

土木研究所資料

茨城県沿岸侵食対策計画調査報告書

昭和62年 3 月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

Copyright © 1987 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,
nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、
土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

茨城県沿岸侵食対策計画調査報告書

海岸研究室長 宇 多 高 明

要 旨

茨城県沿岸の海岸侵食実態を深淺測量、航空写真、底質採取等の現地データをもとに明らかにした。次に茨城県の鹿島灘沿岸で建設されつつあるヘッドランド（人工岬）に関連し、設計の基本的考え方について検討した。また、過去数年間、茨城県沿岸で行われてきた海岸調査の有効性と今後のあり方について述べた。最後に、茨城県沿岸で過去に撮影された海岸状況写真を整理し、海岸の変遷を定性的意味より把握した。

キーワード：茨城県沿岸，海岸侵食実態，ヘッドランド，海岸調査，海岸状況写真

は じ め に

本研究は茨城県土木部河川課の委託によってなされたものである。最初に茨城県沿岸の海岸侵食実態を深浅測量、航空写真、底質採取等の現地データをもとに明らかにする。次に、茨城県の鹿島灘沿岸で建設されつつあるヘッドランド（人工岬）に関連し、設計の基本的考え方について検討する。また、過去数年間、茨城県沿岸で行われてきた海岸調査の有効性と今後のあり方について述べる。最後に茨城県沿岸で過去に撮影された海岸状況写真を整理し、海岸の変遷を定性的意味より把握する。本研究にあたっては、茨城県土木部河川課の方々に資料提供や現地調査の面で多大な協力をしていただいた。ここに感謝の意を表します。

目 次

はじめに

1. ま え が き	1
2. 研究の目的	2
3. 茨城県沿岸の海岸侵食実態	3
3.1 ま え が き	3
3.2 調 査 方 法	3
3.3 常磐海岸の海岸侵食	4
3.4 鹿島灘沿岸の海岸侵食	7
3.5 構造物周辺の海浜変形の詳細な検討	12
3.6 考 察	21
3.7 結 論	22
参 考 文 献	23
4. 人工岬工法に関する検討	24
4.1 ま え が き	24
4.2 ヘッドランドによる安定海浜の形成	24
4.3 離岸堤の利用による安定海浜の形成	30
4.4 人工岬工法	32
4.5 適地選定の基本的考え方	36
4.6 ま と め	36
参 考 文 献	37
5. 海岸調査の有効性と今後の方向性	38
6. あ と が き	39
付録：海岸状況写真集	40

1. ま え が き

茨城県沿岸は延長181.4kmの長さを持ち、太平洋に東面している。近年、海岸侵食は全国各地で発生しているが、茨城県沿岸もこのような海岸の一つに数えられる。この沿岸は海岸線延長がかなり長いために、従来海岸侵食状況を全体的に把握する調査はなされた例がなかった。そこで今回、茨城県沿岸全域を対象として侵食実態の把握を行うこととした。この種の調査は、沿岸域で侵食等の問題が生じている箇所や、いずれ近い将来問題が生ずるであろう箇所を早期に把握し、必要な対策を立てる上で役に立つと考えられる。

茨城県沿岸の南部に位置する鹿島灘沿岸では、近年海岸侵食が著しく、その対策としてヘッドランド（人工岬）が建設されつつある。この工法は提案されてから日が浅く、実際の施工に際しての設計上に不明確な点がかなり多い。そこで本研究では設計に際しての基本的考え方を整理し、併せて移動床水理模型実験によって多少の検討を加えることとした。実際には、現地海岸で施工が進んでいるために、現地データを収集、分析すれば更に良い結果が得られるはずであるが、ヘッドランドが施工されてから間もないためデータは十分集まっていない。そこで本研究では現地データの分析は行うことができなかった。

過去数年間、茨城県では深淺測量、航空写真撮影、底質採取等が広範に行われてきた。本報告はこれらのデータを基にしてまとめられたものである。現在、一応全ての調査結果が得られたので、種々の調査の有効性と今後のあり方について考えておくことも重要である。そこで本報では調査成果をもとに今後の調査の方向性について検討する。

最後に茨城県沿岸で過去に撮影された海岸状況写真を整理し、海岸の変遷を定性的意味より把握する。土木事務所等の手により過去に撮影された写真は数多い。しかしながらその多くは撮影年月が不明なため利用できなかった。また、構造物の被災後の写真の数も多いが、被災前の状況が撮影されていなかったために比較が充分できない場合も多かった。結局、全体で81枚の写真を選んで本報に示した。

2. 研究の目的

本研究の目的を項目ごとにまとめると以下のようである。

- (1) 茨城県沿岸の海岸侵食実態を把握する。
- (2) 人工岬工法に関する検討を行う。
- (3) 今後の海岸調査について考察する。
- (4) 海岸状況写真を収集、整理する。

上記の4項目についての検討結果は各々、第3章、第4章、第5章および付録写真集にまとめられている。

(1)の海岸侵食実態把握は本調査の中核となる部分である。(2)の人工岬工法に関する検討は、茨城沿岸で最も侵食が激しい鹿島灘沿岸での対策に関連して行われている。(3)は(1)での調査結果を受けて今後の調査の方向性について記述する。(4)は本来(1)の検討に属すべきものであるが、写真の枚数が多いため分離して整理した。

3. 茨城県沿岸の海岸侵食実態

3.1 ま え が き

近年、河川流出土砂量の減少や、沿岸域における大規模構造物の建設の影響等により全国的に海岸侵食が進んでいる。一般に沿岸漂砂の卓越する海岸に防波堤等の構造物が造られると、漂砂移動が制限されるために海浜は新しい平衡状態に達するべく変形する。ところが侵食対策においては、最も激しく侵食された箇所の復旧に目を奪われ、海浜全体の安定性についての視点がしばしば不足する。この結果として侵食範囲が次々と広がり、海岸線には堤防・護岸や消波ブロックが連続的に設置され、自然海岸の消滅を招くことになる。こうした状況は全国各地で見られる。

ここではこの問題について、茨城県沿岸を例として取り上げて考察する。茨城県沿岸においては昭和40年代より開発が進み、港湾、漁港等の施設の整備が進められてきた。それ以来約20年が経過したが、いくつかの構造物周辺では侵食等の影響が現われ始めた。本研究では、深浅測量データ、航空写真および海岸状況写真等からこうした海岸侵食の実態を明らかにする。

3.2 調査方法

調査区域は大津漁港より利根川河口まで延長181.4kmの海岸である(図-3.1)。当区域は大洗港を境

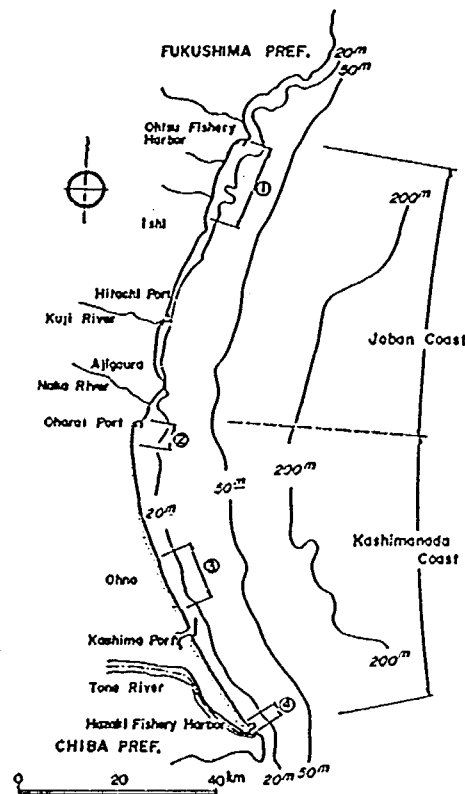


図-3.1 調査区域

に常磐海岸と鹿島灘沿岸とに大別される。まず海岸線全域の航空写真撮影を行い、次に大洗港から利根川河口までの範囲で深浅測量と底質調査を行った。第二に海浜変形の著しい大津漁港南部 (①)、大洗港南部 (②)、波崎漁港北部 (④) において、過去の深浅測量データを収集した。次に航空写真をもとに、汀線の変化状況を調べた。航空写真は1947年の米軍写真から今回の1984年の写真まで撮影時期の異なる4組の写真が利用できる。また過去の深浅測量データが得られた区域では汀線の時空間変化を調べた。一方、測量データのない箇所では過去から現在までの海浜変形を定量的に調べることは困難である。そこで海浜変形の状況を定性的に知るため、海岸状況写真を収集した。これらのうち特に鹿島港の北部海岸 (図-3.1中の③印) においては、写真と1984年に行われた深浅測量のデータをもとに侵食状況を調べた。

3.3 常磐海岸の海岸侵食

常磐海岸のうち大津漁港より日立港までの範囲の汀線変化を調べた。汀線位置は航空写真を判読して求め、デジタイザーを用いて連続的に読みとった。次に50m間隔の汀線位置から、各期間ごとに変化量を算出した (図-3.2)。ただし、汀線位置を求める際潮位補正は行っていないので、緩勾配海岸では精度が低い可能性がある。図-3.2に示す区域の海岸性状として、大津漁港より鵜ノ岬までは所々に岬が張り出しているが、その間は砂浜が続く。鵜ノ岬の南では崖海岸が多いが、局所的には狭い砂浜がある。例えば河原子港周辺では沖合の岩礁のために舌状砂州の地形が形成されている (宇多ほか, 1984)。図-3.2において鵜ノ岬以北の区間は鵜ノ岬から会瀬漁港までの区間と比べて汀線の変化が大きいが、これは砂浜海岸と崖海岸との相違による。ここでは汀線変化の大きい大津漁港より鵜ノ岬までの区間に注目する。この間には北から順に大北川河口部の天妃山、高戸および鵜ノ岬と3つの

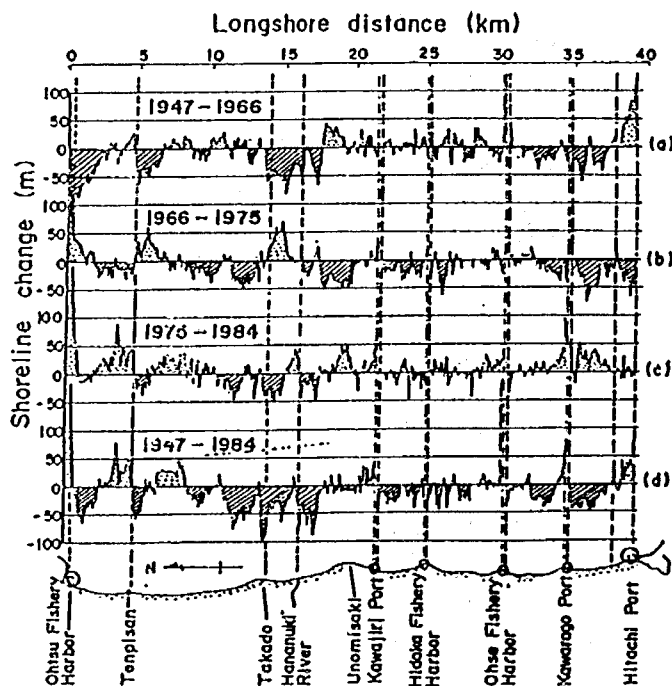


図-3.2 常磐海岸における岬間の汀線変動

岬が存在する。これらは岩礁であって沿岸漂砂が阻止されるため以下のように特徴的な変化が生じた。まず図-3.2 (a) によると大津漁港のすぐ南側で汀線が後退し、天妃山の北で前進している。逆にその南側では汀線が後退し、高戸の北側では岬の隣接部を除き前進している。さらに高戸と鶴ノ岬の間でも同様な変化が見られる。以上の汀線変化は、岬の北側で前進、南側で後退するという特徴がある。この変化はほぼ北東方向からの入射波によって南下する沿岸漂砂があったため生じた変化と考えられる。ところが図-3.2 (b) では上記の変化が逆転している。常磐海岸の南部の阿字ヶ浦(図-3.1)で行われた波向観測によると、波向は夏期には南東寄りの入射波が、また他の季節には北東寄りの入射波が卓越し、約1年周期で変動している(宇多, 1984)。これを考慮すると、図-3.2 (a) は北東からの入射波が卓越した後の汀線変化状況を、また図-3.2 (b) は南東からの入射波が著しかった後の汀線変化状況を示すものと考えられる。図-3.2 (c) では特性が異なる。天妃山から高戸の間では両側の岬に近い部分で汀線が後退し、中央部では前進した。高戸と鶴ノ岬の間では新たに花貫川の導流堤の影響が表われ、岬または構造物の南側で侵食が、北側で堆積が生じている。このように区域ごとに特徴が異なるのは、沖波の入射角が小さいために、対象区域ごとの海岸線方向が異なることの影響が著しかったためと推測される。1947年から1984年までの汀線変化(図-3.2)では大津漁港のすぐ南側で著しく汀線が前進し、さらに南側では後退している。この原因は後述のように、大津漁港の防波堤の影響が著しいことである。高戸を中心とする南北海岸では汀線の後退が見られる。しかしこの地区で生じているかなり広範囲にわたる侵食の原因は明らかではない。

大津漁港周辺では汀線変化が著しいことが分かったので、1977年と1984年の深淺測量データを用いて等深線の比較を行った(図-3.3)。沖合の防波堤は1974年に完成したが、これにより漁港の南西側

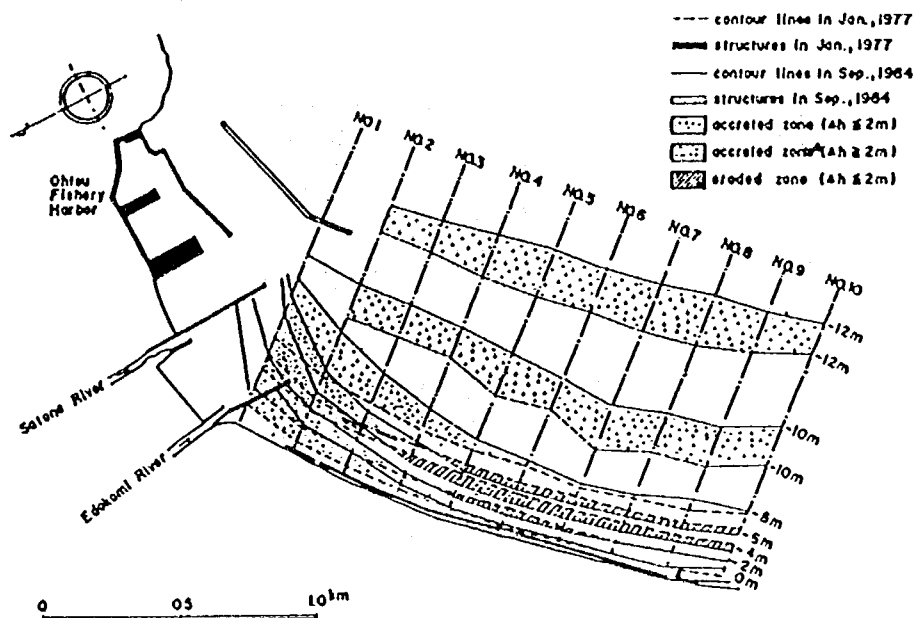


図-3.3 大津漁港周辺の地形変化

に大量の土砂が堆積した。しかし測線No. 5～No. 10付近ではT.P. (東京湾中等潮位) 約-6 mまで侵食を受けた。No. 7付近では近年侵食が著しく1983年には海岸護岸が壊れた。なお、T.P.-10 m, -12 mの等深線も相当大きく変化しているが、この部分は海底勾配が非常に緩く、等深線の変化が生じ易いこと、またT.P.-8 m以浅の等深線と異なり、全域で等深線が前進していることから判断すると有意な変化ではなく深淺測量に伴う誤差であったと考えられる。

次に海岸の侵食状況を写真によって調べた。まず1984年7月の航空写真(図-3.4)によると、2基の防砂突堤の南側には広い前浜があるが、図の右上隅に位置する神岡上海岸では前浜が狭いことが分かる。この海岸は1981年頃(図-3.5)にはまだ広い前浜が存在したが、侵食が始まったため汀線に沿って消波ブロックが設置された。ところが1年後の1982年になると(図-3.6)、海岸侵食により後浜までも欠壊した。消波ブロックの陸側には浜崖が形成され、当海岸より大量の土砂が消失した。海岸の侵食防止工法として異形ブロックを積み上げて造られた消波堤は従来から良く施工されているが、これは容易に沈下してその機能を失うことが分かる。以上のように港内での堆砂、港から離れた地点での侵食の状況から判断すると、この地形変化は防波堤建設の影響によって生じたものと考えられる。すなわち沖合防波堤の建設により、防波堤の遮蔽領域外から港内側へと海浜循環流が生じ、この流れにより底質が運ばれ堆積する(Krausほか, 1981)。

港湾構造物が建設される場合、周辺海岸で侵食が起きないように早期に対策を立てることが必要であり、侵食が激しくなってから消波堤を設置しても有効でないことは明らかである。選択すべき対策としては、例えば防波堤の遮蔽領域外から港内へ向かう沿岸漂砂を突堤等の構造物によって阻止し、入射波向に対して安定な汀線形を造り出すことなどが考えられる。



図-3.4 大津漁港周辺の侵食状況(1984年7月)

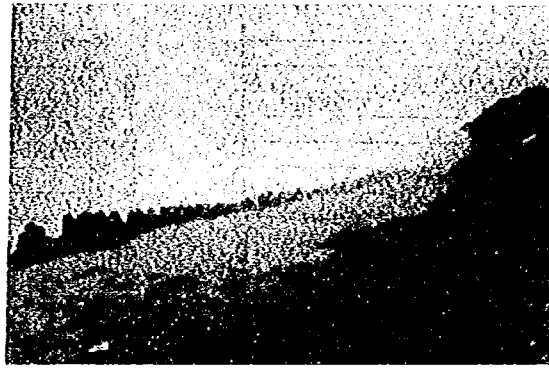


図- 3. 5 神岡上海岸の海岸状況 (1981年)



図- 3. 6 神岡上海岸の海岸状況 (1982年)

3.4 鹿島灘沿岸の海岸侵食

この沿岸の汀線変化を1947年を基準として調べると図-3.7となる。海岸のほぼ中央には鹿島港があるため、その周辺を含む約10kmの区間における変化は図-3.7には示されていない。鹿島港の防波堤は1963年から建設が始まり(佐藤ほか, 1974), 1976年にはほぼ完成した。1947年から1965年までの変化では、大洗港の南3~4km付近に局所的な侵食が見られ、それより南では沿岸距離約26km地点まで堆積傾向にあった。またさらに南側では、波崎漁港とその北約5kmの区間と鹿島港周辺を除き侵食傾向を持つ。鹿島港は1963年から工事が始まっており、それ以前には沿岸漂砂は南北方向に自由に動くことができたことを考慮すると、全体的には大洗港の南5km以北と26km以南の海岸が侵食され、侵食された底質が5~26kmの区間に堆積したようである。なお鹿島港周辺の変化は、上記の変化に構造物による局所的影響が重なっているものと考えられる。

次に、1947年と1975年を比較すると、鹿島港の南側で約300m近く汀線が前進している。これは港湾を掘り込む際に生じた残土を南側海浜へ捨てたことによる(運輸省港湾局ほか, 1974; 佐藤ほか, 1974)。一方、大洗港から鹿島港の間の海浜においては、大洗港の南側と鹿島港の隣接海岸で汀線が後退しているのに対し、そのほかの地域では汀線は前進している。

