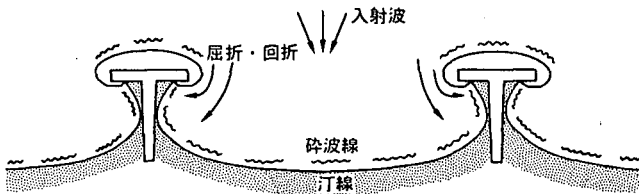


図-3 対称型ヘッドランドによる安定海浜の形成²⁾

図-4、5に示すように、ヘッドランドの配置を定める主要な諸元は、設置水深（ヘッド部冲向距離）およびヘッド間距離である。海浜の安定化においては、設置水深が最も重要な要素となる。海浜の静的安定化を目的とする場合、ヘッドランドの先端水深とその海岸における波による地形変化の限界水深¹⁾ (h_c) との相対関係が重要である。先端水深が h_c より浅ければヘッドランドの先端を回り込んで沿岸漂砂が下手側に流出するために、静的安定海浜は形成できない。一般に、外洋・外海に面した海岸での h_c は、約10mはある¹⁾ので、このような海岸では実際上 h_c より先端水深を大きくすることは経済性から見て困難な場合が多く、その場合には静的安定海浜の形成はできず、養浜と併せて動的安定海浜化を図らなければならない。

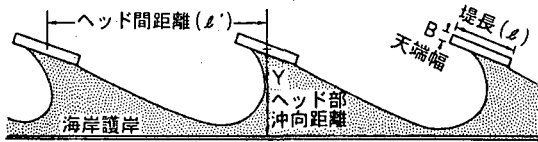


図-4 非対称型ヘッドランドの主な諸元²⁾

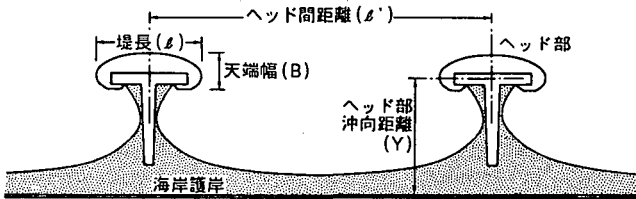


図-5 対称型ヘッドランドの主な諸元²⁾

ヘッド間距離は、堤長と共に形成される安定海浜の汀線形状を決定する上で重要な諸元である。特に、防災面においては、海岸線の最湾入部において高潮対策上必要な最小の砂浜幅を確保する必要がある。非対称型人工岬の場合には、土屋⁴⁾の示した図-2またはHsu・Evans⁵⁾の式(1)により、ヘッド間距離と安定海浜の汀線形状との関係を検討することができる(図-6、7参照)。

$$R/R_0 = C_0 + C_1(\beta/\theta) + C_2(\beta/\theta)^2 \dots\dots\dots (1)$$

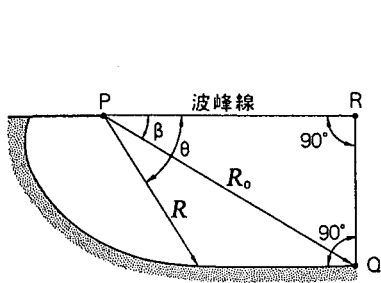


図-6 Hsuによる安定海浜形状計算のための模式図²⁾

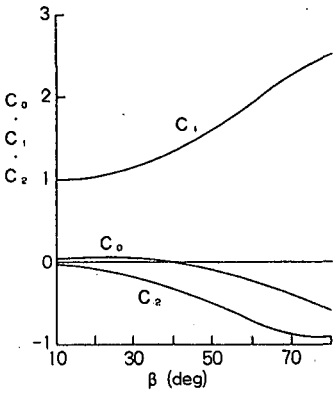


図-7 C_0 、 C_1 、 C_2 と β の関係²⁾

ここに、 $R_0=PQ$ 、 $\beta=\angle RPQ$ であり、係数 C_0 、 C_1 、 C_2 は β に依存する係数である。ただし、式(1)で安定海岸線形状を算定する場合、式(1)自体は土砂収支を満足していないので、実際には侵食域と堆積域の土砂量が常に等しいという条件を取り込む必要がある⁶⁾。対称型ヘッドランドのヘッド間距離と長さの関係は基本的に突堤の場合と同一で、図-8のようにまとめられる。ヘッド間距離を l' 、ヘッドランドの長さを l 、卓越波の入射角を θ 、旧汀線と護岸との距離を B としたとき、

$$B - (l' - l) / 2 \cdot \tan \theta \geq B_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

を満足しなければならない。ここに、 B_0 は余裕汀線幅であり、堤防や護岸からの越波防止やそれらの安定性確保のため、20m程度は必要である。また、ヘッドランドの長さはその先端を越えた沿岸漂砂の流出を防止するために $(l' - l) / 2 \cdot \tan \theta$ より十分長くなければならない。

ヘッドランドはその設計の原理として、長い自然海浜をできるだけ自然の姿のままで残し、波の作用によって砂が自由に移動することができるという原理に基づいている。多くの太平洋の海岸では、波の入射方向が季節的に変動し、沿岸漂砂の方向がサイクリックに反転するが、そのような変動をヘッドランド群で抑制するものの、ヘッドランド群の間の海浜はできる限り自然海浜のまま存置しようとする考え方である。これは海岸線に沿って護岸などを連続的に建設して波浪災害から守るというのではなく、「砂浜」を天然の消波施設と見なすという点において新海岸法の理念にも合致している。

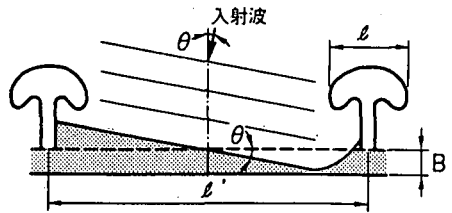


図-8 対称型ヘッドランド間の汀線形状と波向の関係²⁾

3. 対称型ヘッドランドの建設 - 大野鹿島海岸の例

3.1 大野鹿島海岸におけるヘッドランドの建設

大野鹿島海岸は、図-9に示すように鹿島灘海岸のほぼ中央部、鹿島港の北側に位置する。この海岸でも近年海岸侵食が進んできた。図-10は、大洗港から鹿島港までの区域における汀線変化、前浜構成材料の中央粒径および前浜勾配の沿岸方向分布をまとめたものである。横軸は大洗港を基点とした沿岸距離であって1984年10月を基準とした1985、1987年までの汀線変化、前浜材料の中央粒径および前浜勾配を示す。図示するように沿岸距離25～39kmに位置する大野鹿島海岸ではこの当時汀線の後退が進み、前浜構成材料が粗粒化し、かつ前浜勾配が急になっていた。このような侵食を防止し、海浜を安定化するためにヘッドランド工法が採用された。