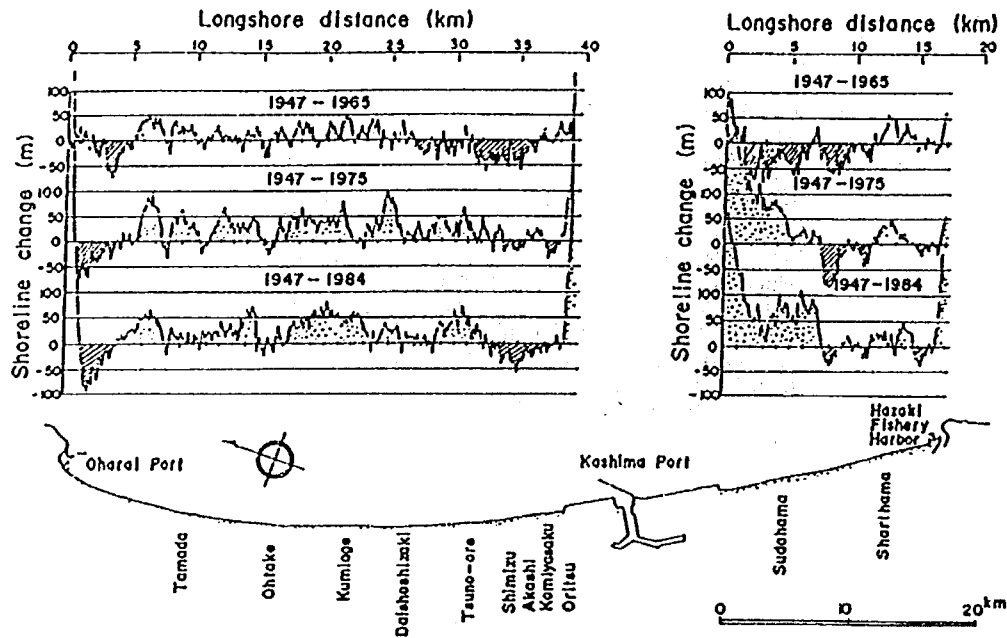


図-3.7 鹿島灘沿岸の汀線変化状況

1947年から1984年までの変化に関しては、大洗港の南側での後退量が大きくなり、また鹿島港の北側でも汀線後退が進んだ。鹿島港と波崎漁港の間では、鹿島港の南へ投入された土砂の一部がさらに南側へ移動し、また波崎漁港で汀線が著しく前進した。結局、鹿島港の建設以前はほぼ沿岸距離約26 km地点以南で北向きの沿岸漂砂が存在したが、建設後はこの区域が二分された形となったと考えられる。

鹿島灘沿岸の汀線変化状況は図-3.7に示したが、これは航空写真より汀線位置を直接読みとったものであり、その測定精度はあまり高くない。また最近の変化は航空写真の不足により知ることができない。そこで1984年と1985年に同一測線で深淺測量を行い、これより汀線変化を調べた。鹿島灘沿岸全域における汀線とT.P.+2 mの等高線の変化量の沿岸分布を図-3.8に示す。まず汀線変化に注

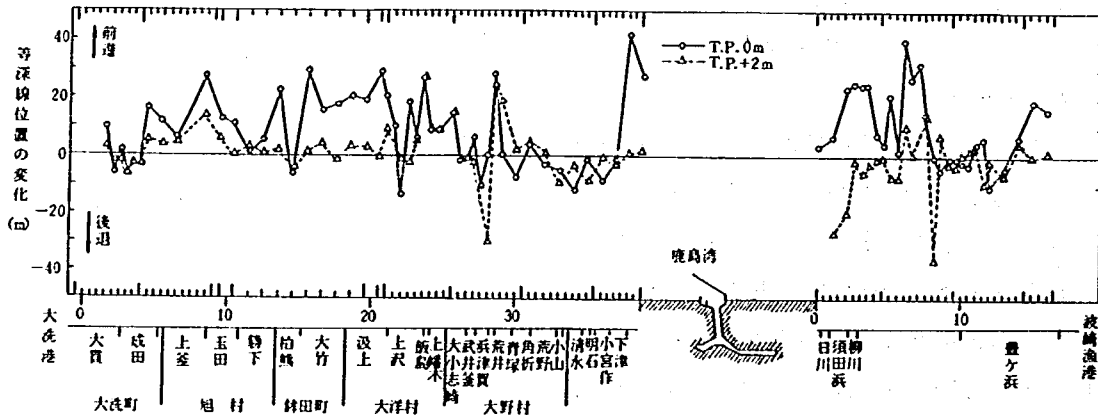


図-3.8 鹿島灘沿岸全域における汀線とT.P.+2 mの等高線の変化量の沿岸分布

目する。大洗港より南約4 km地点までと、鹿島港の北側の小宮作海岸から角折海岸までの延長約7 km区間では汀線は後退傾向を持つが、その間では前進傾向を持つ。また鹿島港に隣接する下津海岸では局部的に汀線が前進している。鹿島港の南側海岸では、波崎漁港近傍と鹿島港の隣接海岸で汀線は前進し、その間の約6 km区間では汀線が後退傾向を示す。以上に述べた1年間の汀線の前進、後退傾向は、37年間の汀線変化傾向(図-3.7)と良い一致を示している。

図-3.8にはT.P. 2 mの等高線位置の変化も示した。この等高線の変化と汀線変化の比較を行うと、堆積域では汀線変化が著しく出るのに対し、T.P. + 2 mの等高線の前進量は小さい。これに対し侵食域ではT.P. + 2 mの等高線と汀線の変化量が同程度となっている。侵食域で地形変化がT.P. 2 mまで及ぶ原因は、海浜が侵食されるとき浜崖が形成されるためである。一方、堆積区域においてT.P. 2 mの等高線に変化が現われにくいのは、堆積域の海浜勾配が緩いため波の遡上高が低く、T.P. 2 m付近では地形変形が生じにくいことによると考えられる。

上述の汀線変化の原因を知るために、大洗港と鹿島港の波向特性を調べた(図-3.9)。両地点共、波向計は図中黒丸印で示すように水深約20 mに設置されている。大洗では1980年1月から1982年2月までの資料(茨城県三浜港湾事務所, 1981, 1983)を、また鹿島港では1980年1月から12月までの資料(運輸省第二港湾建設局, 1982)を参照した。大洗港の測得率は、有義波高が1 m以上の波に対し24%、鹿島港のそれは全データに対して97%である。図-3.9によると卓越波向は両地点共ENE方向である。この入射方向は大洗港付近では海岸線の法線に対して反時計回りの方向からの入射を意味し、また鹿島港付近では時計回りの入射となる。これらは両地点において各々南向き、および北向きの沿岸漂砂を生じさせる。

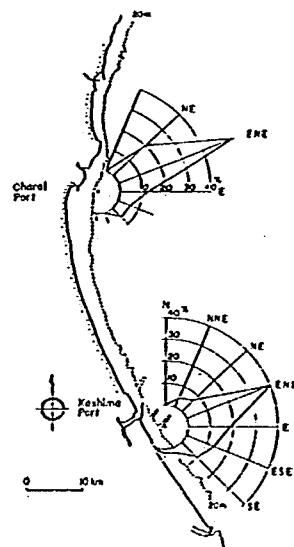


図-3.9 大洗港と鹿島港の波向特性

次に有義波高と周期の季節変動について調べた。小名浜、阿字ヶ浦および鹿島港での1980年1月から1982年2月までの波浪観測データ(高橋ほか, 1982, 1983, 1984)をもとに、月平均有義波高($\bar{H}_{1/3}$)と周期($\bar{T}_{1/3}$)を求めると(図-3.10)、 $\bar{H}_{1/3}$ は鹿島港の値が他の2点より平均的に高いが、小名浜と阿字ヶ浦は良く似た特性を示す。すなわち夏と冬に $\bar{H}_{1/3}$ は約1 mと小さくなり、春・秋には約1.4 mと高いことが分かる。周期は地点間の差はあまり見られず、7~8秒が卓越する。

次に、鹿島灘全域における前浜の底質粒径、比重および前浜勾配の沿岸分布特性について調べる。まず最初に、1984年～86年に実施された3回の前浜底質粒径調査と深浅測量のデータをもとに、前浜（低潮部）の底質中央粒径と前浜勾配の沿岸方向分布を図-3.11にまとめた。破線は1984年の値を、実線が1985年の値を、そして一点鎖線が1986年の値を示す。大洗港から鹿島港の区間の底質中央粒径は、大洗港よりその南約8km地点までと、大小志崎より鹿島港の間で粒径が大きい。その間では0.2～0.3mmと細粒になっている。鹿島港の南側の区域においては、波崎漁港より北に約10km地点までは粒径が粗く、それより北側では再び細粒となっている。このような前浜の底質中央粒径の分布は、図-3.7, 3.8に示した汀線の変化と比較すると、侵食を受けた海浜では粒径が粗く、堆積性の海岸では細粒となっており、中央粒径の分布と侵食・堆積特性とは良く対応することがわかる。

次に、前浜勾配については、中央粒径が大きい場所では前浜勾配が急になっている。この分布も図-3.7, 3.8の汀線変化と良い対応を示し、侵食を受けた海浜では前浜勾配が急に、逆に堆積性海浜では緩勾配となっている。以上のことから、海浜が侵食されると前浜勾配が急になるとともに、前浜の底質の中央粒径が大きくなることが明らかである。さらに、図-3.11の前浜勾配の分布図において、1984年と1985年の値を比較すると、玉田海岸付近では前浜勾配の大きい部分が南側へ広がり、また大小志崎付近では北側へ広がっている。さらに、波崎漁港の北側区域でも前浜勾配が急な区域が北側へと広がっている。既に述べたように、前浜勾配の大きい箇所は侵食域と良く対応する。したがって前

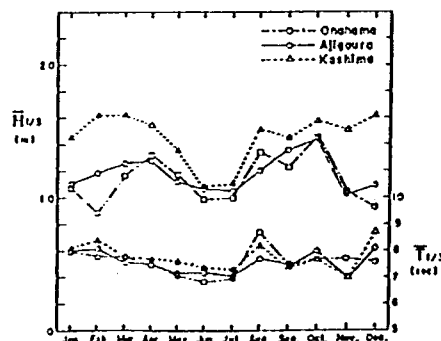


図-3.10 小名浜，阿字ヶ浦，鹿島港での月平均有義波高

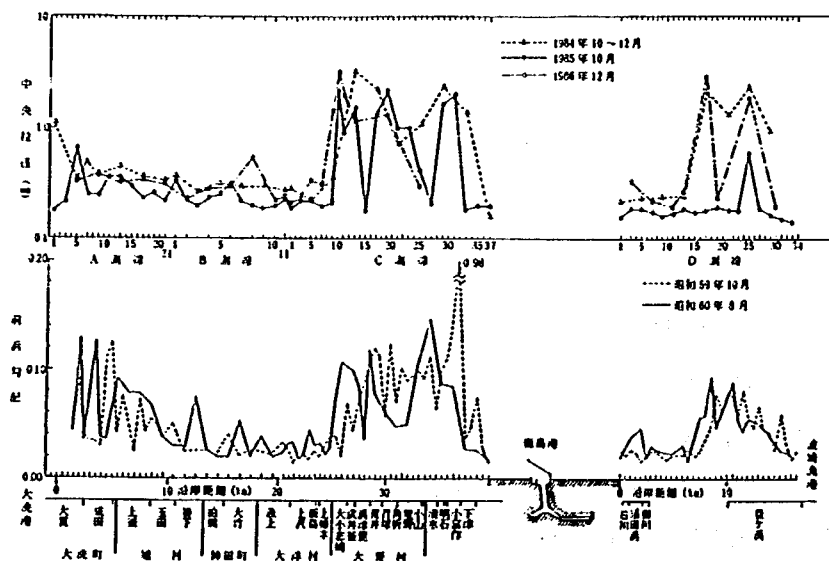


図-3.11 鹿島灘沿岸の前浜（低潮部）の中央粒径と前浜勾配の変化

浜勾配の大きい箇所が沿岸方向に広がった点は、1984年より1985年の間で侵食を受けた区域がさらに広がったことを示していると考えられる。逆に言えば、現地海岸の調査を行う場合、前浜勾配と底質粒径の沿岸方向分布に着目することは、海浜が侵食されつつあるか、あるいは堆積傾向にあるかを判断する上で良い指標となることがわかる。

前浜の底質粒径調査は、前浜の低潮部、高潮部および後浜の3カ所で行っているため、それらの沿岸分布を重ねて図示すると図-3.12となる。なお、測定点の区別は次のようである。前浜（低潮部）資料はスワッシュゾーンの下部において、また前浜（高潮部）資料は最大打ち上がり点付近で採取した。さらに後浜資料は護岸の根元、または浜崖上部より採取した。図には同じ底質資料より求めたふるい分け係数も示した。中央粒径は前浜（低潮部）において変化が一番顕著である。前浜の高潮部、後浜となるにつれ特性は顕著でなくなる。上段に示したふるい分け係数の分布は、中央粒径の分布と良い対応を示し、中央粒径が大きいとふるい分け係数が著しく大きくなることが分かる。鹿島灘沿岸では中央粒径の大きい箇所は侵食を受けた海浜と良く対応するのであるから、侵食区域ではふるい分け係数も大きいと言える。

底質の粒度に着目した整理法は良く用いられる方法であり、それによって重要な特性が見出されることは上述のとおりである。ここでは粒度組成に加え、さらに前浜（低潮部）底質の比重に注目し、その沿岸分布を調べた（図-3.13）。図には1984年～86年の3回の測量値が示される。縦軸には、海岸全域での底質の平均比重からの偏差を平均値で割った値がとられている。1984年のデータによると、大洗港より南側約8km地点までと、鹿島港より大小志崎までの区間で平均的に比重が大きく、その間では逆に比重が小さい。この分布形は図-3.11に示した前浜勾配と中央粒径の分布と再び良い対応を

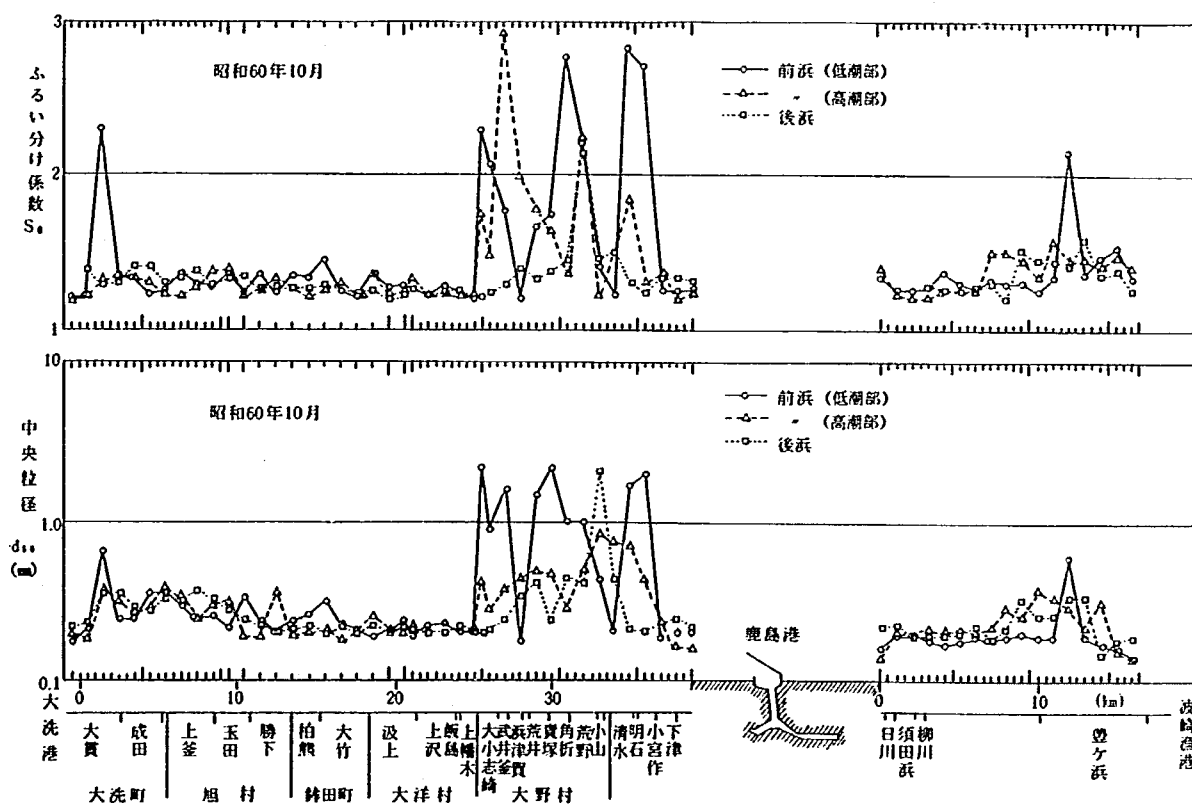
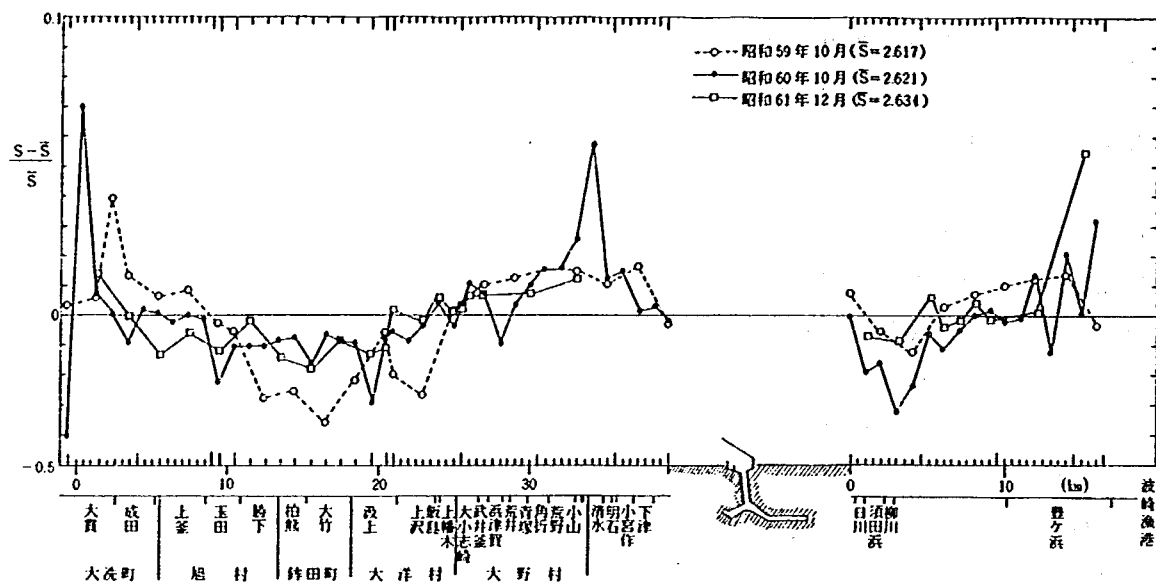


図-3.12 鹿島灘沿岸の前浜（低潮部、高潮部）、後浜の底質の沿岸分布



図一 3.13 鹿島灘沿岸の底質の相対比重の沿岸奉公分布

示す。また1985, 86年の値もほぼ同様な特性を示す。結局、侵食された海浜では前浜勾配、中央粒径、ふるい分け係数が大きくなるとともに、比重の大きな底質が存在することがわかる。