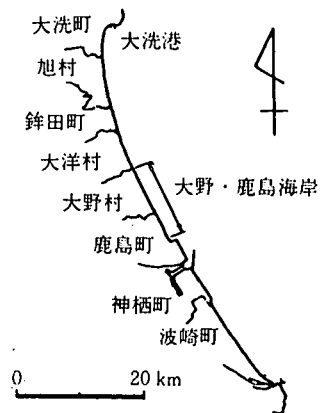


図-9 茨城県大野鹿島海岸の位置⁷⁾

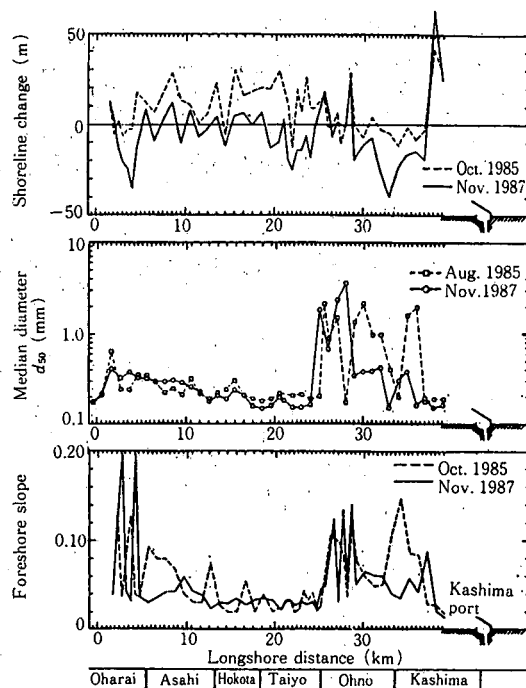


図-10 鹿島灘沿岸の汀線変化量，前浜砂の中央粒径および前浜勾配の沿岸分布⁷⁾

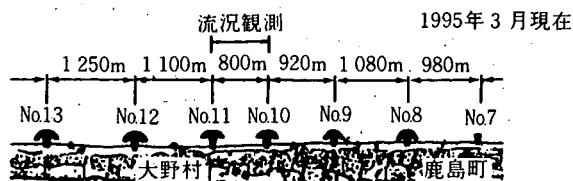


図-11 大野鹿島海岸のヘッドランドの配置⁷⁾

ヘッドランドは、汀線後退量が約30m以下となることを条件として約1km間隔で建設される計画が採用された。図-11には建設開始当初におけるヘッドランドの配置を示す。ヘッドランドは堤長が約150mで、1984年から11基の工事が進められ⁷⁾、1990年に11基全てについて突堤部分100mが完成した。また1995年3月には8～13号堤がヘッド部を含めて完成している。以下では、まずヘッドランドが長さ80mの突堤状に伸ばされた段階で行われた観測の結果について述べる。

図-12には、ヘッドランド周辺の1986年9月8日～1988年1月7日の汀線変化を1～7号堤の位置(最下段)とあわせて示す。9月8日～10月28日では、当時すでに建設されていた1, 4号堤の北側部を除くほぼ全域で汀線が大きく後退している。この理由は、10月9日に有義波高5mを超える高波が来襲し、これにより沖向き漂砂が生じたためである。また、1, 4号堤の北側直近で汀線が局所的に前進したのは、汀線への法線に対し反時計回りの方向から波が入射したことにより南向きの沿岸漂砂が生じ、それがヘッドランドにより阻止されたためと考えられる。12月24日～1月17日の間では、とくに3, 4, 7号堤の周辺で明らかのように、ヘッドランドの南側で汀線が後退し、北側では前進している。これは当海岸で卓越するNE-ENE方向の入射波が汀線への法線に対して反時計回りの方向からの入射となったため

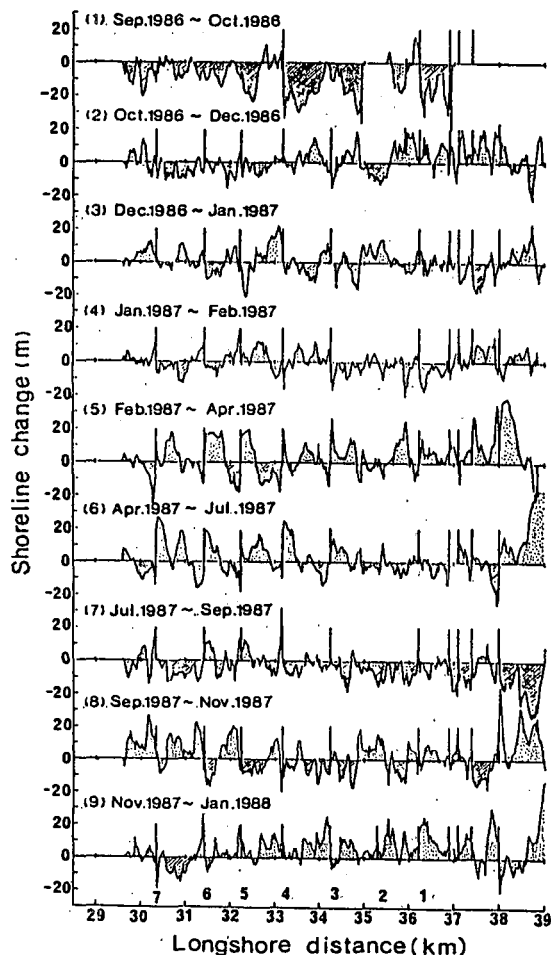


図-12 空中写真による汀線変化比較 (1986年9月～1988年1月)⁷⁾

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日ではこれと全く逆の変化が生じた。すなわち、各構造物の南(右)側で汀線が大きく前進し、北側では後退している。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いたことが分かる。

以下では、7号堤周辺の海岸形状の変化を空中写真により調べてみる。空中写真は1987年1月17日から9月12日までの間に5回撮影された。写真-1は1987年1月17日の状況である。この当時の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、碎波帯幅は狭いことが分かる。ヘッドランド左右の汀線形状を比較すると、右(南)側の汀線は左(北)側の汀線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ことを表している。写真-2に示す2月13日になると波浪条件は一変し、碎波帯幅は非常に広くなり、

写真全域が砕波帯内に入った。また、ヘッドランドを境に南側の汀線は北側と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、波の入射方向がヘッドランドの法線に対して反時計回りの方向からであったことを表している。その後2ヶ月が経過すると、写真-3に示すようにヘッドランドの南北での汀線はほぼ対称形となり、写真-2で顕著であったヘッドランド南側での汀線の後退傾向は解消された。これはこの2ヶ月間に波の入射方向がヘッドランドの法線に対して時計回りの方向へと変化したことを表している。写真-4に示す1987年7月23日では、汀線形状には著しい変化が現れ、ヘッドランドの南側で汀線が大きく前進し、北側では後退し、写真-2に示した2月13日の状況と特性が逆転した。この時には、ヘッドランド沖において時計回りの方向から入射するうねりを明瞭に観察できる。最後に、写真-5には9月12日の状況を示す。写真上方の全域が砕波帯内に入り、高波浪が続いている。また、

ヘッドランド沖では波は海岸線の法線方向と約 12° をなして時計回りの方向から入射しており、ヘッドランドの先端は砕波帯内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に、ヘッドランドの南側では汀線が前進し、北側では後退することになった。以上のように、大野鹿島海岸では波の入射方向が1年間で周期的に変わるために、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から、対称型ヘッドランドが選択された。

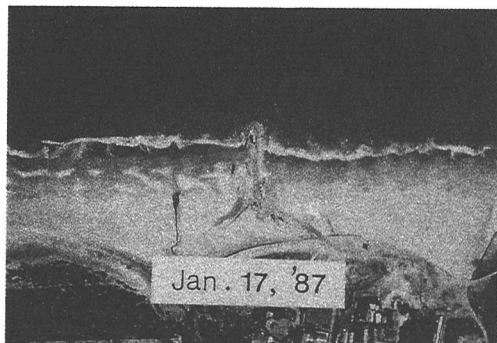


写真-1 No.7号堤の空中写真(1987年1月17日)¹⁾

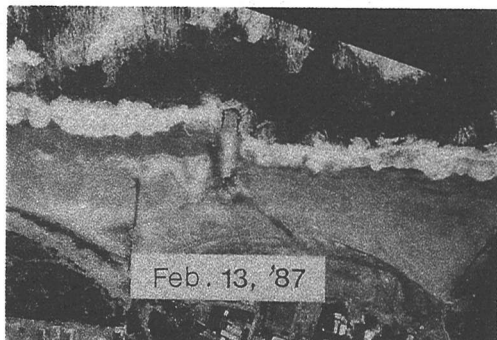


写真-2 No.7号堤の空中写真(1987年2月13日)¹⁾



写真-4 No.7号堤の空中写真(1987年7月23日)¹⁾



写真-3 No.7号堤の空中写真(1987年4月13日)¹⁾



写真-5 No.7号堤の空中写真(1987年9月12日)¹⁾

3.2 大野鹿島海岸におけるヘッドランド建設後の地形変化⁸⁾

(a) 汀線変化

ヘッドランドの建設後、1993年12月までの砂浜幅の沿岸分布をまとめると図-13となる。右（南）端は鹿島港であり、それより北14kmの位置を沿岸距離の基点としている。これによると、9.5～13km間は1986年以前にすでに激しく侵食されていた⁷⁾ため、砂浜幅10m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、南端には沖向きに約250m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9.5～13km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9.5～13km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分かる。

ヘッドランド近傍の汀線変化を図-14に示す。各ヘッドランド間では、南側で汀線が後退して砂浜幅が狭く、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現れている。

前節では、大野鹿島海岸において波向の季節変動に応じてサイクリックモードの汀線変化が生じていることを明らかにした。11号堤の完成後改めて調査を行ったところ、同様な特徴が観察された。11号

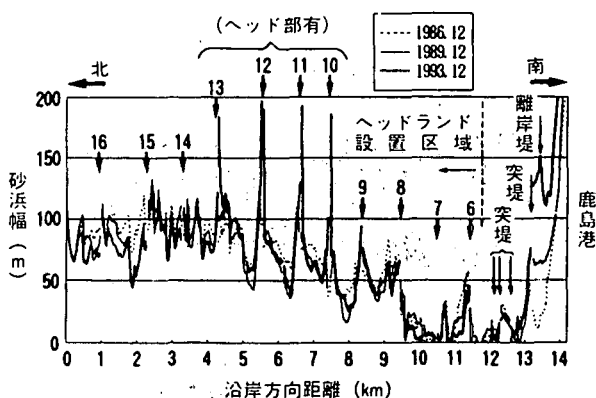


図-13 大野鹿島海岸全域における砂浜幅の変化 (1986～1993年)^{1) 8)}

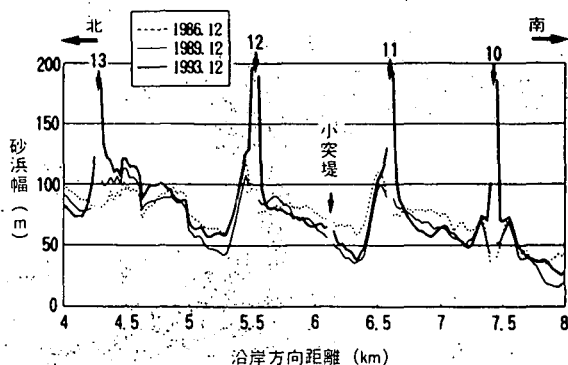


図-14 ヘッドランド周辺の砂浜幅の変化^{1) 8)}

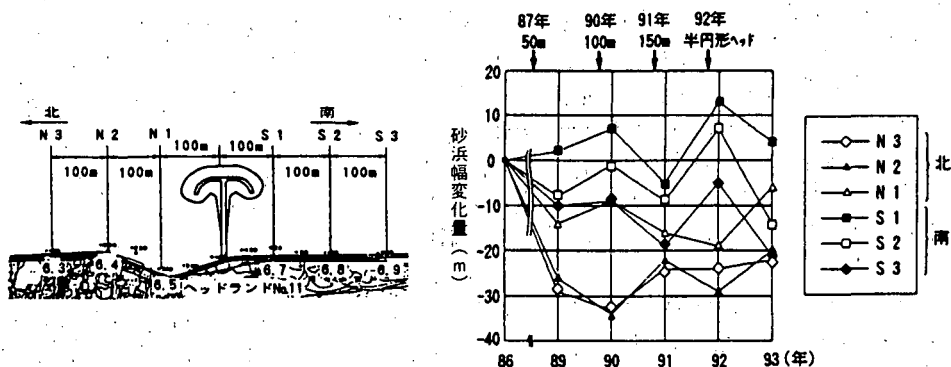


図-15 ヘッドランド 11 号堤周辺において観測された周期的汀線変化 ^{1) 8)}

堤を中心に南北両側にそれぞれ100, 200, 300m離れた測線（以下S1～S3, N1～N3と略記）における1986～1993年の砂浜幅の変化を図-15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算出した。また図中には各年度のヘッドランドの長さ（m）とヘッド部の完成時期も示す。

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では減少する傾向がある。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現れている。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とやや異なる変動を示す。ヘッドランドの長さが100m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分かる。

(b) ヘッドランドの堆砂効果

ヘッドランドの堆砂効果については、25m間隔で配置された測線の深淺測量により調べられている。図-16には10号堤北側の代表測線の位置と、これらの測線における1987～1993年の5時期の縦断形変化

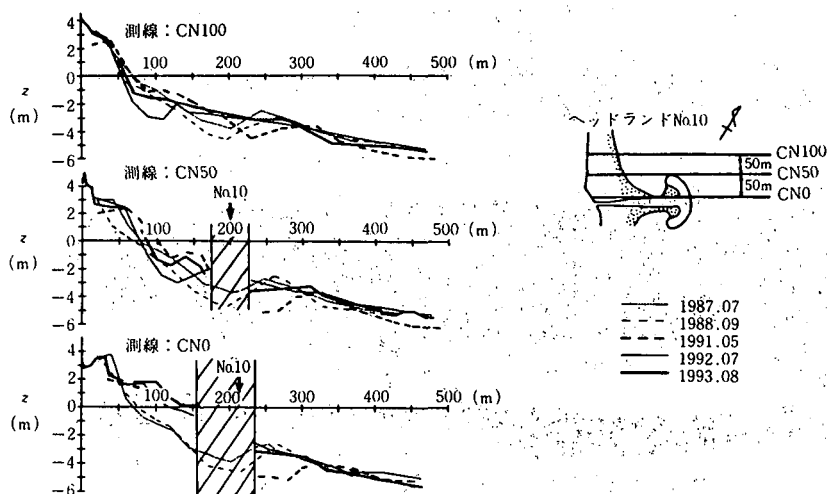


図-16 10号堤周辺における代表3測線の海浜縦断形の比較 ^{1) 8)}

を示す。ヘッドランドより北側に約100m離れた測線CN100では前浜勾配約1/8で急に深くなり、離岸距離100～300mの間にパー・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、沖合のパー・トラフの発達は小さくなっている。ここよりさらに50mヘッドランドに近接したCN50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CN0では大量の土砂が堆積し、舌状砂州が形成され、100m付近での堆砂厚は約3m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分かる。