3.5 構造物周辺の海浜変形の詳細な検討

前章では鹿島灘沿岸の全般的な海浜変形の特性を把握した。その中でも大洗港周辺、鹿島港北海岸および波崎漁港周辺で顕著な海浜変形が生じていることが分かった。そこで以下では各地区の海浜変形をより詳しく述べる。

3.5.1 大洗港周辺の海浜変形

大洗港では以前から土砂の堆積が見られた (Krausほか, 1981) が、最近になって沖合の防波堤が完成したことにより海浜変形が著しくなった。大洗港では1984年7月までの間に港の拡張を目標として沖合防波堤が建設された (図一3.14)。1978年4月を基準とし、欠側区間を除いて各年の汀線変化状況をまとめると図一3.14となる。この海岸ではENE方向からの入射波が卓越する (図一3.9) が、この波により港内では時計回りの循環流が生じ、港の外側から港内へと底質が移動し堆積する。特に沖合防波堤の工事が始まった1981年9月以降、堆積域が南側に大きく広がった。一方、測線No.9の地点以南の海浜では侵食が進んでおり、しかも港から離れるにつれて汀線後退量が小さくなることから判断すると、侵食土砂量の相当部分が港方向へと流れたものと考えられる。また汀線の前進量と後退量とを比較すると、後退量の方が小さいが、これは侵食が高い浜崖を形成させつつ進み、崖からの土砂

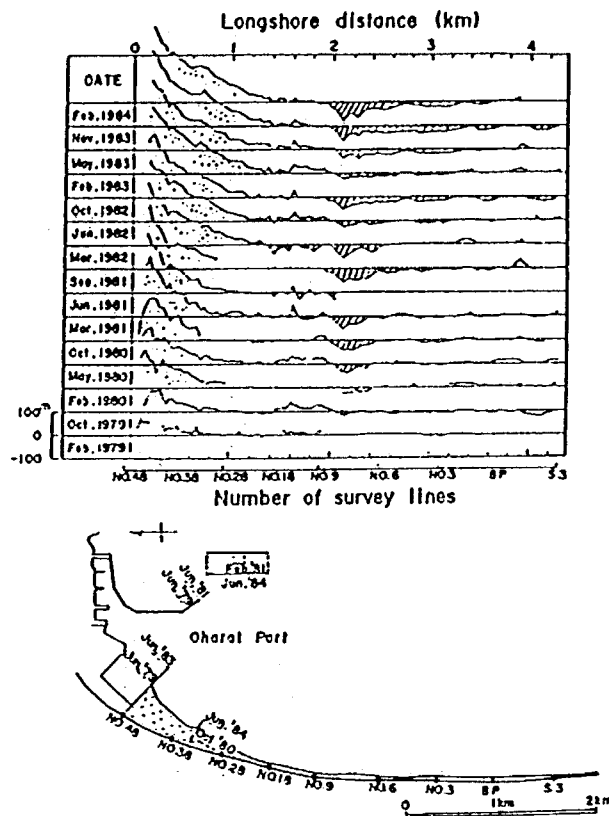


図-3.14 大洗港周辺の汀線変化状況

供給量が多かったため後退量が小さく現れたものである。測線No. 9とNo. 3の間では侵食が著しいが、No. 6付近では1984年以降海岸護岸が延長300mにわたって倒壊した。

汀線の経年変化に着目して1978年以降の汀線変化を示すこともできる(図-3.15)。港内の汀線変化

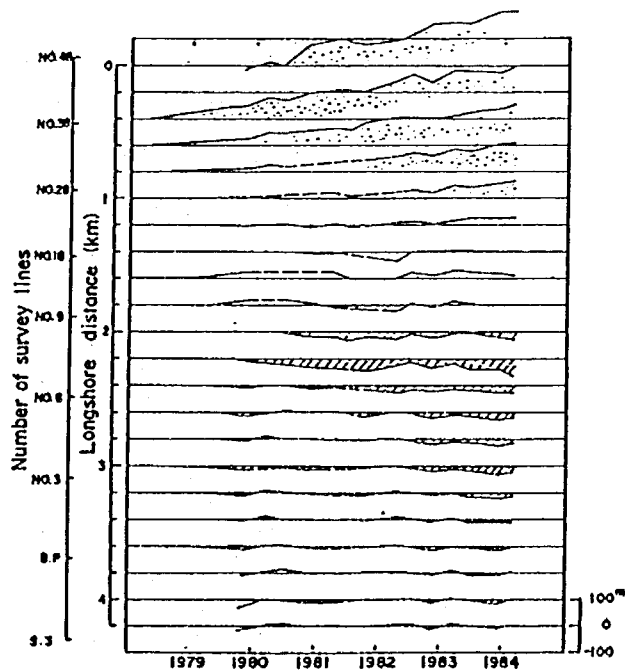


図-3.15 大洗港周辺の汀線の経年変化

ではNo. 38の200 mの前進が最大である。また 1.0~1.6kmの区間では最初はあまり変化がなかったが、1982年以降堆積が生じた。侵食域における汀線後退量は最大でも約60 mと前進量に比較すると小さい。また侵食の生ずる時期に関しては、最初2.2km付近で1979年10月頃汀線後退が始まったが、時間の経過とともに侵食域が南側に広がり、1983年には3.2km付近まで侵食域となったことが分かる。

汀線は図-3.14, 3.15のように経年的変化を示すが、同じ期間において例えば測線No. 29のT.P. 0 mよりT.P. -12 mまでの等深線の基準点からの距離（以下、等深線距離と呼ぶ）の変化を調べてみると（図-3.16）、T.P. 0 mからT.P. -7 mまでの等深線距離は互いに良く似た変化を示し、次第に増

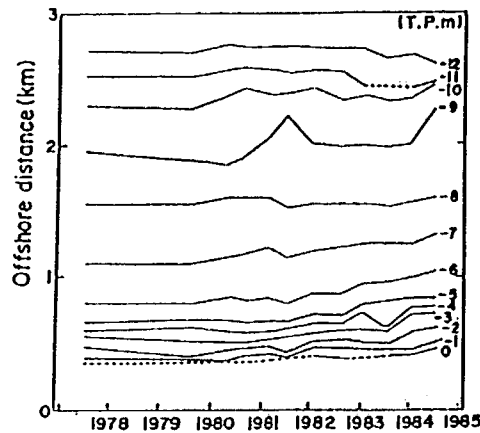


図-3.16 大洗港周辺の等深線距離の経年変化

加したことが分かる。等深線の前進量は相当大きく、例えばT.P. -5, -6 mの等深線距離は1978年から1984年までに各々200 m, 230 mも増加した。一方、T.P. -9, -10 mの等深線距離にはかなり大きな変動が見られる。沖合防波堤の設置水深が約10 mであること、また変動の生じている時期が建設時期とはほぼ一致する（図-3.14）ことから、これらの等深線距離の変動はこの構造物の影響と考えられる。

測線No. 29ではT.P. -7 m付近までの等深線距離の時間的变化は汀線のそれと良く似ていることが分かった。そこで空間的意味でもそれが成立するかどうかを調べるために、代表例としてT.P. -2 mとT.P. -6 mの等深線距離を選び、1977年6月を基準とした変化量を算出した（図-3.17）。汀線変

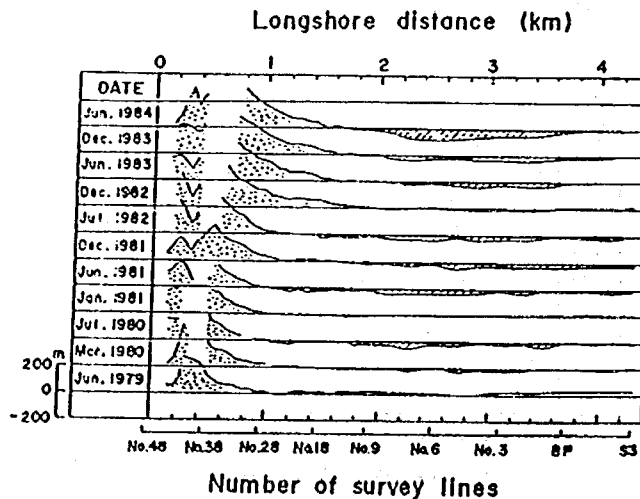


図-3.17 T.P. -2 mの等深線距離の変化状況

化 (図-3.14) と全体的変化状況は良く似ている。しかし汀線はNo. 9付近で急激に後退しているのに対し、T.P.-2 mの等深線距離ではその変化が緩やかである。同様にT.P.-6 mの等深線距離の変化を調べると (図-3.18), その変化状況は図-3.14, 3.17と良く似ている。これらの事実から海浜断

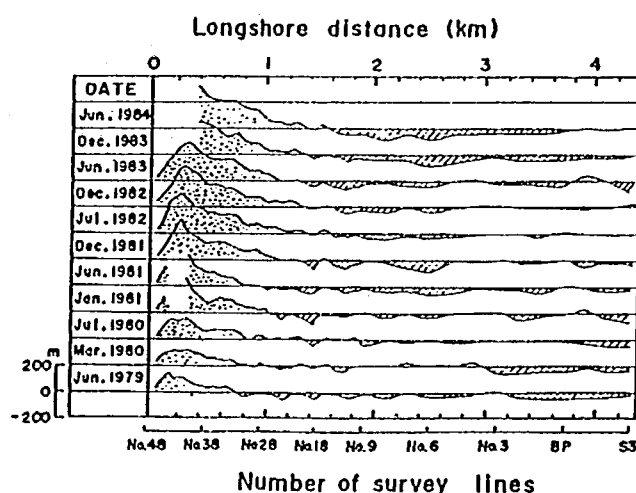


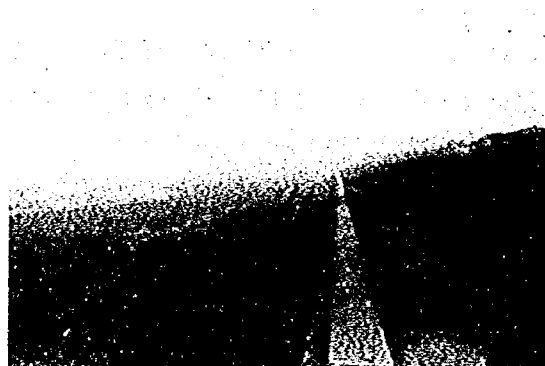
図-3.18 T.P.-6 mの等深線距離の変化状況

面は一体的、一次元的に変形したことが分かる。さらに図-3.14, 3.17, 3.18によると、汀線や等深線の前進量は後退量よりずっと大きく、見かけ上土砂収支がとれていない。この原因は、後述するように陸域の侵食が激しく、ここが漂砂源となり、大きな汀線変化を伴うことなしに侵食土砂が港内に堆積したためと考えられる。

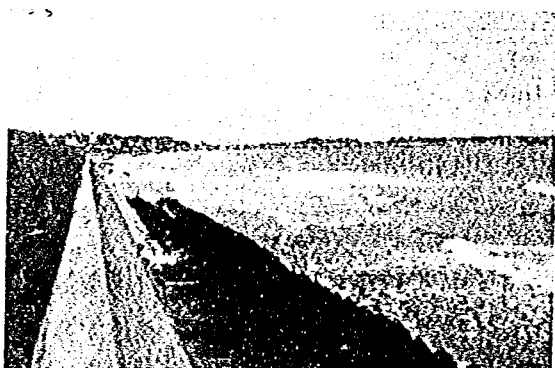
最後に海岸侵食状況を写真によって調べた。大洗港とその南側の海浜の1984年7月の状況 (図-3.19) は、大津漁港周辺の海浜状況 (図-3.4) と良く似ている。この海岸においても沖合の防波堤の建設に伴って港内には多量の土砂が堆積している。一方、大洗港の南の測線No. 6付近では1984年6月には海岸護岸の前面に広い前浜があり (図-3.20), 護岸は安定していた。ところがその後急激な変化が生じ、同年10月5日には前浜は消滅し、護岸前面を波が直接洗うようになった (図-3.21)。また1985年2月27日になると護岸は倒壊した (図-3.22)。また隣接の自然海岸では高さ約5 m以上の浜崖が形成された (図-3.23)。この状況は大津漁港周辺の海岸侵食状況と良く似ており、海岸侵食に伴う前浜の消失によって護岸は容易に倒壊してしまうことが明らかである。



図一 3.19 大洗港とその南側の海浜の
海岸状況 (1984年7月)



図一 3.20 大洗港南側の海岸状況
(1981年6月)



図一 3.21 大洗港南側の海岸状況
(1984年10月)



図一 3.22 大洗港南側の海岸状況
(1985年2月)



図一 3.23 大洗港南側の自然海浜の
海岸状況 (1985年2月)

3.5.2 鹿島港の北側海岸の海浜変形

鹿島港の北側の汀線変化と前浜勾配については前章で述べた。ここでは海浜形状を詳しく述べる。鹿島港の北側の海浜の1984年10月の深浅図(図-3.24)によると、沿岸距離約26km地点に位置する大

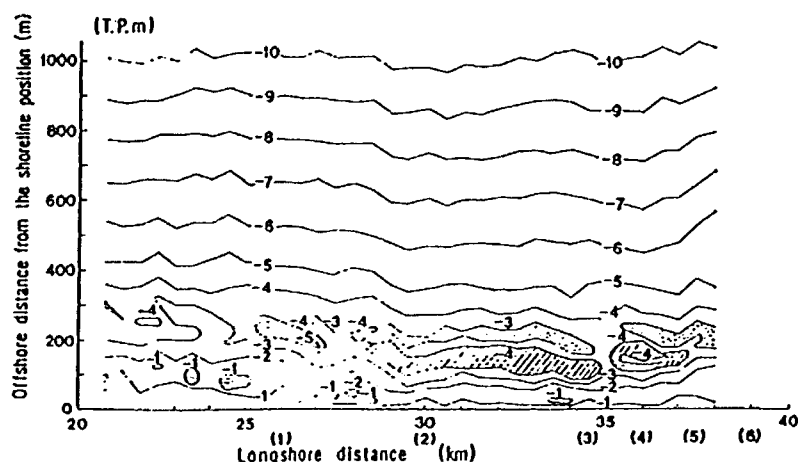


図-3.24 鹿島港北側の海浜の深浅図(1984年10月)

小志崎から39km地点の下津海岸の区間では前浜のすぐ沖が急深であり、大規模なバーが発達していることが分かる。バーのクレストは水深約3mにあり、トラフは約4mの所にある。沿岸距離36~39km地点に位置する明石海岸から下津海岸では、後述するように過去の海岸写真によると広い前浜の緩勾配海浜が存在したが、最近では前浜が狭くなった。このように海岸侵食の生じた場所とバー・トラフの発達位置(図-3.24)とはかなり良い対応を示す。また鹿島港の建設以前からこの区間にのみ大規模なバー・トラフが発達し、それより北側では緩勾配の海浜が存在していたとは考えにくい。結局、北向きの沿岸漂砂が阻止されたことによる侵食が下津海岸付近で最初に生じ、それが次第に北側へ広がったと考えた方が矛盾が少ない。正確には今後深浅測量を行い、それを図-3.24と比較すれば明らかになるであろうが、上記の推定が正しいとすれば、バー・トラフの発達状況から判断して現在は影響が大小志崎まで及んでいると考えられる。下津海岸から計算すると、影響域は約13kmとなる。

次に経年的な侵食状況を写真により明らかにする。まず下津海岸の1938年の状況(図-3.25)によると、緩勾配の海浜が広がり、多数の海水浴客が見られる。1976年の夏(図-3.26)となると、1938年当時と比較して前浜勾配はやや急になったが、それでも地曳網を行うことができた。その後1980年になると(図-3.27)、前浜は狭くなり、かつて行われていた地曳網を行うためのスペースはなくなった。また海岸の侵食を防ぐために階段護岸が設けられている。この写真では見えないが、階段護岸の近くには突堤が設置され、人工構造物で守られた海岸となっている。これらの構造物により下津海岸では侵食が軽減されたが、代りにさらに北側の区域で侵食が進んだ。例えば下津海岸の北側の小宮作海岸では海岸護岸前面の前浜が完全に消失し、護岸前面を波が洗っている。

さらに下津海岸の約1kmに位置する明石海岸の侵食状況を写真で調べる。まず明石海岸の1980年7月に撮影された海岸状況を図-3.28に示す。この段階では海岸護岸の前面に広い前浜が広がっており、前浜上には植生が見られる。植生が存在することは、海浜がかなり長い間安定していたことを示していると考えられる。1986年9月15日の海岸状況(図-3.29)によると、海岸侵食により前浜は完全に



図-3.25 下津海岸の海岸状況 (1938年)



図-3.26 下津海岸の海岸状況 (1976年)



図-3.27 下津海岸の海岸状況 (1980年)

消滅し、護岸の法先まで波が到達している。このような地形変化は、沿岸漂砂の不均衡に基づく海岸侵食によるものと考えられる。何故ならば、海岸の南には鹿島港があり、そこで北向きの漂砂は阻止されるからである。

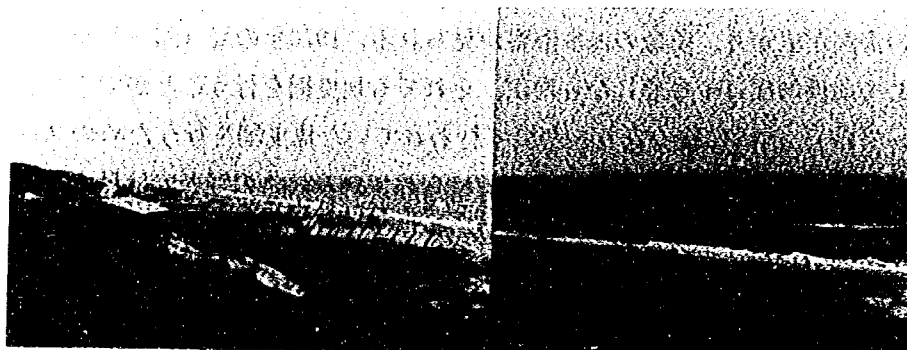


図-3.28 明石海岸の海岸状況 (1980年7月)

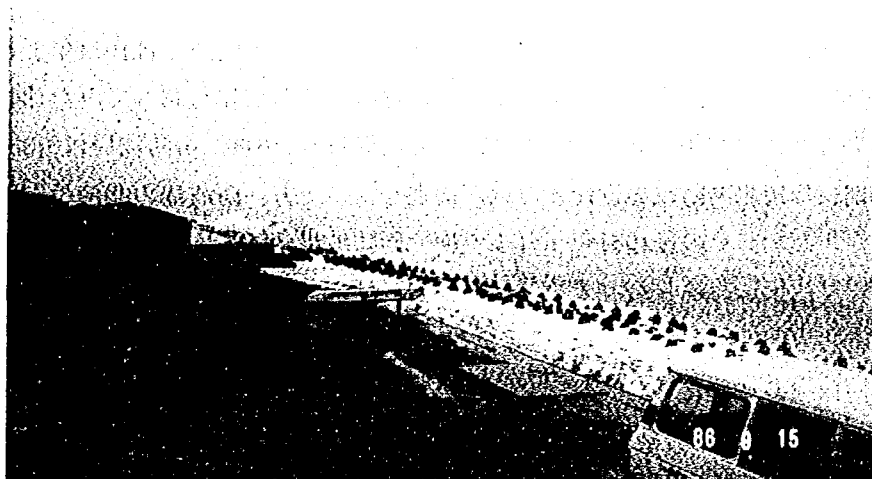


図-3.29 明石海岸の海岸状況 (1986年9月)