(c) 空中写真によるヘッドランド周辺の海浜状況の判読

1992年12月15日、ヘッドランド周辺の空中写真撮影を行った。写真-6, 7はそれぞれヘッド部のない12, 13号堤区間とヘッド部有りの10, 11号堤区間の海浜状況を示す。写真-6では12号堤の北側隣接部で前浜幅が最も狭く、北側の13号堤に接近すると前浜幅が広がり、13号堤の南側隣接部では大量の土砂堆積の状況が見てとれる。このことは、この汀線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沿岸漂砂が発達していたことを意味する。

同日撮影の写真-7ではヘッドランドの効果が明瞭に現れている。ヘッドランド間が弓状となってポケットビーチ化されている。しかもヘッドランド周辺での汀線は大きく湾曲し、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分かる。これらは突堤状の構造物に挟まれた汀線の状況を示す写真-6と著しく異なる点である。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-6のように全域で、しかも著しいカスプの発達を見た点と大きく異なる。

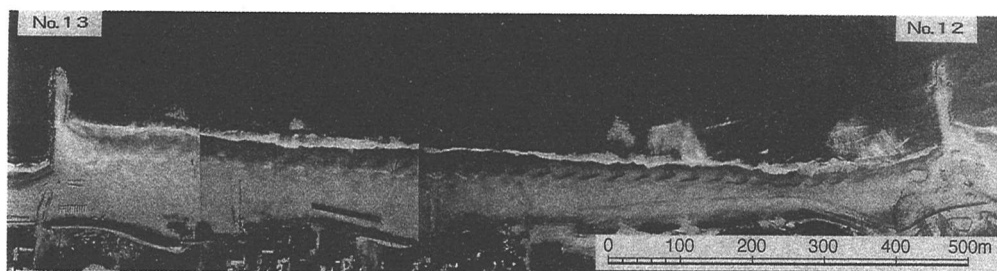


写真-6 ヘッドランド周辺の汀線形状（ヘッド部なし）⁸⁾

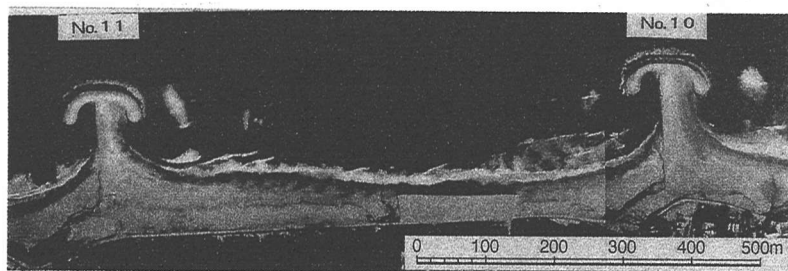


写真-7 ヘッドランド周辺の汀線形状（ヘッド部あり）⁸⁾

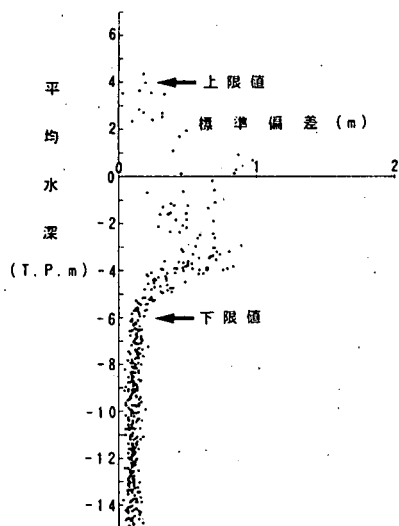


図-17 平均水深からの水深変動量の水深方向分布^{1) 8)}

(d) 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回深浅測量が行われてきている。そこで1983～1992年の10回分の深浅データから、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-17となる。標準偏差は汀線付近で1mと最も大きく、3～6mの間で相対的に値が大きい、-6m以深では測量誤差に起因すると考えられる、深さによらない約0.2mの一定値となる。標準偏差の大きい所は漂砂の活発な範囲を示すことから、この海岸での h_c はほぼ6～7mにあることが分かる。この水深と比較してヘッドランドの先端水深は約3mである。したがって現況のヘッドランドでは一部の漂砂はヘッドランドの先端を回り込む条件下にある。

4. 非対称型ヘッドランド群の建設 - 清水海岸の例

4.1 清水海岸の概要

静岡・清水海岸は、図-18に示すように駿河湾西岸に位置し、安倍川からの流出砂礫が堆積して形成された海岸であり、安倍川河口から7.8kmまでが静岡海岸、それより北東側が清水海岸と呼ばれている。清水海岸は三保松原砂嘴の先端部に位置する。この砂嘴は図-18に示したように典型的な分岐砂嘴であり、北海道東部にある野付崎と並んでわが国有数の規模を誇る。この砂嘴は駿河湾西岸にあるため、主として湾口からの入射波が屈折して作用する。ここで扱う区域は、砂嘴先端部の直線距離で約7kmの区域である。図-19には調査区域の測線番号と海底形状を示す。この区域では1988年以降深浅測量が毎年行われてきて

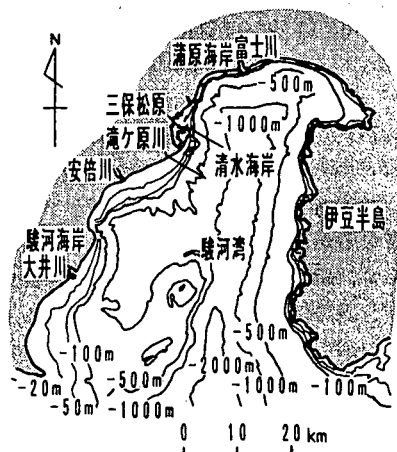


図-18 駿河湾における清水海岸の位置⁹⁾

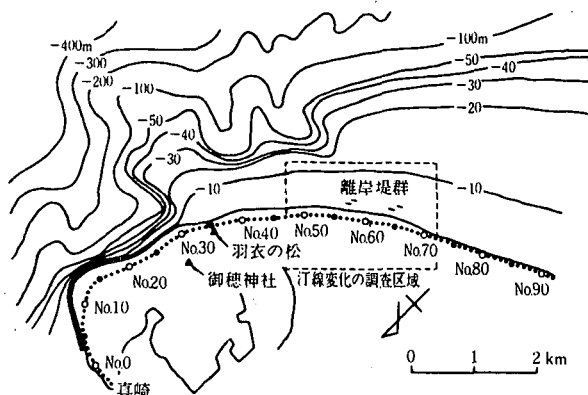


図-19 清水海岸の測線配置⁹⁾

いる。測線間隔は100mである。起点は三保松原先端のNo.0にあり、ここより南側へと配置されている。砂嘴が鳥のくちばし状に突き出た場所(真崎)はNo.-4に、北東方向に最も突き出た位置はNo.12に位置している。図-19には沖合の海底形状も示すが、No.12～No.30、No.36～No.44、およびNo.48～No.54の間には急深な海底谷が迫っている。一方、No.55以西は沖合にかなり広い大陸棚が発達しており、緩勾配の海底斜面となっている。また、-10mの等深線と汀線の間隔はNo.30より南西側では300m以上とかなり広いが、砂嘴の先端では非常に狭い。

4.2 海浜地形変化

No.47～No.71区間の1988年を基準とした汀線変化を図-20に示す。図の右端のNo.71には緩傾斜堤が設置されていたが、それより北側では1988年当時汀線がなだらかに伸びていた。1989年までに緩傾斜堤北側の汀線が後退し始めた。汀線の後退量は緩傾斜堤の隣接域で最も大きく、北側に離れると小さくなり、No.58では汀線変化は見られない。1990年までの変化状況は1989年までのものと良く似ているが、No.62以西では汀線の後退量が増大するとともに、新たにNo.50～No.58の間でも汀線の後退が始まった。沿岸漂砂の上手側より護岸や消波工を設置すれば、侵食域がただちに下手側へ広がり、そこに再び護岸や消波工が設置され、結局一連の海岸線は構造物群に覆われてしまい、砂浜が消失してしまう。そこで、清水海岸では2基の離岸堤を下手側に大きく離して設置し全体としてヘッドランドを形成させ

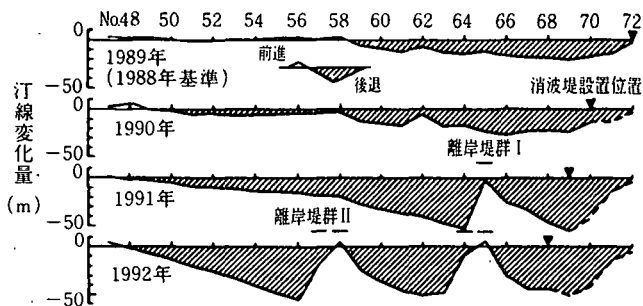


図-20 測線 No.47 ～ No.72 間の汀線変化⁹⁾

て、海浜を安定化する方策が採用された。

1991年までに、No.65には1基の離岸堤が設置された。離岸堤は北向きの沿岸漂砂を阻止するため、離岸堤位置では汀線が階段状となった。一方、漂砂の下手側ではNo.64～No.48の間の汀線が三角形形状に後退した。侵食域は1989年当時と比較して約900m広がった。2年間で変化が生じたことから侵食域の平均的な広がり速度は0.45km/yrであった。1992年になると、2基の離岸堤が開口幅約500mで設置された。離岸堤間では1988年当時と比較して汀線は最大約36mも後退したが、離岸堤群間の汀線の後退はやや緩やかになった。しかし離岸堤群の下手側の汀線は三角形形状に後退しており、その状況は1991年の状況と同一である。

図-21には、同じ区域に関して1990年3月以降、ほぼ半年おきに測量された汀線形状をそのまま図示した。比較が容易なように、離岸堤が設置される直前の1990年3月の汀線形状を比較の基準として選んでいる。測線間隔は100mである。Ⅰ群の離岸堤の建設が進むと、北東向きの沿岸漂砂が阻止され、その結果として離岸堤群の背後にはトンボロが形成された。これと対照的に離岸堤群の北側では汀線が後退している。Ⅰ群の北東側の隣接域での汀線の最大後退量は44mであって、汀線の後退量は北東側に離れると小さくなる。Ⅱ群の北東側でも汀線の後退が見られるが、後退量はⅠ群よりはるかに大きい。No.56での1990年からの汀線後退量は83mであり、侵食域は約1km離れたNo.46にまで達している。Ⅰ群の隣の区域の汀線後退域と比較して最大汀線後退量と侵食延長はともに約2倍である。この理由は、Ⅰ群は下手側のⅡ群により汀線が固定されているのに対して、Ⅱ群は下手側に汀線を固定しうる施設が何も存在しないためである。

次に、離岸堤群周辺の詳細な海底地形変化について調べるために、図-22には離岸堤群設置前後の深浅図を示す。1988年では全ての等深線が沿岸方向になだらかに伸びていた。汀線より-4mまでの等深線

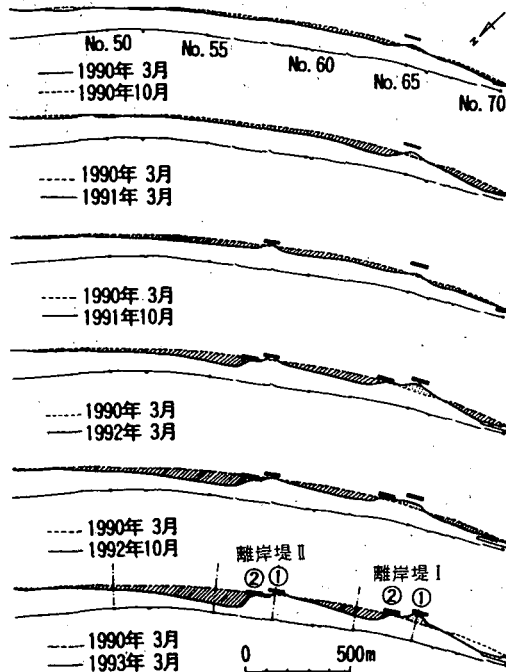


図-21 離岸堤群式ヘッドランド周辺の汀線変化⁹⁾

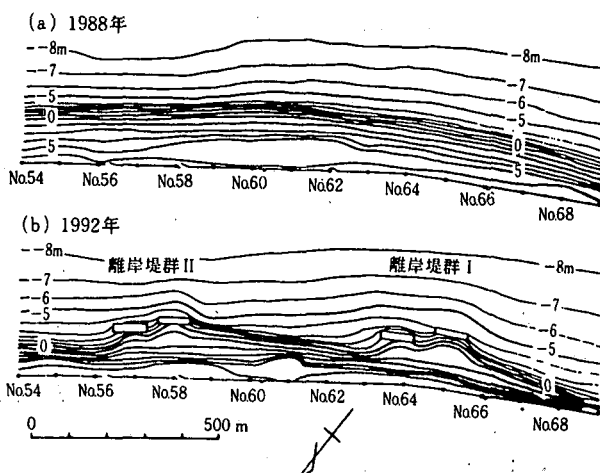


図-22 離岸堤群周辺の海浜変形 (測線 No.54 ~ No.69) ⁹⁾

はその間隔が非常に密であるが、-5m以深では相対的にこれより勾配が緩くなる。1992年には、離岸堤群の設置により、ほぼ直線的であった海岸線は階段状になった。例えば、西側にある離岸堤群 I の周辺では、西側の汀線は離岸堤へ向かって直線状に伸びているのに対して、東側では汀線が大きく湾入しており、離岸堤のすぐ東側で汀線が最も後退している。以上の汀線変化は、北東向きの沿岸漂砂が離岸堤群式ヘッドランドの建設によって次第に流出が阻止されたことを示している。

離岸堤の設置水深は約3.5mであるが、離岸堤の沖合の-5、-6mの等深線は離岸堤群 I 付近で沖向きに突出し、それより東側ではなだらかに岸へ近づいている。離岸堤設置前の1988年の深淺図ではこれらの等深線が沿岸方向にほぼ直線的に伸びていたから、離岸堤の設置によりその沖で等深線が前進したことは明らかである。以上の点は、離岸堤の沖を沿岸漂砂の一部が通過して下手方向へと流出していることを表している。