3.5.3 波崎漁港周辺海岸の海浜変形

利根川河口に隣接する波崎においては、1974年から漁港の建設が始まった。漁港の防波堤は経年的に延長され、1984年までに南北二つの防波堤が完成した(図-3.30)。防波堤が延長されるにつれ港内に

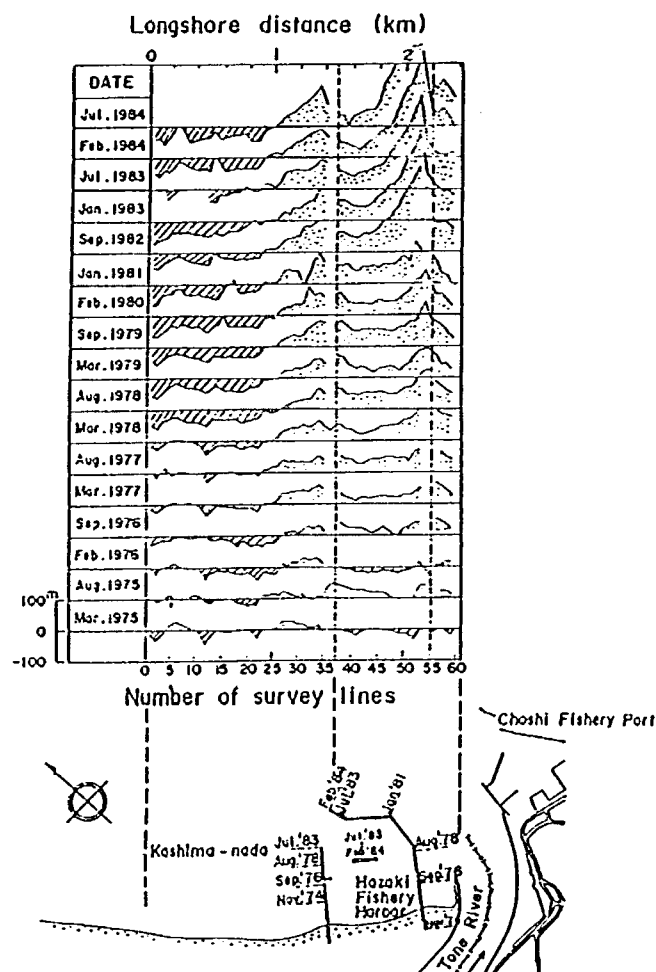


図-3.30 波崎港周辺の汀線の時空間変化

には土砂が堆積し、また北側の海浜では海岸侵食が起きた。この漁港周辺では1974年より毎年2回ずつ深浅測量が行われているので、このデータを用いて汀線の時空間変化を調べてみた(図-3.30)。防波堤建設工事の始まった後の1976年9月になると、北防波堤は約470m、南防波堤は約360mと相当長くなった。この時期には南北両防波堤近傍で汀線が前進した。一方、防波堤の北側の測線No. 12~No. 26の区間では侵食が生じた。その後1981年1月まで南北両防波堤はさらに沖方向に延長されたが、これに伴い港内の汀線は次第に前進した。また北側の侵食域はNo. 0よりも北側へ及んだ。1981年1月までは海岸線とはほぼ直角方向に防波堤が延ばされたが、1981年から1984年の間に汀線と平行な防波堤が建設され、また北防波堤も延長された。しかしこの工事により港内での汀線の前進はさらに激しくなり、最大263mも汀線が前進した。防波堤の延長に伴い、北防波堤の北側における汀線も前進したが、その前進量は港内の変化と比較すると小さい。この理由は次のようである。まず侵食領域が北西方向へ広がったことから判断すると、この海岸での沿岸漂砂の卓越方向は北西方向である。すなわち卓越波の入射方向は初期汀線の法線に対して時計回りの方向である。この入射条件のもとで防波堤の遮蔽領域では南東方向への沿岸流が生じ、これにより北防波堤のすぐ北側には土砂が堆積したと考えられる。港内の地形変化の原因に関しては、上記の機構による漂砂の回り込みに加え、利根川からの流出土砂が静穏域に入って堆積したことも重要な要素と考えられる。何故ならば、防波堤が漁港の沖側をふさぐような構造となって港内が静穏となりつつあった1981年以降において、急激な汀線の前進が見られたからである。

次に海浜断面形の変化を知るために、代表として測線No. 50を選んで等深線の変化状況を調べた(図-3.31)。T.P. 1 m ~ -5 m に対応する等深線距離は1975年以降経年的に緩やかに前進してお

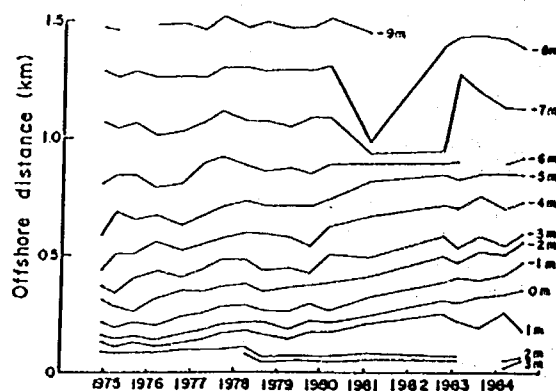
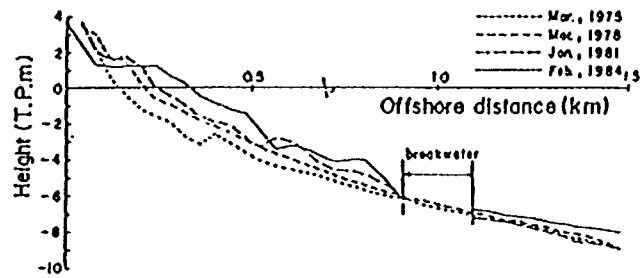


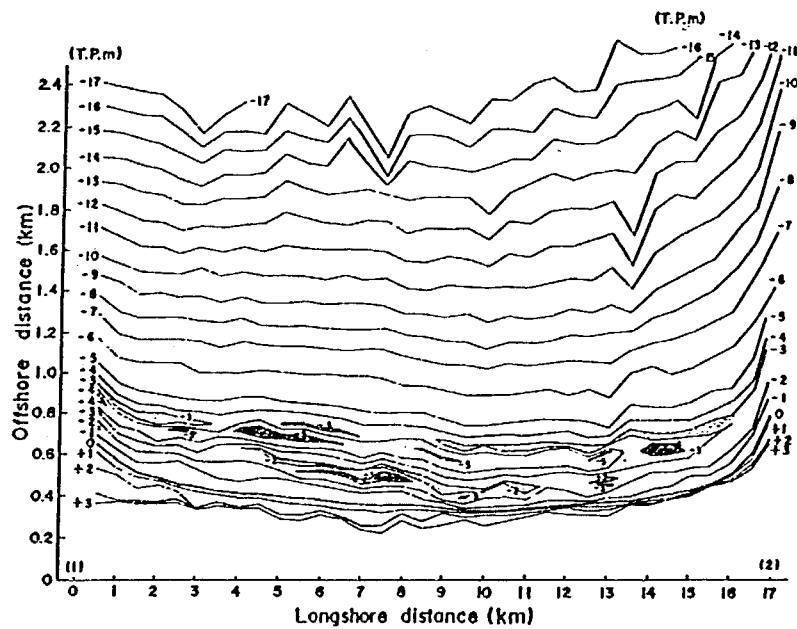
図-3.31 測線No. 50の等深線距離の変化状況

り、とくにT.P. 0 m ~ T.P. -5 m の等深線距離の変化はほぼ平行移動に近いものとなっている。またT.P. -7 ~ -9 m の等深線距離は1980年以後その変化が大きいが、これはこの付近に防波堤が建設されたためである。また、1975年3月から1984年2月までの代表的な4時期の断面形を調べると(図-3.32)、約9年間の間に最大2.8mの厚さの堆積が生じたことが分かる。

最後に1984年7月に行われた鹿島港から波崎漁港までの区間の深浅図(図-3.33)を示す。沿岸距離で約8 km地点以南では前浜付近の等高線間隔が密であり、また例えばT.P. -2 m と0 m の等深線の間隔が沿岸距離8 km地点以北の地域と比較して狭く、急深であることが分かる。これらの特徴は鹿島港の北側の深浅図(図-3.24)で得られたものと基本的に一致する。ただし鹿島港の北側に存在した



図一 3.32 測線No. 50での海浜断面形の経年変化



図一 3.33 鹿島港から波崎漁港までの区間の深浅図 (1984年7月)

大規模なバー・トラフの形成は見られない。この原因としては、両地点の漂砂量の相違や、構造物の規模、建設後の経過年数の相違などが考えられる。

3.6 考 察

前章までの議論により茨城県沿岸における海岸侵食の実態が明らかになり、いくつかの海岸で相当大規模な海岸侵食が進んでいることが分かった。これらの侵食形態は二つに大別される。第1は、構造物の建設によって波高・波向分布が変化し、これに起因して構造物の遮蔽領域外から領域内へと向かう漂砂によって地形変化が生ずるタイプである。第2は、一方向に卓越した沿岸漂砂が存在する場所に構造物が造られ、漂砂移動が阻止されて地形変化が生ずるタイプである。前者には大洗漁港周辺や、近年の大洗港周辺の地形変化が属し、また後者には鹿島港や波崎漁港周辺の地形変化が属すると

考えられる。両タイプを比較すると、前者ではその影響は比較的狭い範囲に止まり、またその対策も突堤等の漂砂制御構造物を早期に築造すれば一応有効と考えられる。ところが後者の場合、対策は容易ではない。すなわち長い海岸線において漂砂が連続的に移動していた海岸に構造物が建設され、漂砂の連続性が断たれると、その影響は長年月の間には相当大きく広がる可能性がある。この場合、海岸線は卓越入射波の碎波波向と直角になるまで変形し続けるであろう。

漂砂の連続性を確保する方策として人工的に砂を運搬するサンドバイパス工法がある。この工法は現在わが国では試験的に行われているのみであって、まだ一般化されていない。そのため漂砂の連続性を人為的に保つことは現状では困難である。サンドバイパス工法の代わりに、わが国においては海岸侵食防止対策として突堤や離岸堤等を設置して漂砂を制御しようとしたり、あるいは消波ブロックや護岸を汀線付近に設置する方法が採られている。これらのうち前者の対策では一旦海岸線に一つの構造物が造られて漂砂が阻止されると、漂砂の下手の海岸に侵食が及び、それを防止するために次々と構造物設置の必要が生ずる。究極的には海岸線に沿ってある間隔で構造物が造られることになる。また後者の対策では前浜の維持に対してすら有効でないことは明らかであって、沿岸方向に侵食領域が次々と広がるために、結局長い砂浜海岸の相当部分は消失し、そこは消波ブロックに置き換えられることになる。

以上の点を考慮すると、やはり根本的には漂砂の連続性を確保する方策について検討することが重要と考えられる。しかし当面この策を選択することは困難であって、しかも時間が経過すれば侵食域は益々広がってしまうことに注意すべきである。そのため次案としては、海岸線に沿っていくつかの構造物を造り、上手からの沿岸漂砂量が0という境界条件のもとにおいても安定な形状を持つような海岸に変えていくという方策が考えられる。この方法を用いれば海岸線に沿って延々と消波ブロックを置くことよりも広い前浜が確保しうるはずである。

3.7 結 論

本研究によって得られた主要な結論を列挙すると以下のとおりである。

- (1) 大津漁港と鶴ノ岬の間には、いくつかの岬が存在する。それらの岬の間の海浜では、波向の変化に応じて岬の漂砂上手側に堆積、下手側に侵食が生じ、しかもそれが時期により逆の傾向となる。これは当海域の波向が季節的に変動することにより説明できる。
- (2) 大津漁港、大洗港周辺では防波堤の延長に伴って港内に堆砂が、また港外では侵食が生じた。
- (3) 鹿島灘沿岸では大洗港の南側、鹿島港の北側および波崎漁港の北側で侵食が進んでいる。侵食域では前浜勾配が急になり、また前浜付近の底質粒径の粗粒化が著しい。
- (4) 鹿島港の北側海岸では延長約13kmにおいて大規模なバーが発達している。バーのクレストは水深約3 mにあり、トラフは約4 mの所にある。この地形は、海岸侵食によって生じたと推定される。
- (5) 波崎漁港では防波堤の延長に伴い大量の土砂が港内に堆積した。特に汀線と平行な防波堤の建設後著しく汀線が前進した。これは主として静穏域ができたため利根川からの流出土砂が堆積したものと考えられる。

- (6) 茨城県沿岸の大規模な侵食の形態は二つに大別される。第1は、構造物の建設によって波高・波向分布が変化し、これに起因して構造物の遮蔽領域外から領域内へと向かう漂砂によって地形変化が生ずるタイプである。第2は構造物の建設により漂砂の連続性が断たれたとき地形変化が生ずるタイプである。前者に対しては、防波堤等の建設と同時に適当な位置に防砂突堤等を造ることによって対応できると考えられる。一方、後者に対しては根本的対策としてサンドバイパス工法等により漂砂の連続性を確保することが重要と考えられる。

付記 本報告は筆者が茨城県の住谷廸夫氏、小林洋三氏と共同してまとめた論文（宇多ほか，1986）をもとに、その後の調査データを加筆してまとめたものである。

引用文献

- 茨城県三浜港湾事務所（1981）「大洗波浪調査報告書」：332p.
- 茨城県三浜港湾事務所（1983）「大洗波浪調査報告書（気象・波浪観測）第2報」：372p.
- Kraus, N.C.・針貝聡一・久保田 進（1981）大洗海岸における汀線変化シミュレーション：土木学会第28回海岸工学講演会論文集，295-299.
- 佐藤昭二・田中則男・佐々木克博（1974）鹿島港建設に伴う周辺海底地形の変化について：土木学会第21回海岸工学講演会論文集，147-153.
- 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃・橋本典明（1982）沿岸波浪観測年報（昭和55年）：港湾技研資料，417，80-94.
- 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃（1983）沿岸波浪年報（昭和56年）：港湾技研資料，445，143-157.
- 高橋智晴・広瀬宗一・橋本典明・村田 繁（1984）沿岸波浪年報（昭和57年）：港湾技研資料，480，152-160.
- 宇多高明（1984）波向・海浜流の長期・短期観測データの比較：土木学会第31回海岸工学講演会論文集，421-425.
- 宇多高明・古川博一・神田康嗣（1984）離岸堤および岬周辺における海浜流の現地観測：土木学会第31回海岸工学講演会論文集，416-420.
- 宇多高明・住谷廸夫・小林洋三（1986）茨城県沿岸の海岸侵食実態：地形，7，141-163.
- 運輸省第二港湾建設局鹿島港工事事務所（1982）「鹿島港の波と風」：299p.
- 運輸省港湾局防災課・港湾技術研究所水工部（1974）養浜工の概要：港湾技術要報，（社）日本港湾協会，73，7-33.

4. 人工岬工法に関する検討

4.1 ま え が き

近年、全国各地で海岸の侵食が進んでいる。これらの侵食を防止する工法としては、離岸堤や突堤工法など、いくつかの工法が用いられてきているが、最近新しい工法が提案されつつある。本論で取り上げようとする人工岬工法は、砂浜をできるだけ保全し、砂浜自体の持つ消波効果を最大限利用することを目的としている。

人工岬という用語はまだ確立したものではないので、最初に用語の説明を加える必要がある。まず、自然地形とのアナロジーより、ヘッドランド（岬）を人工的に造ることによって静的に安定な海浜を形成する、という方法がSilvester¹⁾によって提案された。これはヘッドランド・コントロール・システム (headland control system) と呼ばれている。その後土屋²⁾は静的だけでなく、動的な意味よりヘッドランドを利用して安定海浜を形成させる方法を提案し、その方式のことを安定海浜工法と呼んだ。また筆者も人工岬工法を提案している³⁾。前二者の工法は、卓越波の入射方向が全体的な海岸線方向とかなり大きな角をなす場合に適用される。波向が季節的に変動するときに生ずる地形変化を抑える効果よりも、ヘッドランドの下手側にフック状地形を形成させることに重点がある。一方、後者は、波の平均入射方向が全体的な海岸線方向とほぼ直角であるが、波向がかなり変動する場合において地形変化を抑制する効果を持つ。しかし、構造物を適切な間隔で造って、その間の砂浜を安定させ、砂浜の持つ消波効果を活かそうとする点においては両者は似ている。上述のように呼び名は種々あり、内容も少しずつ異なるが、ここでは人工的に岬を造るという考え方を重視するため、あえて全体を人工岬工法と呼ぶこととする。本報では、人工岬工法の有効性と問題点について、現地海岸や移動床模型実験のデータをもとに議論する。

4.2 ヘッドランドによる安定海浜の形成

最初にヘッドランド工法の実例を示す。

写真-4.1はSilvesterによってシンガポールの海岸において計画されたヘッドランドの実施例である。写真の中で、海岸線と平行な道路より海側はもともと埋立てによって造成された土地である。この海岸では地理的特徴より波はかなり斜め入射する。すなわち写真の手前側より奥の方向にかなり傾いた角度で波が入射する。このような斜め入射に対して安定な海岸線形状となるようにヘッドランドが造られ、その下手海岸にはフック状地形が形成されている。ただし、この海岸は熱帯のしかも島と島の間にあるため、我が国のように温帯に位置する沿岸と比較して作用する波はそれほど大きいものではない。したがって外洋に面した海岸において写真-4.1と同一のスケールのもので安定海浜を造ることは難しいことに注意が必要である。

ヘッドランドを用いて海浜を安定させる、ヘッドランド・コントロール・システムの原理は次のようである。すなわち、自然の砂浜海岸では一般にその海岸に来襲する波浪の卓越方向に対応して安定海浜が形成されるというものであり、岬のような固定的境界を人為的に構築してやれば、その間の砂

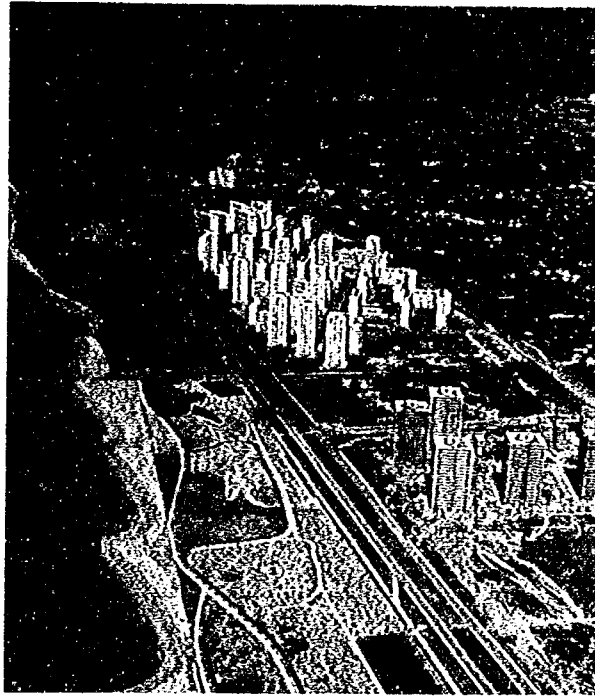


写真-4.1 シンガポールにおけるヘッドランド工
法の実施例

浜は上述のような安定海浜としてポケットビーチが形成される¹⁾。形成された海岸線は一般に対数螺旋線となることが知られている。原理的に見て、海岸線の全体の長さは直線状海浜よりずっと長くなる。沖合から入射する波の波向線を描けば容易にわかるように、海岸線が長くなるとともに単位長さ当りの波の作用エネルギー量は当然小さくなる。このことから海浜は変形前に比較してより安定となる。