4.3 海浜縦断面の変化

図-19に示したように、No.30より南西側では、汀線と-10mの等深線の間隔は300m以上あり、岸近くまでの海底谷の発達は見られない。そこでこの区域の代表として、緩傾斜堤のすぐ下手側に位置するNo.68の海浜縦断面形の変化を図-23に示す。1988～1992年の変化であるが、この測線では陸上部の6m

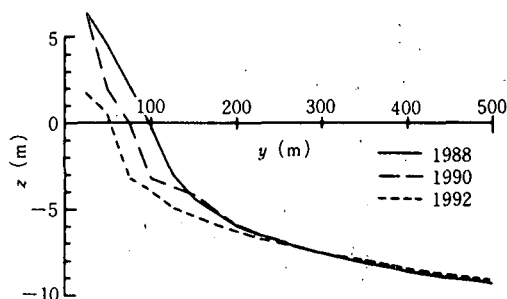


図-23 海浜縦断面形の変化 (測線 No.68) ¹⁾

から-7mまでの間が削り取られ、急深となった。また沖合の-7m以深では各断面形は重なりを示す。このことから、 h_c はほぼ7mにあると言える。また、汀線近傍は著しく削られたものの、この侵食に匹敵する沖合部での堆積はどこにも生じていない。このことは、海浜が沿岸漂砂によって削り取られたことを示している。

次に、図-21に示した汀線変化図において、離岸堤群周辺の海浜変形を最も良く表すと考えられる3断面

面を選んでそれらの変化を調べてみる。まず、図-24には、最も南側の離岸堤の中心を通るNo.65の海浜縦断面形の変化を示す。1985年当時には-5m以浅のプロファイルが鉛直上方に凸状であったが、その後1990年まで汀線の後退とともにほぼ-5m以浅が著しく侵食され、1990年までに沿岸距離100m当たり $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ の土砂が消失した。しかし、1991年以降離岸堤が設置されると汀線は再び前進し、1993年までには1987年当時の縦断面形まで回復した。この断面では離岸堤の設置によらず、ほぼ-5m以深の海底にはほとんど地形変化が生じていない。

図-25は離岸堤群間に位置するNo.62の海浜縦断面形の変化である。1985年当時のNo.65とよく似た断面形状であったが、汀線の後退とあわせて侵食断面積が大きく増加した。また、1991年における侵食量の急な増加は、その発生時期がNo.65に離岸堤が設置されて汀線が前進した時期と一致しているこ

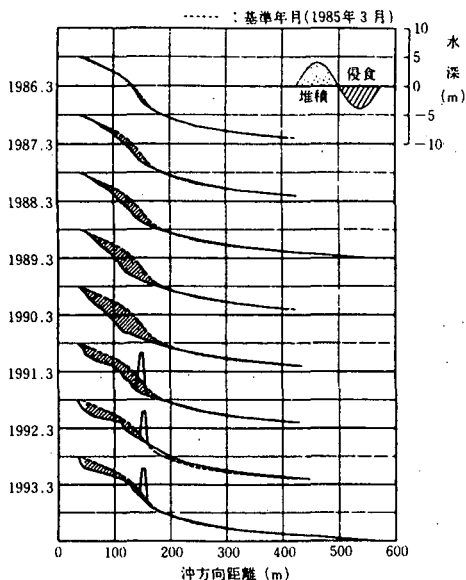


図-24 海浜縦断面形の変化(測線No.65) ¹⁾

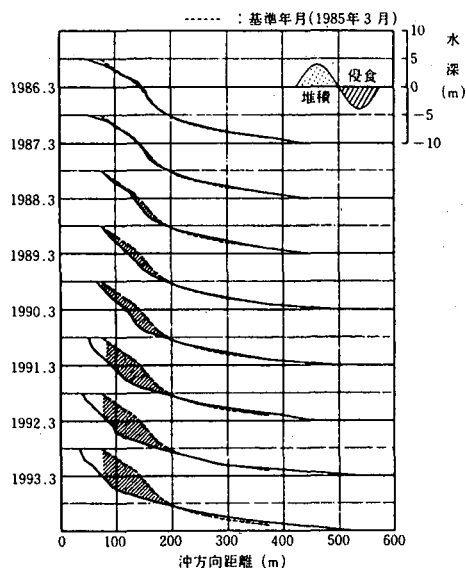


図-25 海浜縦断面形の変化(測線No.62) ¹⁾

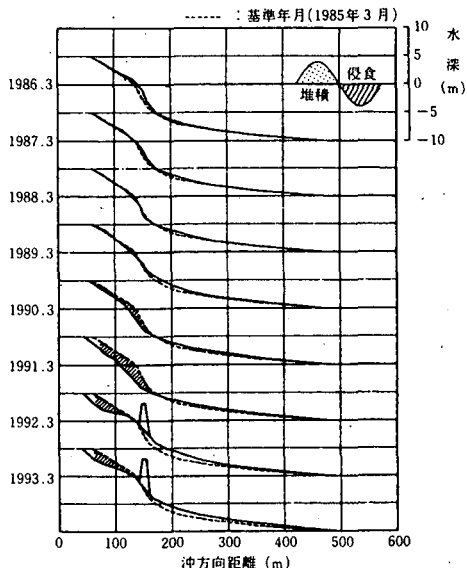


図-26 海浜縦断面形の変化(測線No.58) ¹⁾

とから、上手側に設置された離岸堤により沿岸漂砂が阻止されたことによると言える。

図-26は離岸堤群Ⅱの上手側離岸堤を通るNo.58の海浜縦断形の変化である。この縦断形は1989年までは安定していたが、1990～1991年に著しく侵食された。しかし、離岸堤群Ⅰより1年遅れで離岸堤群Ⅱが設置された結果、一度侵食された場所で再び堆砂が進み、1993年には後浜部を除いて1985年当時の縦断形に戻っている。図-24に示した離岸堤を通るNo.65では1986年から侵食が激化したのに対して、No.58では1989年以降侵食が激しくなった。

以上のように、清水海岸では急激に進む海岸侵食に対して離岸堤群式ヘッドランドが建設され、護岸前面の前浜が完全に侵食され切ってしまう前に対策が行われた結果、前浜を残すことができた。この海岸では現在、安部川からの流出土砂が静岡海岸を経由して、sand body として約250m/yrの速度で前進してきている¹⁾。これらの土砂が清水海岸に到達する以前は漂砂の供給が極めて少ないので、養浜を繰り返すことによってヘッドランド群間の汀線の維持が図られている。

5. ヘッドランドの計画上の留意事項

5.1 ヘッドランドによる静的安定海浜の形成の可否

宇多¹⁾は、海浜縦断形変化の実測データに基づいて波による地形変化の限界水深 h_c の全国実態を明らかにした。この水深は、外海・外洋に面した海岸にあっては約10mの値を有している。卓越沿岸漂砂が防波堤などにより阻止された場合や、大規模な沖合施設が建設されて波の場が変化し、波の遮蔽域外から遮蔽域内へと漂砂移動が起こる場合、しばしばヘッドランドが漂砂制御手法として用いられるが、ヘッドランドの先端水深が h_c 以浅であれば、ヘッドランドの先端を沿岸漂砂が回り込むことができるから、時間経過とともにヘッドランド間の砂の量は減少することになる。先端水深が h_c に近いような規模の大きな施設が建設されたことの影響を軽減させるという意味で、対策として先端水深が h_c に近い規模のヘッドランドを建設することは、新たに建設されたヘッドランドの影響が周辺に及び、それに対して再びヘッドランドを建設する必要が生じる。この場合、最終的には自然の海岸線は多数の長大なヘッドランドによって分割された海岸線にならざるを得ない。これを防止するには、ヘッドランドによって海浜の完全な静的安定化を目指すのではなく、沿岸漂砂量を減少させ、ヘッドランド間での砂量の緩やかな減少に対しては、養浜で補うという手法を用いなければならないことを意味する。「対策」が「対策」を呼ぶという悪循環に入り込まないようにしなければならない。

5.2 前浜が狭い海岸におけるヘッドランド建設の影響とその対策

宇多・五十嵐¹⁰⁾は、島根県持石海岸を例として前浜の狭い海岸でのヘッドランド建設に伴って生ずる問題とその解決法について考察した。図-27の模式図を参照して考察する。ヘッドランドの建設前は、図-27のステージⅠのように、護岸前面にはほぼ一定幅の前浜が広がっていたとする。ヘッドランドの建設が進むと、図-27のステージⅡのように両側の海浜の土砂がヘッドランド背後へと移動し、トンボロが形成される。これによりヘッドランドの背後施設の安全度は向上するが、逆にヘッドランドの隣接域の安全度

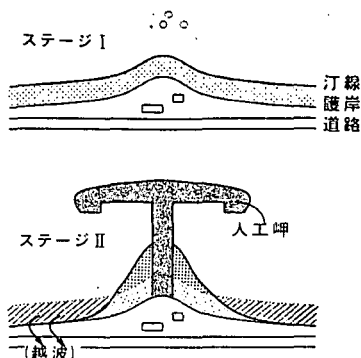


図-27 ヘッドランド建設前後の模式的汀線変化¹⁰⁾

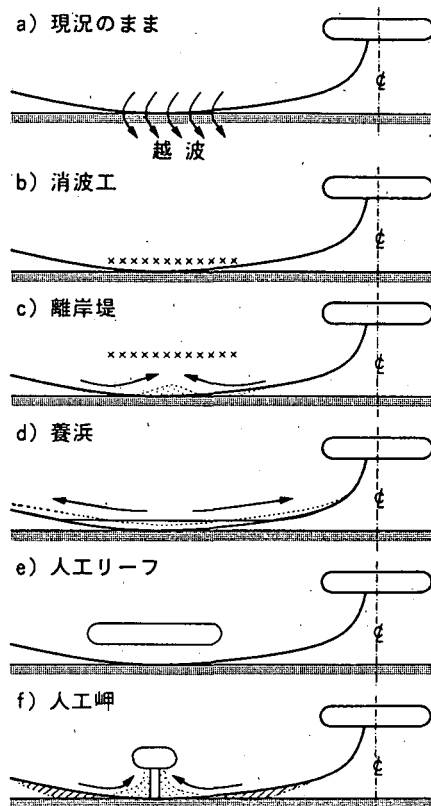


図-28 前浜の消失した護岸前面における今後の対策案¹⁰⁾

は低下する。岬などによって両端の境界条件が与えられ、規模の大きな河川の流入もない海岸にあっては、その区域の土砂量はヘッドランドの建設前後という短期間で見るとほぼ一定である。したがって海岸のある場所で波浪を静穏にして堆砂を促進させると、周辺海岸では海浜土砂量が減少し、水深が深くなり、越波やうちあげが生じ易くなる。

こうした場合の具体的対応策は図-28のようにまとめられる。a) は現況のままとする案である。現況では護岸ののり先が波に洗われ、高波浪時には越波やしづきが発生する。ヘッドランドの建設に伴いヘッドランド背後の静穏域へ向いた沿岸漂砂の移動が起こり、トンボロが形成された段階で土砂移動はほぼ終息に近づくが、護岸前面はヘッドランドが存在しない場合より必ず急深となる。越波やしづきの発生が問題とされる場合の対応策としては、次の5案が考えられる。

第1は図-28b)に示すように、護岸前面に消波工を設置することである。しかしこの方法は海岸の景観・環境条件の低下を招くので効果的ではあっても合理的ではない。第2は離岸堤である。これによれば前浜の狭い部分で部分的に砂浜を広げることができるが、離岸堤背後の砂の大部分は両側から集められるので、離岸堤の両側ではさらなる侵食が起こるし、また海岸線の大部分が人工構造物で覆われてしまう欠点がある。第3は養浜である。養浜は前浜の狭い部分に集中的に行い、それによる効果を期待したいところであるが、養浜砂は両側へと急速に流出し、対象区域全体で汀線がわずかに前進するのみである。ヘッドランドと離岸堤がある条件下で、安定な海岸線が形成されるという海浜変形の原理から見

て、前浜幅が最も狭い部分で前浜が局所的に広がることはあり得ない。第4は人工リーフである。人工リーフはいわば砂の代わりに自然石またはコンクリート塊を入れることに等しい。この場合も長い海岸線の大部分が人工構造物によって覆われてしまうという欠点がある。第5案は前浜の狭い部分に比較的規模の小さいヘッドランドを造る方法である。この場合も養浜を同時に行わない限り、その背後の砂は両側から集められることになる。したがって養浜を併せて行うことが必要とされる。

ヘッドランドの堆砂効果が高ければ高いほど周辺海岸の前浜は一層狭くなり、侵食された海岸では越波や安全度の低下が起こる。上述のように前浜が十分広くない海岸でヘッドランドを建設する場合には、周辺海岸で上述の問題が生じ易いことを十分理解して計画を立案しなければならない。前浜が狭くなってしまった海岸において著しく堆砂効果の大きなヘッドランドを建設することはその背後に大量の土砂を集めてしまう結果として、周辺海岸に侵食を招くので十分な注意が必要である。

5.3 防波堤等の各種利用施設をも含む海岸線全体での安定化

ヘッドランド工法によって海岸線を区分し、海岸線の安定化を進める場合、海岸管理の所管を超えて長大な海岸線の安定化を図るという視点が必要である。例えば青森県の三沢漁港周辺の海岸についての検討案¹¹⁾を図-29に示す。三沢漁港は青森県の太平洋岸にあり、北向きの沿岸漂砂が卓越する海岸に建設された。このため防波堤は、当初段階では北向きの沿岸漂砂の流れを阻止し、防波堤北側区域で侵食、南側区域で堆積が起きた。しかし近年になって漂砂源が枯渇状態になったことから、三沢漁港の南側でも汀線の後退が起きている。このことは、三沢漁港が存在してもしなくても漂砂源の枯渇のために三沢漁港の南部海岸で侵食が進むこと、そして現況で防波堤の南側で残された三角形の砂浜は、三沢