ヘッドランドを造ったときの海岸線形状の模式図を図-4.1に示す。この種の図はもともとSilv-

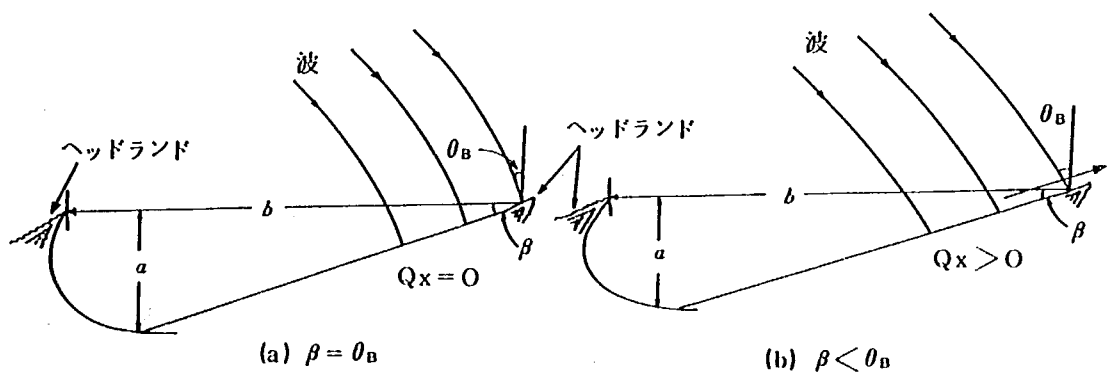


図-4.1 安定海浜の定義

esterによって提案されたものであるが、その後土屋により改良が加えられている²¹。ヘッドランドの具体的大きさと、形成されるフック状地形の規模を知るにはこの図と次の図-4.2とを利用する必

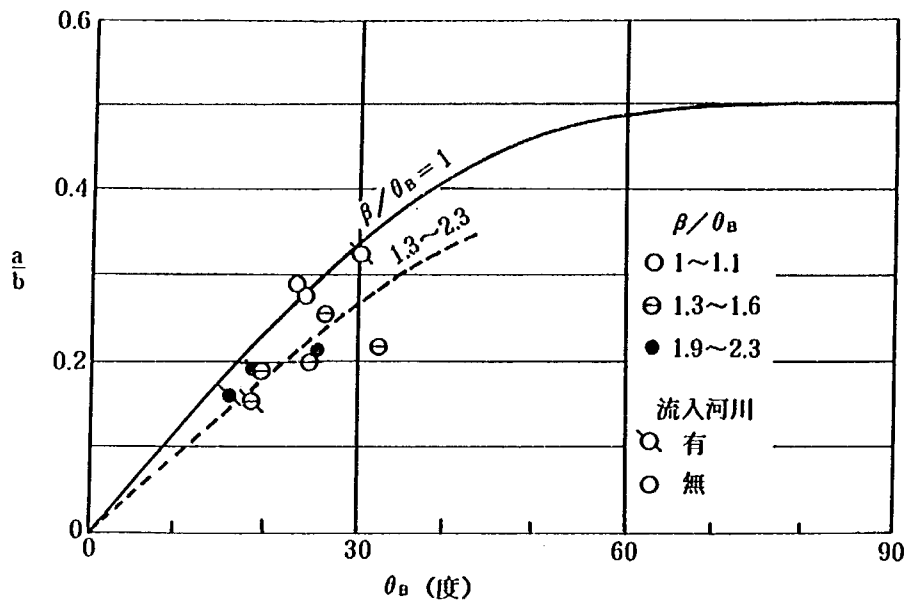


図-4.2 安定海浜の形状特性

要がある。図-4.1においては、2つの条件が考えられている。(a)は、2つのヘッドランドに囲まれた海浜で波向が汀線方向とほぼ直角になり、海岸沿いの全ての地点で沿岸漂砂がほぼ0となるものである。このような条件を満足するとき、海浜は静的安定海浜と呼ばれる。(b)はヘッドランド間の海岸線に対しては波が斜め入射する条件である。この条件では漂砂の上手側および下手側のヘッドランドを越えた漂砂の回り込みが存在する。2つのヘッドランドを越える漂砂量が同一であれば海浜は侵食されない。この条件を満足するとき、海浜は動的安定海浜と呼ばれる。

これら2つのタイプの各々について、図示するようにヘッドランド間の距離をb、最も湾入したときのヘッドランド先端と海浜との距離をaとし、それらの比 a/b が海岸への入射角 θ_0 との間でのような関係があるかを調べたのが図-4.2である。静的安定海浜に関しては、 a/b と θ_0 の間に実線で示す関係が成立する。 θ_0 が大きくなると湾入の程度が大きくなる。同様に動的安定海浜については、 β/θ_0 をパラメータとして a/b と θ_0 の関係が示されている。全体的海岸線方向と波の入射方向とのなす角は、屈折計算により求めることができる。 θ_0 が求まればまず適当な a/b の値がわかるので、可能最大汀線後退量を仮定することによって間隔の概算値が得られる。結局、安定海浜の形状は2つのヘッドランドを結ぶ線（これは海岸線の全体方向でもある）を基準とした波向によってほとんど定まるが、動的に安定な海浜を形成させるためには、さらに許容すべき沿岸漂砂量を規定するパラメータの一つである碎波角も知る必要がある。

注意すべき点としては、図-4.2のデータは海岸線に対してかなり大きい入射角で一方向から波が入射する条件のデータがほとんどであることである。すなわち $15^\circ \leq \theta_0 \leq 35^\circ$ の範囲にのみデータが存在する。 θ_0 が0に近い値をとると、実際の現地海岸では波向変動があるため、波が斜め入射することの効果より波向変動による効果の方が著しくなると考えられる。

図-4.2の特性は、もともと自然海岸のデータより得られたものであり、また対象とするヘッドランドのスケールはかなり大きいものである。そこで現地海岸において形成されているヘッドランドとフック状地形の例を調べ、その形成原因を考えておく。これは人工的にその種の地形を形成させたいと考える上で参考となるはずである。実例としては、土佐湾沿岸と房総半島先端に位置する館山湾沿岸の2例をあげる。図-4.3は土佐湾沿岸におけるヘッドランドとフック状地形の発達を示す。土佐

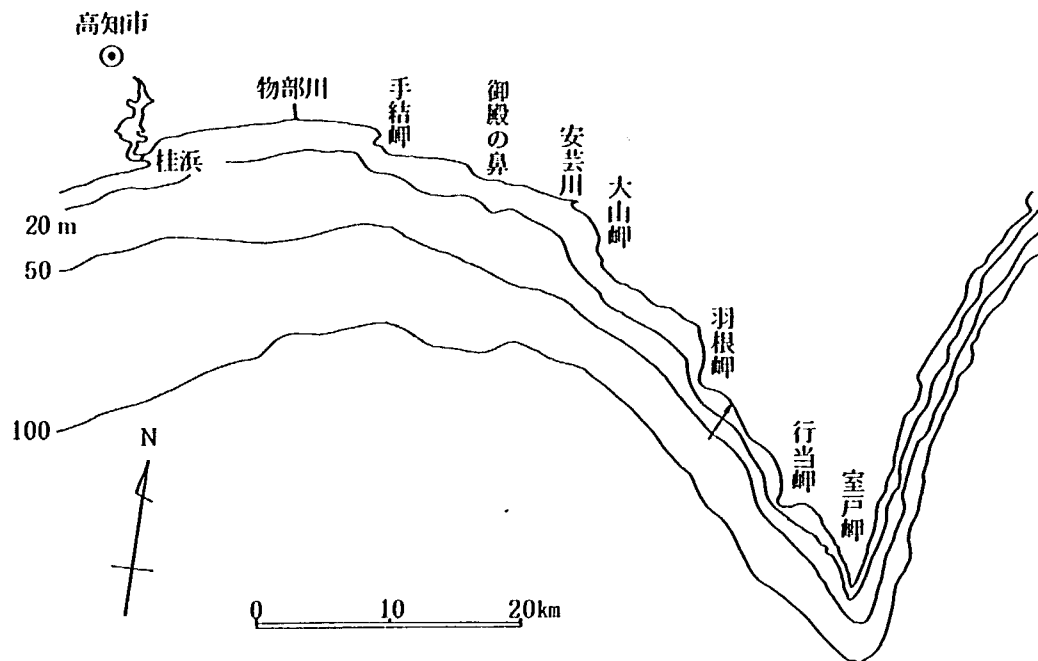


図-4.3 土佐湾沿岸におけるフック状地形の発達

湾はかなり深い湾であって、南に開いている。そのため南からの波の入射が著しい。これに対し、高知より室戸岬までの間の海岸線は南東方向に走っている。このため海岸に沿って湾奥へと向いた沿岸漂砂が生ずる。海岸線が直線的では入射波に対して安定とならないので、沿岸にはいくつかの岬とその背後のフック状地形が発達する。フック状の部分の多くは砂浜海岸である。写真-4.2は一つの例



写真-4.2 大規模な岬地形

として羽根海岸より南東方向、行当岬を望んだ状況を示す。行当岬は高さ約120mの海岸段丘である。その手前側には広い砂丘が広がっている。長い年月の間の波の作用にもかかわらず広い砂丘が存在することは、この海浜が安定なことを示す。なお、この写真を撮った位置の北西側には羽根岬がある。この岬も前方に見える行当岬も先端部は岩礁でできている。

土佐湾に続いてフック状地形が顕著に発達している例として、千葉県館山湾沿岸を例示する。図-4.4は館山湾の海底地形を示す。洲崎から館山までは半島状に突き出ており、北側に湾がある。こ

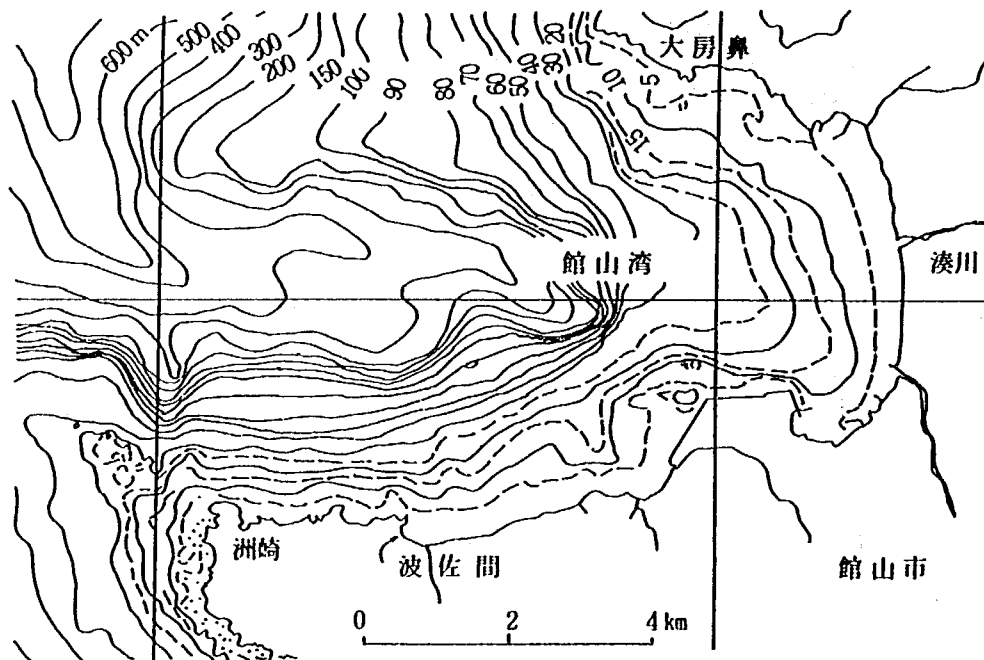


図-4.4 館山湾の深浅図

の湾の中央には海底谷が存在し、かなり急深である。この湾は北に向っているために、南側からの太平洋のうねりは遮蔽されている。しかし、冬期には相模湾において西風が強く、そのため西からの入射波はかなり強くなる。海岸の状況を図-4.5に示す。洲崎より波左間の間は岩礁であるが、波左間より東側にはおよそ6段のフック状地形が存在する。いずれも西端に岩礁や人工構造物があり、その東側に砂浜が広がっている。これらのフック状地形は、西風によって発達した風波によって形成されたものと考えられる。この場合、風向と半島の方向はほぼ同様に西方向であり、しかも図-4.4に示したように沖合が深いので波はあまり屈折せず西側より海岸へ入射する。このような条件のため図-4.5に示したフック状地形が発達したものと考えられる。

最後にヘッドランド周辺の海底形状と沿岸漂砂の関係について考える。ヘッドランドの間の海浜に波が斜めに入射すると仮定し、また波による漂砂の移動限界水深を h_c 、ヘッドランドの先端水深を h_f とする。ヘッドランドの先端水深 h_f が h_c に比較して小さい条件を考える。この条件のもとでヘッドランド周りの等深線形状は概念的に図-4.6のようになると考えられる。岬①の下手(右手)側には湾入部が形成されるとともに沖浜の海底勾配は緩くなる。逆に岬②の上手側では汀線が前進し、土砂が堆積するため海底勾配はやや急になる。ヘッドランドの先端水深が移動限界水深よりも小さい

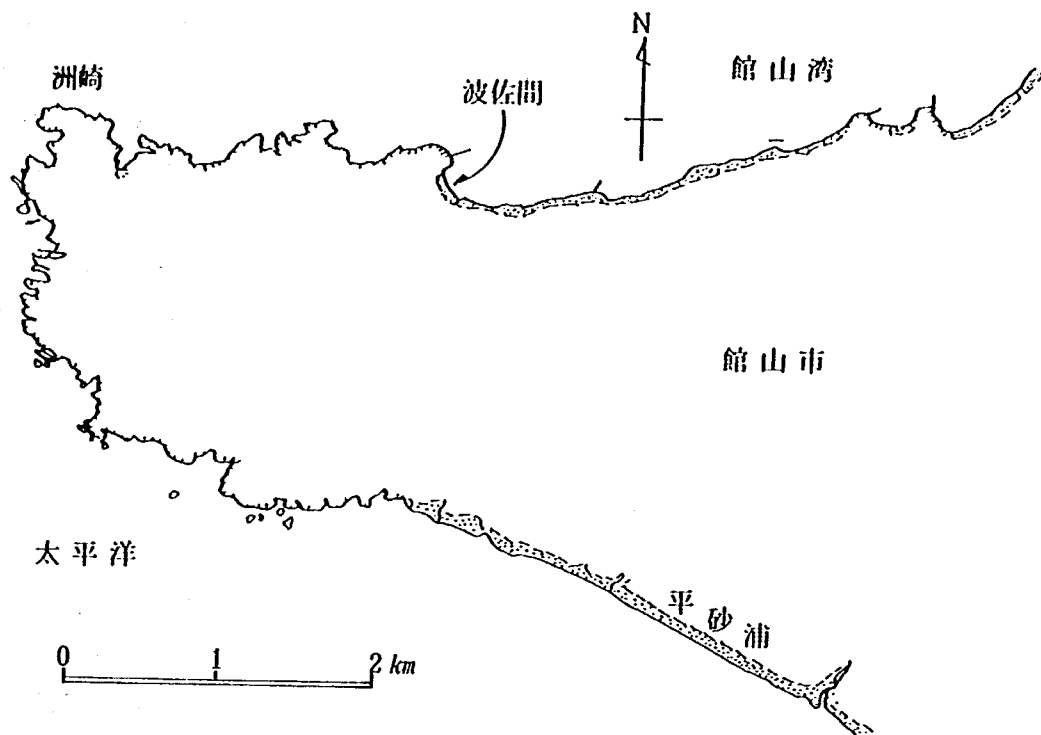


図-4.5 館山湾沿岸におけるフック状地形の発達

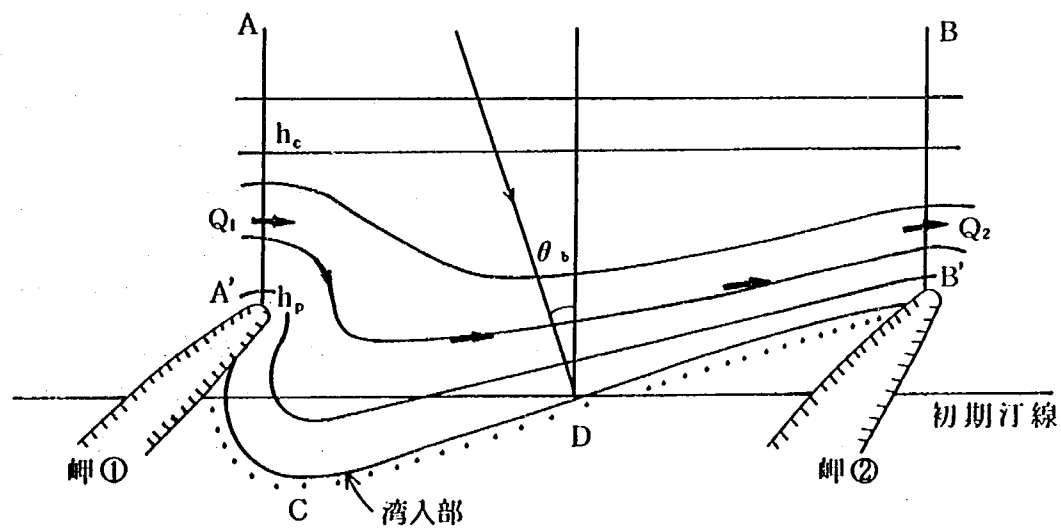


図-4.6 ヘッドランド周辺の深浅図 (概念図)

ために岬を越えて隣りの海浜へと向かう沿岸漂砂が生ずる。図示するように上手側からの供給量 Q_1 と下手への流出量 Q_2 が存在するが、もし $Q_1 = Q_2$ であれば海浜は動的な安定状態に置かれる。しかし上手からの供給量が減ると、下手側からの流出量は変化しないので、結局A B区間の土量は減少し、侵食されることになる。一般に外洋に面した海岸の移動限界は水深約10m程度にある。このため先端水深の小さい岬を作ったとすると、長期的には海岸の侵食は止まらない。

ヘッドランド工法を用いて安定海浜を形成させる場合の他の留意点として次のものがある。すなわちこの工法は基本的に沿岸漂砂を制御するものであるから、この工法を用いても浜の土砂量は増えない。どこかで汀線が前進すれば、他の場所では必ず汀線が後退する。全体として汀線を前進させるためには養浜を行うことが必要である。

4.3 離岸堤の利用による安定海浜の形成

動的安定海浜は離岸堤を利用しても形成させることができる。通常の離岸堤では堤長と開口幅（離岸堤の端と端の間の距離）との比は約0.5以下とかなり小さくとられる。例えば堤長100mに対し、開口幅は50m以下となる。ここで提案するのは、従来の離岸堤工法と比較すると開口幅を堤長に対してずっと長くとり、その間の長い海岸線を保存するとともに、その間の砂浜を安定形状に近づけようとするものである。この工法の利点は、広い砂浜を保つことができることである。また欠点としては、群として離岸堤を設置した場合と比較して漂砂制御効果が低下することである。以下、実験例を参考にして考察する。

実験では、幅24mの平面水槽の中に中央粒径0.22mmの砂で1/10勾配の一樣斜面を造り、その中に3基の離岸堤を設置して行った。実験時の水深は40cmとした。一樣斜面の移動床は、波を作用させると実験開始直後に岸沖方向漂砂によって大きく変形する。これは現地海岸における海浜変形とは異なるものなので、それによる影響をできる限り除くため造波開始後10分において離岸堤を設置した。離岸堤の模型諸元としては、現地海岸とのスケール比を1/50と考え、堤長を1.2m、開口幅を3.6m、離岸距離を0.75mに選んだ。離岸堤は透過堤とし、240gの異形ブロック模型で造った。離岸堤設置前の汀線形状は直線とし、碎波点における入射角が約 10° になるように波を入射させた。作用波はフルードの相似則のもとで $H_1 = 3.0\text{cm}$ 、 $T_1 = 3.0\text{秒}$ とした。波は造波開始後150分まで作用させた。

得られた結果のうち、汀線の経時変化を図-4.7に示す。3基の離岸堤背後では大きく汀線が前進し、その下手（左）側では逆に汀線は後退した。離岸堤間の汀線形は、波の入射方向にほぼ直角になるように変形したことがわかる。離岸堤の背後では消波効果により波高は低い。このため全体として左方向へ向かう沿岸漂砂は存在するものの、離岸堤背後では構造物設置前の漂砂量と比較するとずっと小さくなる。このような沿岸方向の漂砂量分布に応じて離岸堤間の砂浜は動的にほぼ平衡を保ち、通過漂砂はあるものの、汀線形は波の入射方向とほぼ直角となる。もしも離岸堤が存在しなければ漂砂量は大きいままであるからはるかに速く侵食が進んでしまう。

次に、汀線変化に対応させて代表的な断面形の特徴を調べてみる（図-4.8）。代表断面の位置は図-4.7に示す通りであり、A-A'は離岸堤背後の堆積断面、B-B'は侵食断面を表わす。離岸堤背後の堆積断面では次第に汀線が前進する。離岸堤背後の静穏域では砂は安息角を持った斜面を形成

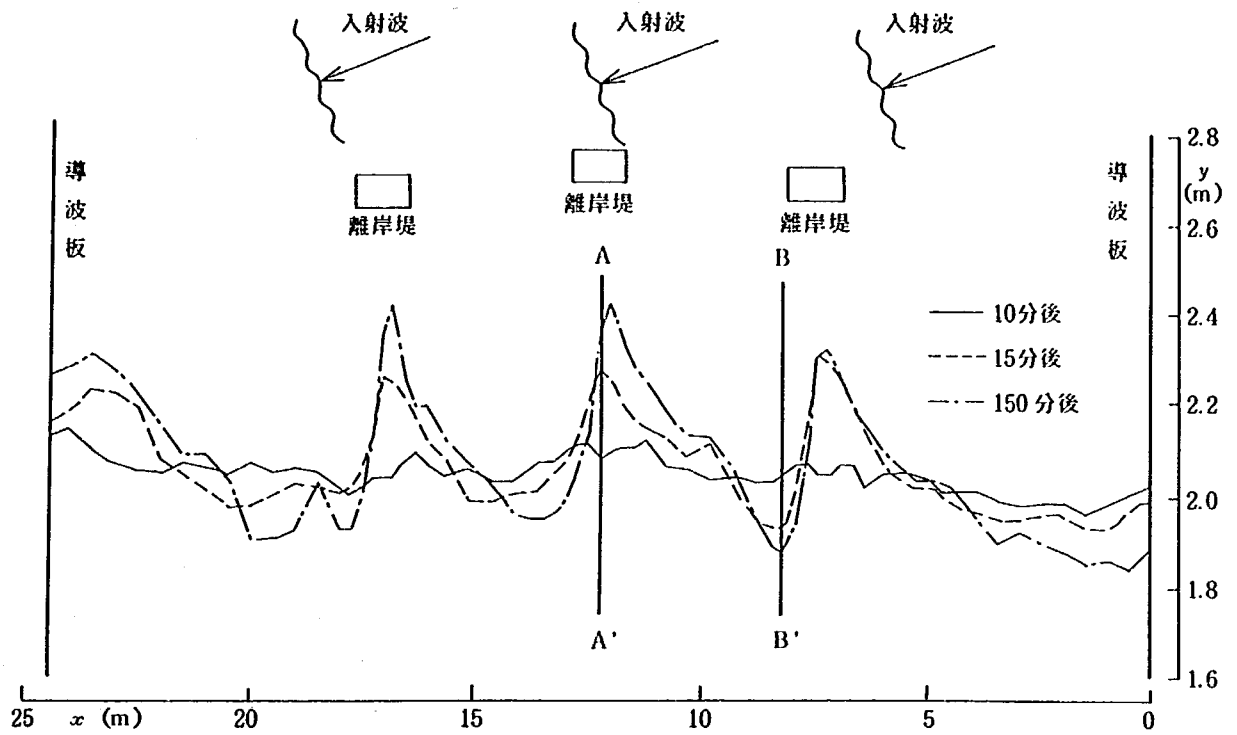


図-4. 7 離岸堤による動的安定海浜の形成 (汀線変化図)

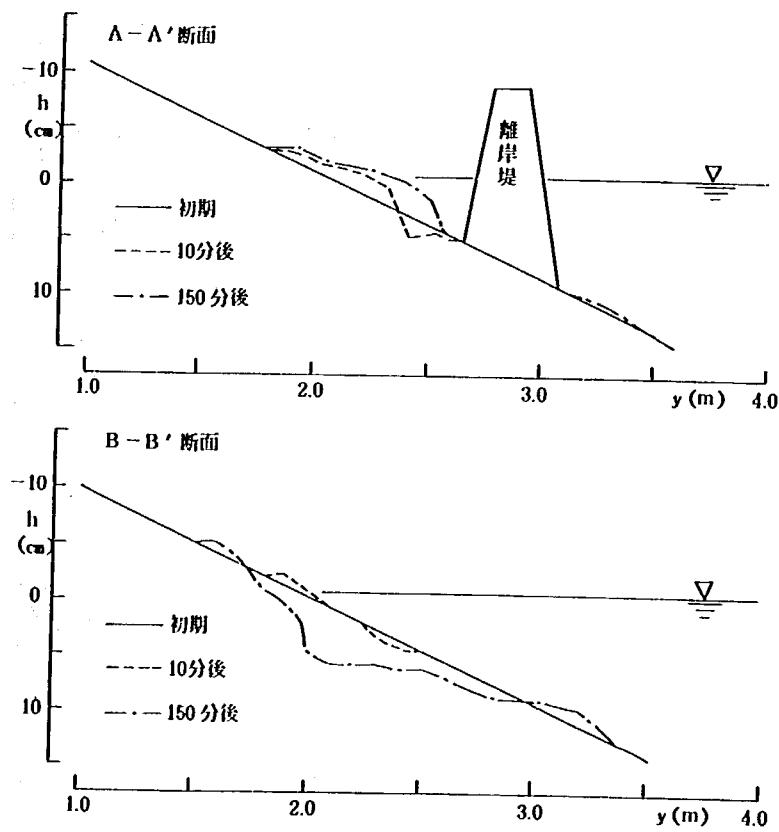


図-4. 8 代表2断面の形状特性

しつと前進する。この断面と対照的なのがB-B'断面である。沿岸漂砂によって侵食されるとともに、前浜勾配は急になる。逆に沖浜には緩やかな侵食平坦面が形成される。侵食された土砂のほとんどは沿岸漂砂により下手方向へと流出する。以上のように、適切な間隔で離岸堤を設置すると、離岸堤の下手側は侵食されて汀線が後退するが、全体としては安定形状へ向かって変形が起こる。離岸堤間の砂浜はほぼ動的安定形状を保つことができる。しかし離岸堤自身は堤背後の沿岸漂砂を完全に遮断するものではないために、上手側からの漂砂供給が必要とされる。また、離岸堤背後の汀線は連続形を有する。もし大規模な突堤のように汀線から直角沖向きに突出た不透過構造物を造ると、これと逆に構造物背後の汀線形は不連続となる。

4.4 人工岬工法

第4.2章ではフック状地形の発達している例として土佐湾と館山湾の例を述べた。これらの沿岸では一方向からの入射波が卓越し易く、そのためヘッドランドの背後にフック状地形が発達したわけである。しかしながらこのような条件を満足する海岸はそれほど多くはない。一般に、外洋に面した比較的長い直線的形状の海岸では波向そのものにかなり大きな変動が存在する。このような海岸では波高の変動に対応し、汀線形状も変化している。そのような汀線変動を常磐海岸を例として調べてみる。

茨城県東部、太平洋に面した常磐海岸の大津港より日立港の間の汀線変化を図-4.9に示す。航空

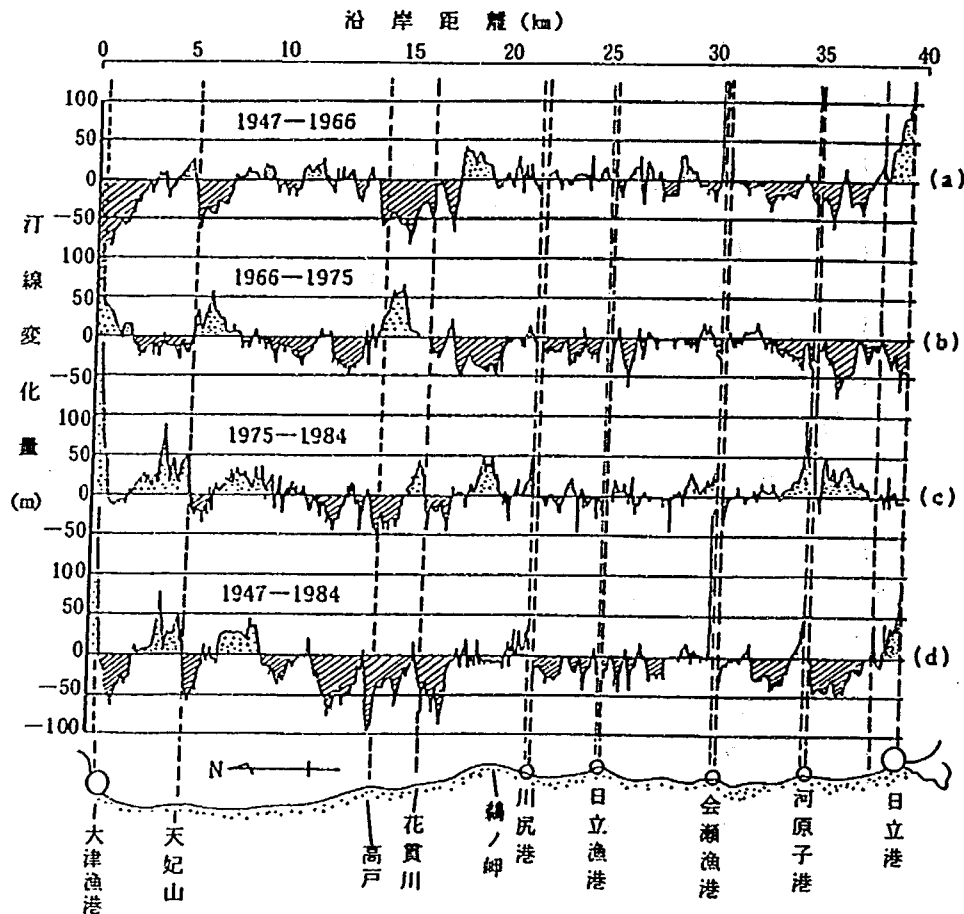


図-4.9 常磐海岸における岬間の汀線変動

写真をもとに1947年より1984年まで合計4時期の汀線変動が示される。図の(a), (b), (c)は各年ごとの比較, (d)は1947年より1984年まで全期間を通じた汀線変化である。図の(a), (b)に特徴的な変化が見られるので、その点を詳述する。図示した大津港より鶴ノ岬までの間には、北から順に天妃山、高戸の2つの岬が存在し、その間には砂浜が広がっている。(a)によれば、大津港の南側で汀線が後退したが、逆に天妃山の北側で汀線は前進している。このように岬の北側で汀線前進、岬の南側で汀線後退となる状況は、天妃山と高戸、および高戸と鶴ノ岬の間でも生じており、基本パターンは良く似ている。これは当海岸で高い頻度で発生するNE方向の風に対応したほぼNE方向の入射波によって生じた汀線変化であると考えられる。ところが(b)に示した1966年から1975年までの変化によれば、基本的に(a)でみられた変化が逆転し、岬の南側で汀線が前進し、北側では後退している。そのような変化は、岬と岬とに囲まれた3つの区域のいずれにおいても生じている。この汀線変化は、南東方向からの入射波が著しかったあとの汀線変化と考えられる。事実、同じ常磐海岸の南部にある阿字ヶ浦での波向観測によると、夏期には南寄りの入射波が、またそのほかの季節には北寄りの入射波が著しいことが明らかにされている⁹⁾。これらのことから、常磐海岸では波向変動に応じて汀線変化が生じていることがわかる。

常磐海岸で見られた、岬間での堆積、侵食地区が場所的に変化するような地形変化は、その性質上沿岸漂砂による地形変化と考えられる。なぜならば、岬は海に突き出ているためそこを横切る漂砂はほとんどなく、そのため一方向に沿岸漂砂が生ずる条件を考えると、岬の上手側に土砂が堆積し、下手側では侵食が起こる。この種の汀線変化に関して、単純な条件のもとでは理論解が得られている⁷⁾。例えば沿岸漂砂がある場合に、完全に漂砂を止める岬が存在する場合の海岸線の変化は式(4.1)で表わされる。

$$y(x, t) = \frac{\tan \theta_b}{\sqrt{\pi}} \left\{ \sqrt{4A_0 t} \exp\left(-\frac{x^2}{4A_0 t}\right) - x\sqrt{\pi} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4A_0 t}}\right) \right\} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここに $A_0 = F/h$ で、 F は波のエネルギー流束にある定数を乗じたもの、 h は漂砂の移動高である。 F は式(4.2)で表わされる。

$$F = \frac{\alpha}{8} \rho g (H_b^3 C_{g_b}) \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

ここに、 H_b : 碎波波高、 C_{g_b} : 碎波点における群速度、 ρ : 海水密度、 g : 重力加速度、 α : 定数である。波の作用時間があまり長くないとしたとき、式(4.1)の変化は一般に図-4.10となる。岬の下手側では汀線が後退し、上手側では堆積する。岬と岬の間の距離が長ければ中央部では汀線変化は生じない。式(4.1)によると、 $\sqrt{4A_0 t}$ は長さの次元を有し、沿岸方向の代表長さは $\sqrt{4A_0 t}$ で規定される。いま岬間の距離を ℓ とすると、 ℓ と $\sqrt{4A_0 t}$ との相対関係が重要である。図-4.10に示すような結果は、 ℓ が $\sqrt{4A_0 t}$ よりも十分大きいときに成立する。逆に ℓ が $\sqrt{4A_0 t}$ よりも十分小さいときは図-4.11のような結果が得られる。すなわち岬間の汀線形は、碎波点における波の入射方向と直角となる。一旦海岸線の法線方向が碎波点の入射角と平行となれば海浜は安定する。海岸線は全域において波の入射角と直角となるまで変形する。

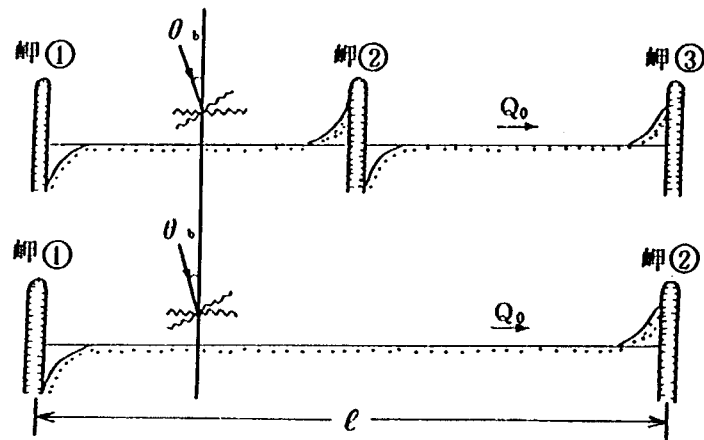


図-4.10 岬間の汀線変化模式図 ($\ell \gg \sqrt{4 Aot}$)

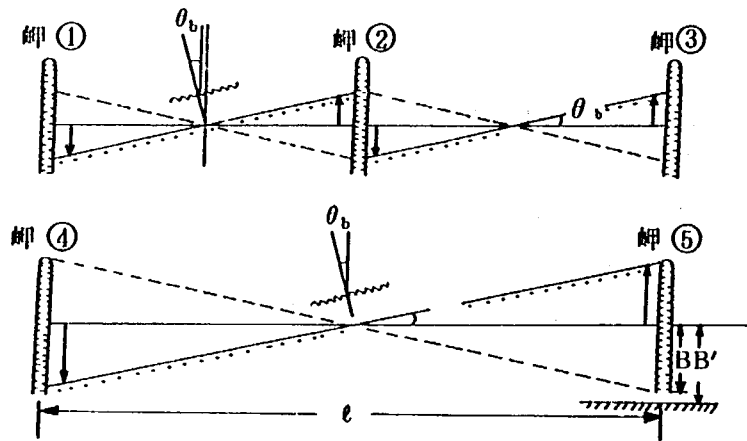


図-4.11 岬間の汀線変化模式図 ($\ell \ll \sqrt{4 Aot}$)

最大の汀線変化は岬の付け根付近で見られる。岬の間隔が長くなればそれに応じて変化量も大きくなる。その量は $B = \ell / 2 \tan \theta_0$ で与えられる。なお、図-4.11には波が時計回りの方向から入射する場合の汀線形を破線で示した。岬の付け根での汀線変化量 B は上述のように求められるが、図-4.11のような条件のもとでは、岬の付け根において初期汀線と護岸等との距離 B' は B より大きくななければならない。

外洋に面した長い海岸線においては、波向変動に応じ、図-4.10, 4.11に示した汀線変化が相当著しいと考えられる。その場合、長い海岸線に人工的に岬を造れば、汀線の変動量は小さくすることが可能である。これが人工岬の基本条項の一つである。人工岬の条件としては、そこで沿岸漂砂を止めなければならない、それには不透過性で先端水深も移動限界水深に近い、かなり大きいものとする必要がある。

このように大規模な岬が人工的に造られた例はまだ存在しない。そこで自然の岬状地形を調べる。図-4.12は湘南海岸にある江ノ島の例である。その規模はおよそ幅1 km、離岸距離1 kmであって、岬の先端水深も相当大きい。このような規模を有するために、島の背後には大きなトンボロ地形が発達