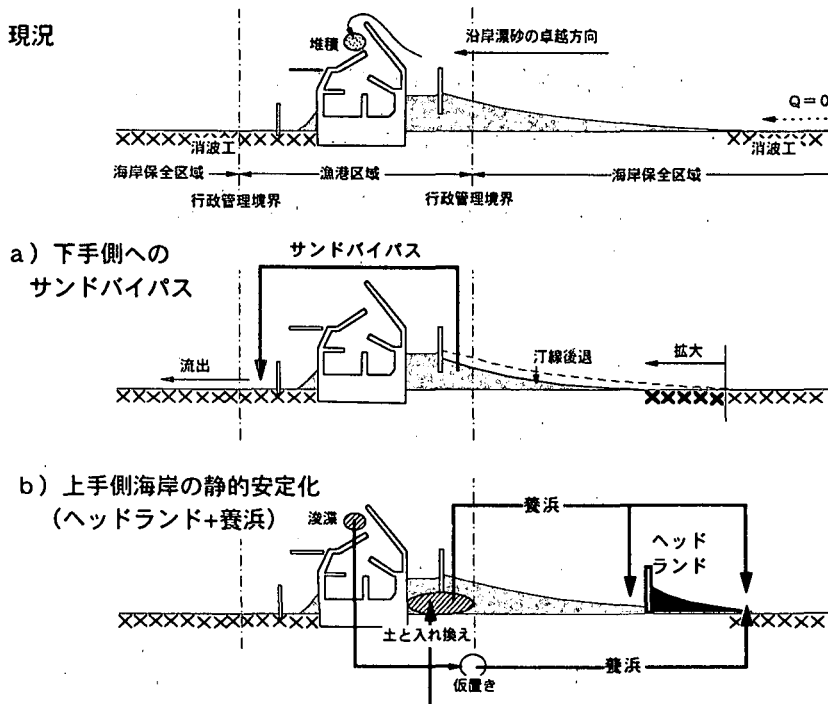


図-29 防波堤上手側での海浜安定化方策の模式図¹¹⁾

漁港がヘッドランド効果を果たしているがゆえに安定的に存在していると言える。このことは、沿岸漂砂を阻止してその下手側で侵食を引き起こしている施設が、逆にその施設の漂砂上手側には安定な海浜を形成させる上で役だっているという見方が成立する。このことより、例えば三沢漁港にあっては、図-29の模式図に示す方策が考えられる。

まず、漁港管理者は防波堤が南側海浜を安定化させているという事実を認識し、港内へと回り込んだ砂はこの部分から運び込まれたものであるから、その砂は南側海浜の養浜材として有効利用するよう利用されるべきことを認識すること。当然養浜を行うにしても費用がかかるので、それは分担する必要がある。航路の浚渫土砂を仮置きし、それを南側の海岸管理者が自分の経費負担で最も上手まで運んで養浜すればよい。また最も砂浜が広がった部分を利用する際には、砂浜の砂の一部を入れ替え、そこから発生した砂は海浜へ戻す手法が検討されるべきである。現況では北側の海岸の侵食を養浜によって防いで海浜を復元できる土砂は三沢漁港の南側海浜にはすでに存在しない。したがって現在残されている砂は貴重品と考えて海浜の保全を図って行く必要がある。

以上のようにして、今後は現存する漁港の防波堤をヘッドランドと同様な機能を有する構造物と見なし、それらとヘッドランド（群）とを有機的に結び付けて、海岸線全体の安定化を図ることが必要である。各海岸管理者が自らの所管の範囲でのみ海浜を創生しようとすることは、多くの場合砂の奪い合いになり、海岸線全体の調和とはほど遠い姿となる。

5.4 ヘッドランド計画における合意形成

第4節で述べた清水海岸では、従来から行われてきた海岸線に沿って護岸・消波工を設置する方法に代わって、2基の離岸堤群を用いたヘッドランドが建設された。一方向（北東向き）の沿岸漂砂が卓越した清水海岸にあっては、離岸堤群の建設は、連続的に砂の移動しており、見た目には何ら変化のない自然砂浜に、新たな境界条件を設定することになるので、ヘッドランドの建設とともに侵食・堆積域もまた沿岸方向に急速に広がることになった。また、それによってかなり著しい地形変化が生じるのでヘッドランドの導入によってもたらされる汀線変動を十分受容可能な前浜幅があるうちに予防的意味において建設を進めることが必要であった。

実際には、清水海岸の場合、侵食が激化する前には前浜幅は十分広がったが、そこで急速に侵食が進み出した。この場合、地先住民、特に海浜で地引網を引いていた漁師達は、ヘッドランドが建設されることによって地引網を引く海浜空間が消失するとしてなかなか了解をもらえず、その間に汀線が後退して実際にヘッドランドを建設しようとする場合、前浜幅が狭くなってしまうという悪循環に遭遇した。海浜で侵食が激化して結果として前浜が消失すれば地引網も引けなくなることから、漁師達はもちろん、周辺住民もその深刻さを理解するのであるが、海浜が広いうちに、予防的意味で建設計画を進め、地域住民の合意を取ることがなかなか難しかった。しかし、少なくとも清水海岸においては、完全な手遅れ状態になる前に、地域住民や漁民との間で繰り返し議論が行われたことがそれを防止した。この意味から、効果は高いが、同時に周辺の海浜環境に大きな影響をもたらし得るヘッドランド計画においては、その原理、効果や影響などについて関係住民に十分説明し、合意形成を図ることが必要である。

6. あとがき

わが国沿岸では、港湾や漁港などの施設、あるいは防災を目的とした離岸堤などの施設がすでに数多く造られてきている。過去には長大な、荒れ果てた砂丘が続く海岸も多数あったが、現在、そのような海岸はむしろ希となり、必ず何らかの施設があるという状況に至っている。したがって、何らの施設が

存在しないような長い海岸線において、ヘッドランド群をこれからどしどし建設するという状況にはないと言える。実際には、既に存在する施設(当然、それらは境界条件を与える)との関連においてヘッドランドによる海浜の安定化の構想を練ることが必要である。

参考文献

- 1) 宇多高明 (1997) : 「日本の海岸侵食」, 山海堂, p.442.
- 2) 建設省河川局海岸課監修 (1994) : 海岸保全計画の手引き, (財) 全国海岸協会, p.170.
- 3) Silvester, R. (1976) : Headland defence of coasts, Proc. 15th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp.1394-1406.
- 4) 土屋義人 (1984) : 海岸侵食制御試案, 海岸, 第 24 号, pp.100-109.
- 5) Hsu, J.R.C. and C. Evans (1989) : Parabolic bay shapes and applications, Proc. Intn. Civ. Engrs., Part 2, 87, pp.557-570.
- 6) 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・神田康嗣 (1996) : 修正 Hsu モデルによるヘッドランド周辺の最適安定形状の計算法, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp.646-650.
- 7) 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.
- 8) 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 (1995) : 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, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp.676-680.
- 9) 宇多高明・鈴木忠彦・山本幸次・板橋直樹 (1993) : 三保松原の危機的海岸侵食状況, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp.441-445.
- 10) 宇多高明・五十嵐竜行 (1995) : 前浜の狭い海岸でのヘッドランド(人工岬)建設に伴って生ずる問題とその解決法・島根県持石海岸を例として, 海洋開発論文集, Vol.11, pp.79-84.
- 11) 渡辺宗介・清野聡子・宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎 (2000) : 青森県三沢漁港周辺の海浜変形と今後の海岸保全, 海洋開発論文集, 第 16 巻, pp.606-611.