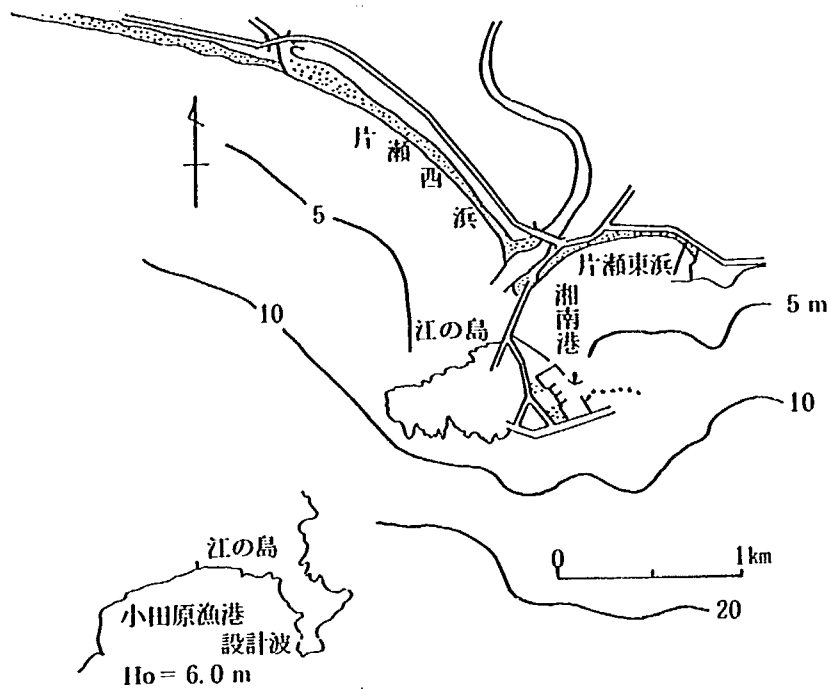


図-4.12 江ノ島の岬状地形

している。実際にこれほど大スケールな構造物を造ることは困難としても、沿岸漂砂を止めるには構造物の先端水深はかなり深くなければならない。もう一つの例として同じ湘南海岸にある茅ヶ崎漁港の例をあげる(図-4.13)。この漁港はもともと平島背後の舌状砂嘴部分に防波堤が造られたものであ

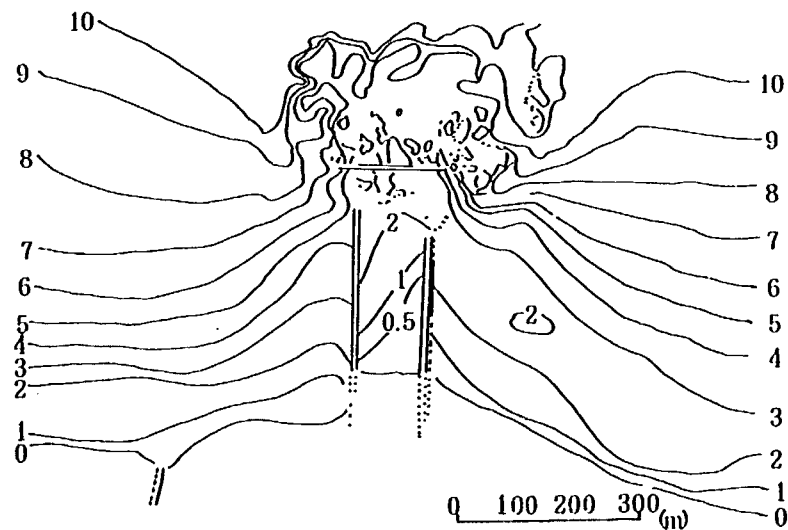


図-4.13 茅ヶ崎漁港の周辺地形 (昭和59年9月12日測量)

る。島の陸側端の水深は約7 mである。重要なことは、島の背後で水深6 mまでの等深線が滑らかに湾入していることである。このような等深線の形状のもとでは、波は屈折によって方向を変えることができ、入射方向が海岸線とはほぼ直角に近くなるために海浜は安定状態に近くなる。このように人工岬によって安定海浜を造るためには、浅海部の等深線自体を変えるような大規模なものとする必要がある。構造物の規模が小さいと、図-4.13のようにかなり深い部分の等深線形状を変えることは難しい。このとき、長い時間で見ると、海浜は少しずつ侵食されることになる。

最後に、人工岬を従来から使われている突堤と比較する。一連の海岸線の端に海へ突き出た構造物により沿岸漂砂を阻止する目的においては両者は似ている。しかし、その規模を比較すると、前者の方がずっと大きくなる。短い突堤ではその沖を沿岸漂砂が回り込んでしまうが、人工岬では基本的に漂砂の回り込みを許さない。それを許せば構造物の上手側の侵食が進んでしまうからである。漂砂の回り込みを許してよいのは、上手側海岸で土砂の供給があったり、サンドバイパス等により人工的に砂を供給できるときに限る必要がある。

4.5 適地の選定の基本的考え方

前述の議論で明らかにしたように、一方向からの卓越波が存在する場合には人工岬(ヘッドランド)を造ると、その下手側にはフック状地形が形成される。この条件を満足するには海岸線を大局的に見たとき、土佐湾や館山湾で見られたように自然にフック状地形が形成されている海岸や、構造物が造られたあと、その構造物周辺で侵食箇所が経年的に一方向に進んでゆく海岸である。具体例として、富士海岸、仙台湾沿岸、小川原湖海岸、鹿島灘沿岸の一部の地域ではそのような条件を満足する。

一方、海岸線に対する卓越波の入射角があまり大きくない海岸では人工的に小さな岬を造ってもフック状地形は形成されない。そのような場合には、構造物の規模を大きくし、主として波の回折効果により構造物周辺の等深線形状自体を変えるような策を選ぶ必要がある。具体的にそのような海岸かどうか判断する一つの方法としては、次の方法が考えられる。すなわち長い海岸線において例えば離岸堤があったとき、背後のトンボロがほぼ左右対称に形成されるかどうかである。もし左右対称であればその海岸では波が平均的に直角入射することを意味するからである。

4.6 ま と め

本報ではSilvesterによって最初に提案され、土屋によって改良が加えられたヘッドランド工法について、その原理や自然地形との関連において論じた。この方法は海岸線と卓越波の入射方向とがかなり大きい角をなすときに有効であり、ほぼ直角入射する条件のもとでは使えない。そこでそのような場合に適用可能な人工岬工法について説明を加えた。両者はともに砂浜の持つ消波効果を最大限利用する意味においては良く似ているが、いずれも構造、配置とその効果について技術的検討を加えるべき問題も残されている。これらは今後解決する必要がある。

参 考 文 献

- 1) Silvester, R : Headland defense of coasts, Proc. 15th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp.1394 ~1406, 1976.
- 2) 土屋義人：海岸侵食制御論，海岸，pp.100～109，1984.
- 3) 宇多高明・山本幸次・橋本宏：人工岬に波が斜め入射するときの海浜循環流，第30回海岸工学講演会論文集，pp.490～494，1983.
- 4) 棋本享：漂砂と海岸侵食，森北出版，195p., 1982.
- 5) 宇多高明・住谷廸夫・小林洋三：茨城県沿岸の海岸侵食実態，地形，Vol.7, No.3, pp.141～163, 1986.
- 6) 宇多高明：波向・沿岸流の長期・短期観測データの比較，第31回海岸工学講演会論文集，pp.421～425，1984.
- 7) 野田英明・橋本宏：漂砂と海岸保全施設，技報堂，p.157, 1981.

5. 海岸調査の有効性と今後の方向性

第3章で述べたように、海岸の侵食実態の把握に際しては次の手法が用いられた。

- ①深浅測量
- ②航空写真撮影
- ③底質採取
- ④海岸状況写真撮影

以下ではこれらの各手法の有効性と留意点についてのべる。

まず、深浅測量は侵食対策調査の根本をなすものである。第3章での議論の多くはこのデータに基づいている。現地海岸で行われている種々の対策工の効果を知るためには是非とも深浅測量を行う必要がある。問題は実施に際してかなりの予算を必要とすることである。しかし精度さえ保てれば後に一番有用なデータとなる。実際の深浅測量データの解析に際して問題となるのは、測線の位置や測線長が変わることである。この場合、たとえ経年的に測量が繰り返されていても相互の比較が難しくなる。したがって深浅測量に際しては測線の位置を十分考えて決定し、一度決定したらあまり変更しないことが望ましい。また、測線の長さは基本的に測定対象の海底地形状況を考慮して決めるべきである。広域の地形変化を調べるためには、底質移動がほとんど見られなくなる水深約20mまで測量を行う必要がある。一方、汀線付近に先端水深があまり大きくない構造物を造ったときの影響を調べる意味では、構造物の沖、適当な距離で打ち切っても良いと考えられる。何故ならば、構造物の影響は沖合ではずっと小さくなると考えられるからである。また、測量の時間間隔に関しては、大規模な地形変化、例えば鹿島灘全域を対象とする場合などは1年に1回程度で十分である。一方、例えばヘッドランド周りなどで構造物の効果と影響を調べるためには測量の回数を年4回程度と多くした方が良い。

航空写真撮影の利点は、まず写真そのものが沿岸域の多くの情報を含んでいることである。また写真を利用すれば汀線変化の解析を行うことが可能になる。航空写真は、可能であれば平均潮位となる時刻で、かつ波が静穏なときに撮影することが望ましい。また、航空写真の性格上、広範囲の汀線変化を調べる上で有効である。このように広範囲の区域の汀線変化を調べる上では、少なくとも5年に1回程度沿岸全域の写真をとることが望まれる。

底質採取はとくに前浜（低潮部）の資料が役に立つ。前浜付近の底質の中央粒径と前浜勾配とが、海岸の侵食状況を判断する上で良い指標となることは第3章で述べたとおりである。

海岸状況写真も海岸侵食を定性的に判断する上で役に立つ。実際に有用な写真をとるためには次の点に注意する。

- ①撮影年月日を記入すること。
- ②汀線付近にある不動点（例えば排水口や突堤など）を写真にとり、それと保全施設や砂浜との関係を記録に残す。
- ③完成した施設のみ写真を撮らずに、隣接部も写真に残す。
- ④ポール、スタッフ等長さのスケールになるものを写す。

今後とも、以上の点に留意して種々の海岸調査を行えば、海岸保全を進める上で有効なデータが得られるものと考えられる。

6. あ と が き

本報では、茨城県沿岸の海岸侵食実態の把握、人工岬工法に関する検討、海岸調査の有効性と今後の方向性の考察、海岸状況写真の整理等を行った。これらの調査により海岸の侵食実態と今後の対策の基本的方向性はかなり明らかになった。しかしながら具体的対策である人工岬工法についてはなお定量的検討が十分とは言えないのが現状である。とくに現地海岸での構造物施工前後の地形変化データが不十分なことは設計法についての検討を困難にさせた。これらは今後も機会を見て検討を行う必要がある。

付録：海岸状況写真集

茨城県沿岸の海岸侵食状況を定性的に把握するために、沿岸の海岸状況写真を収集した。以下ではそれらの代表的写真（81枚）を示す。海岸の状況が比較的明瞭なものと、撮影時が明らかなものを選んでいく。また写真は茨城県沿岸の海岸の地先ごとに分類し（付表－１～４）、常磐海岸より鹿島灘沿岸へとほぼ北から南の順で示した。付表－１～４の中の×印が写真の存在を示す。また同表には、海岸保全施設の災害申請のあった年を○で示した。これらの時期には高波浪が来襲した可能性が大きいことを示している。

付表-1 海岸状況写真一覧 (常磐海岸北部)

昭和 (年度) 地区名	42 以前	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
五 浦																				
大 津																				
仁 井 田																				
神 岡 下						○														
神 岡 上		×				○								○	○	○	○	×		
磯 原						⊗					○		○				○			
下 桜 井																	○			
足 洗																				
栗 野																				
小野 矢 指						○		×		○		×	○				⊗	×	×	
赤 浜													○	○	○	○	○			
高 戸																				
有 明																				
高 浜						○														
石 滝																				
伊 師			×			○	×						○				×			

付表一 2 海岸状況写真一覧 (常磐海岸中部)

昭和 (年度) 地区名	42 以前	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
川 尻																				
小 木 津						○											○			
日 高																				
小 木 津																				
田 尻																				
滑 川																				
宮 田																				
助 川																				
会 瀬																				
成 沢																				
多 賀																				
河 原 子																				
金 沢																				

付表一 3 海岸状況写真一覧 (常磐海岸南部)

昭和 (年度) 地区名	42 以前	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
村 松																				
阿 字 ヶ 浦			×																	
磯 崎																				
平 磯																				
塚 原																				

付表-4 海岸状況写真一覧 (鹿島灘沿岸)

昭和 (年度) 地区名	42 以前	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
大洗町									○											
大貫			×	×	⊗	○	×			○	×	×				×		×		
成田																		×	×	
上釜																				
玉田																				
勝下																				
柏熊																				
大竹																				
汲上																				
上沢																				
飯島																				
上幡木																				
大小志崎					○															
武井釜																				
浜津賀				○	○															
荒井				○	○															
青塚					⊗															
角折					○															
荒野					⊗															
小山(交点)					⊗															
清水			×													×	×	×	×	×
明石														×			×			×
神向寺																				
小宮作(交点)													×		×	○	×	×		×
下津	△						×		×		×	×		×						
現. 鹿島港			×																	
日川			×																	
須田浜																				
柳川																				
豊ヶ浜					×															
シ																				

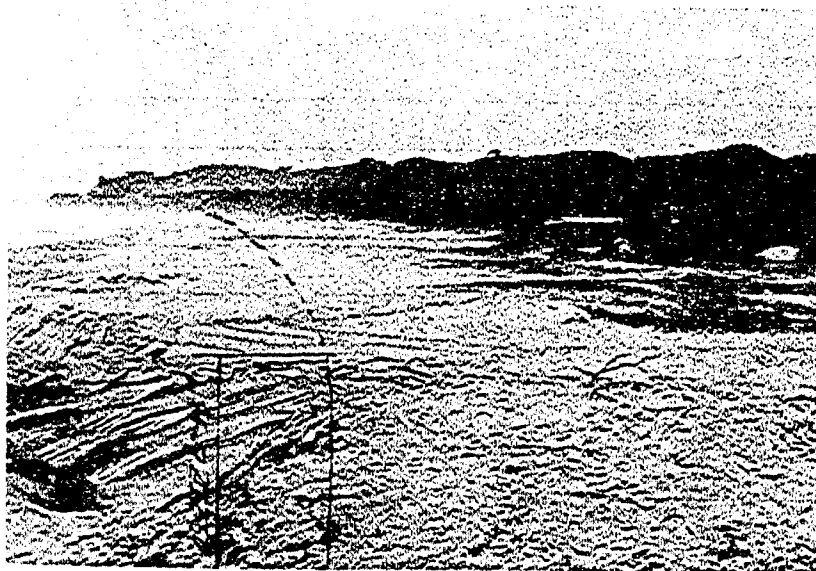


写真-1 神岡上地区
(S. 43年頃)

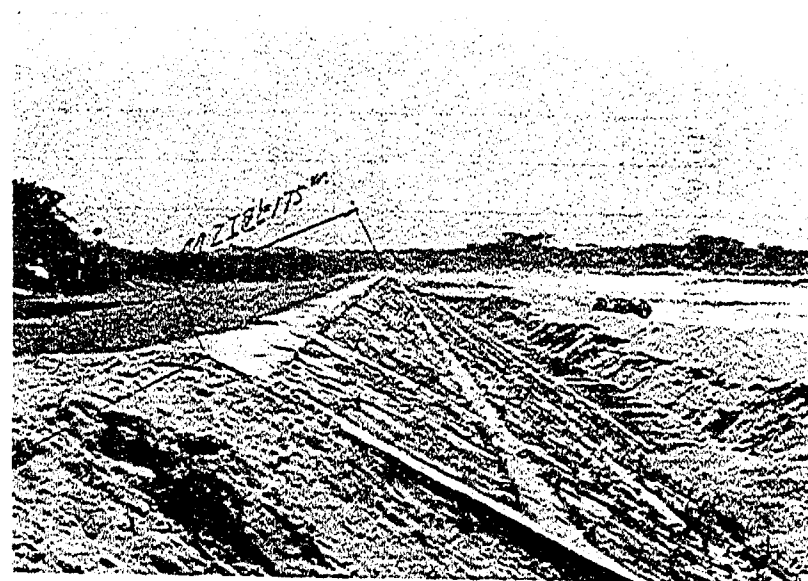


写真-2 神岡上地区
(S. 43年頃)



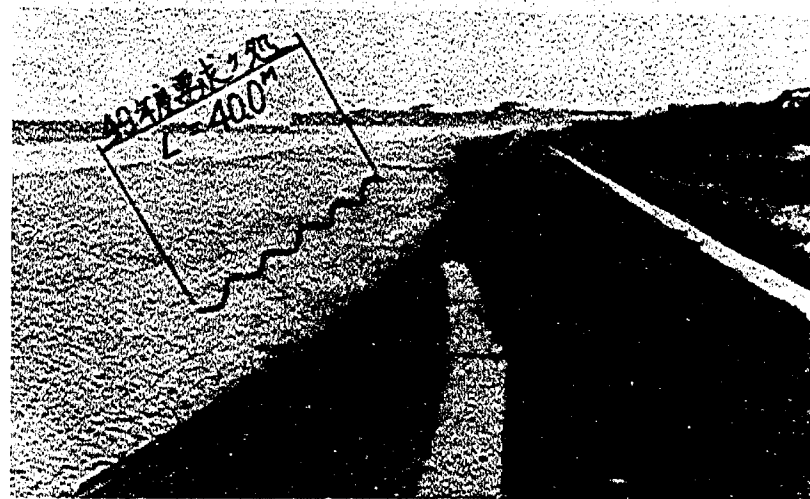
写真-3 上岡上地区



写真-4 上岡上地区
(S. 59. 6頃)



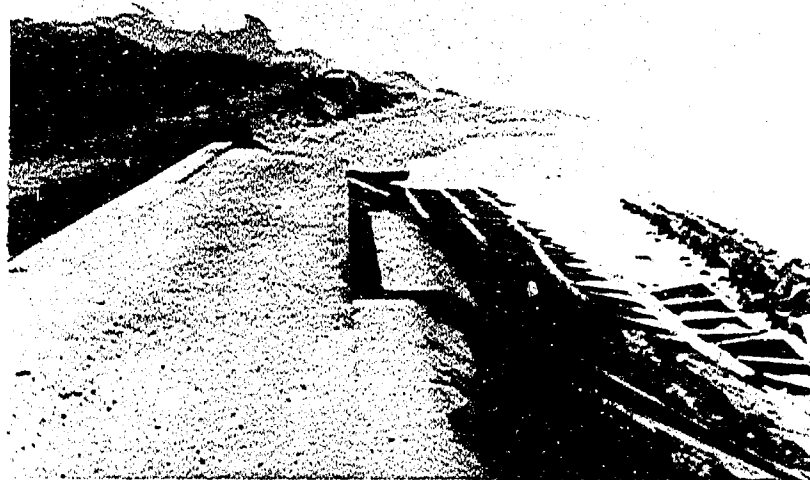
写真—5 礮原地区
(S. 47. 10. 23撮影)



写真—6 小野矢指地区
(S. 49. 2. 1撮影)



写真—7 小野矢指地区
(S. 53. 4. 10撮影)



写真—8 小野矢指地区
(S. 58年度)

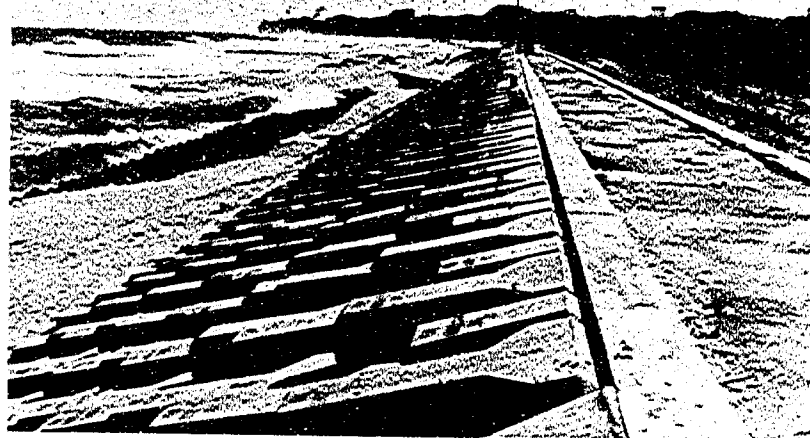


写真-9 小野矢指地区
(S. 59. 4. 20撮影)

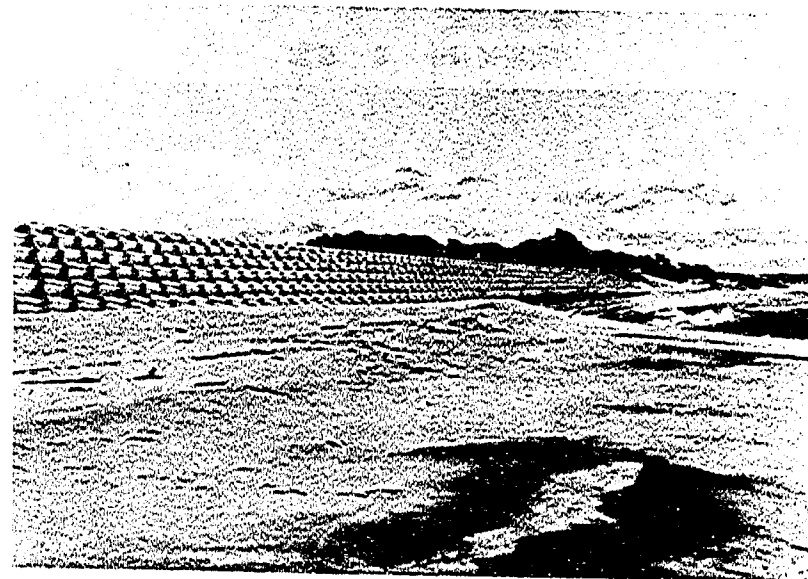


写真-10 小野矢指地区
(S. 60年)



写真-11 赤浜地区

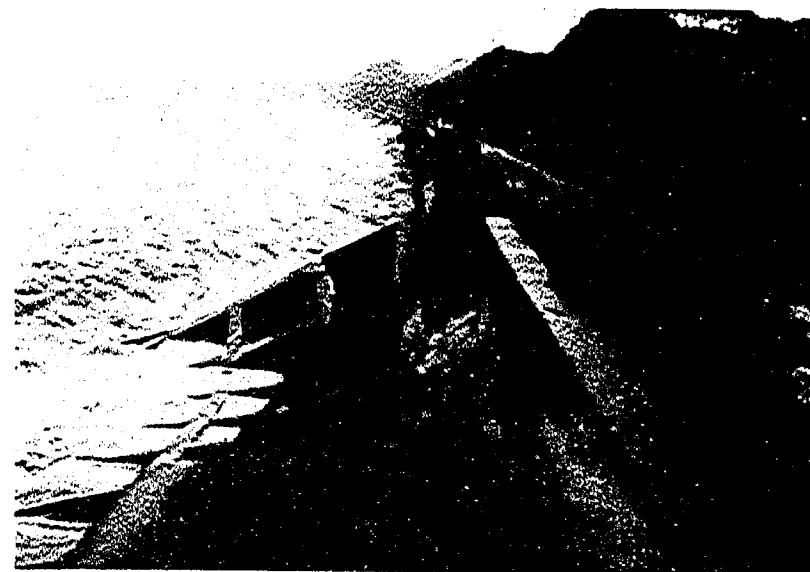


写真-12 赤浜地区



写真-13 赤浜地区



写真-14 赤浜地区

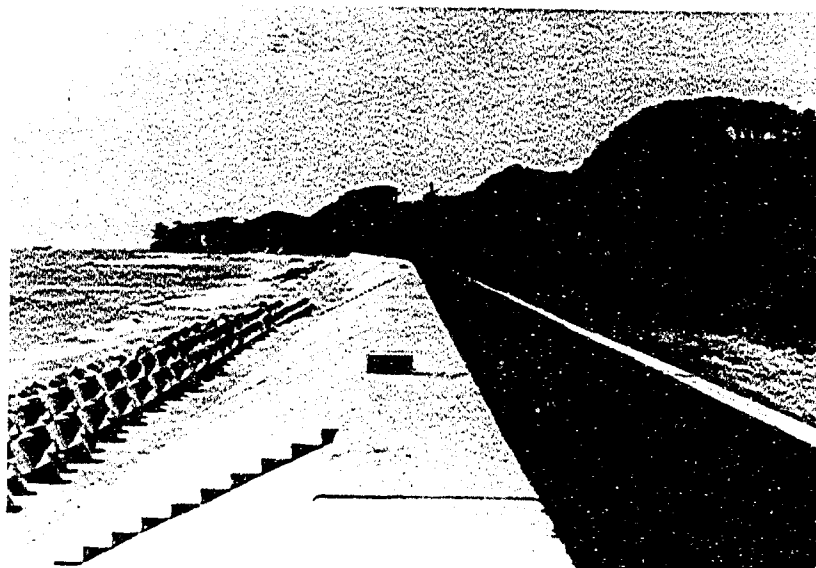


写真-15 赤浜地区

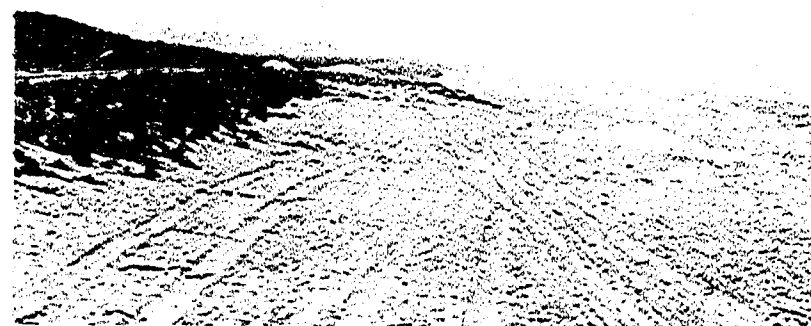


写真-16 伊師地区
(S. 44. 7. 16撮影)

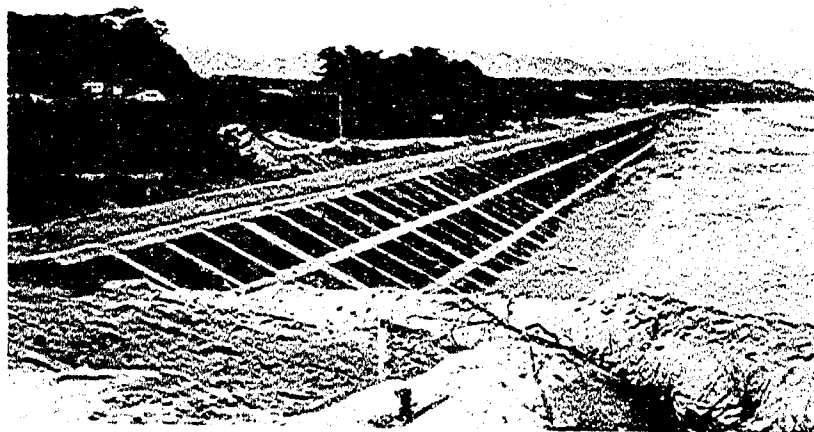


写真-17 伊師地区
(S. 48年以前)

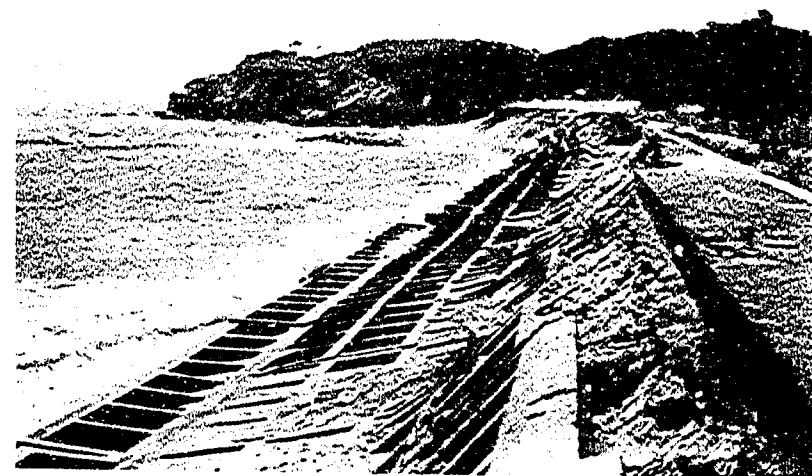


写真-18 伊師地区
(S. 48. 8)

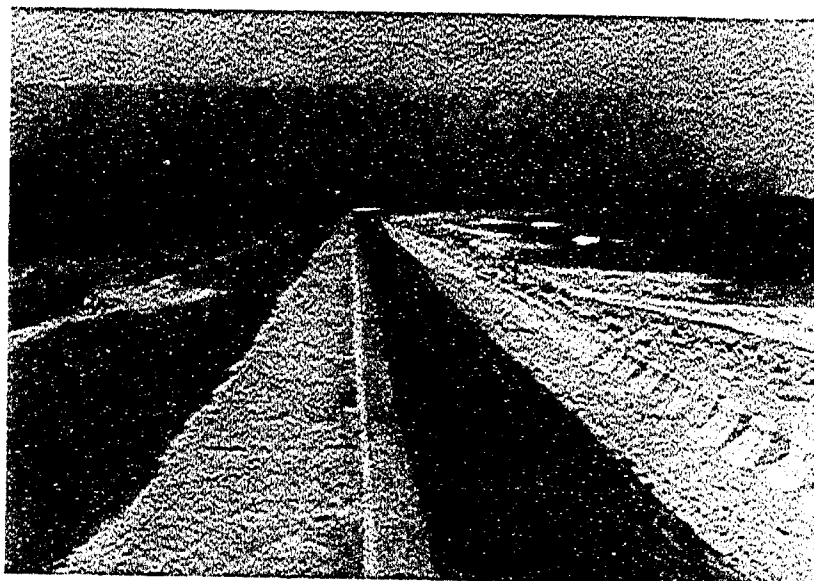


写真-19 伊師地区
(S. 58年)



写真-20 小木津地区



写真-21 小木津地区

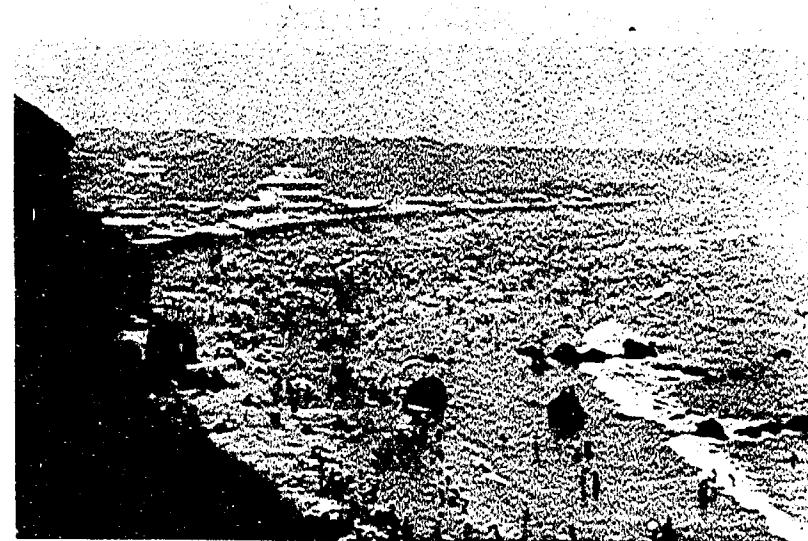


写真-22 阿字ヶ浦地区
(S. 44年頃)

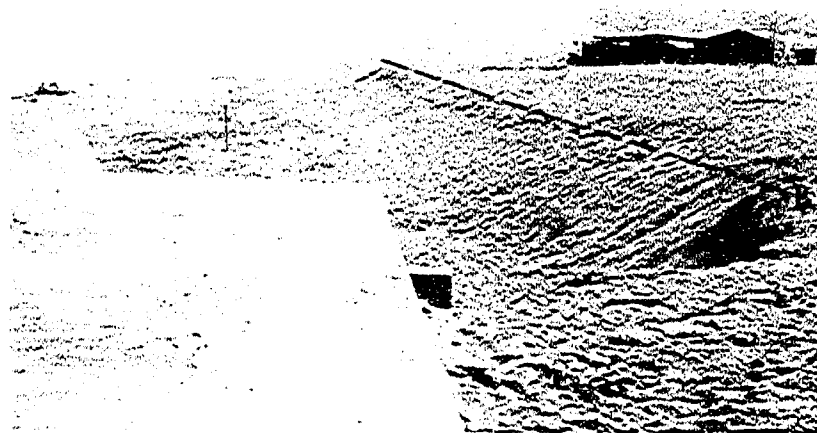


写真-23 大貫地区
(S. 44. 8. 4 撮影)

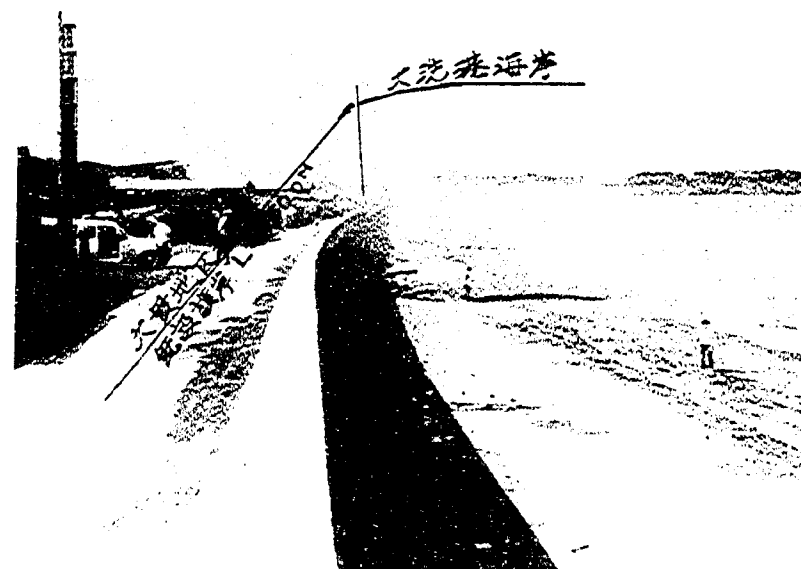


写真-24 大貫地区
(S. 44. 8. 4 撮影)

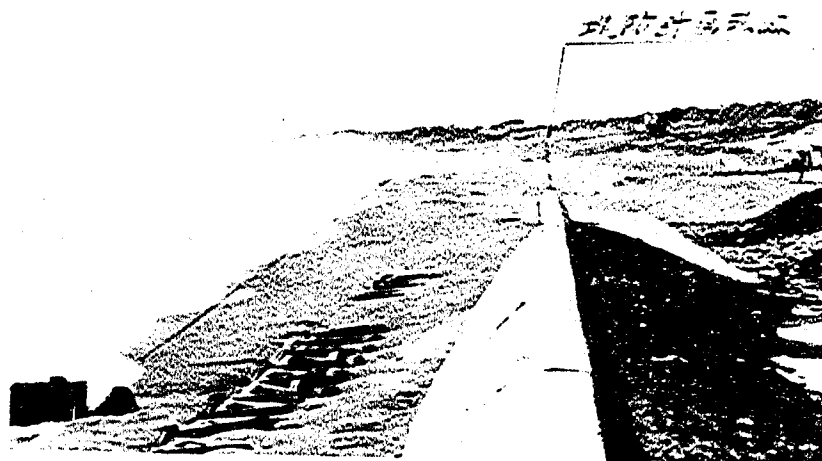


写真-25 大賀地区
(S. 45. 6. 28撮影)

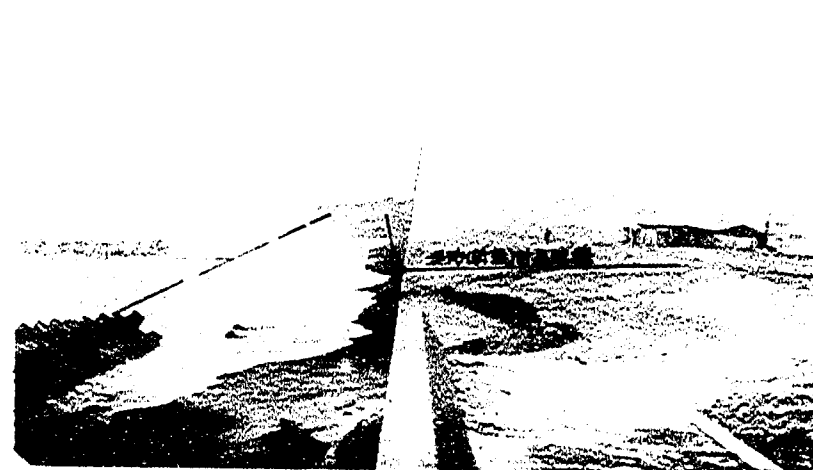


写真-26 大賀地区
(S. 46. 1. 21撮影)



写真-27 大賀地区
(S. 46年)

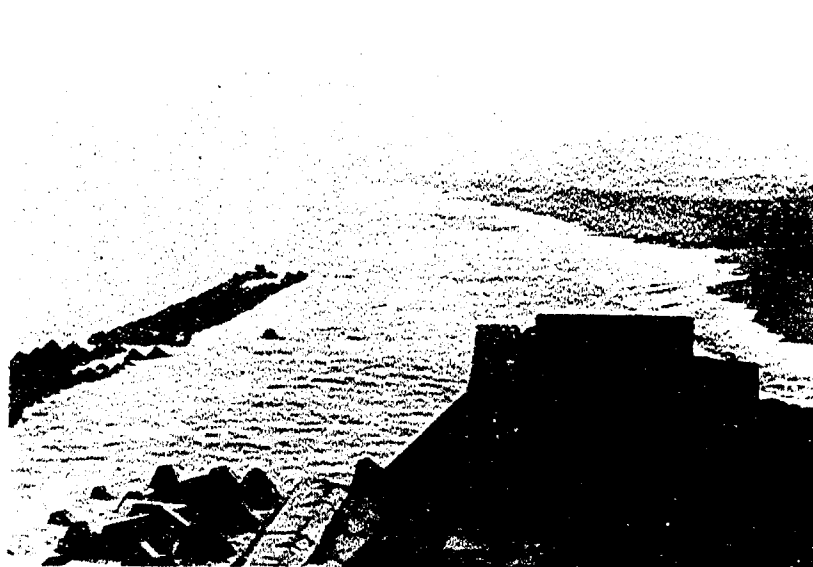


写真-28 大賀地区
(S. 46年)



写真-29 大貫地区
(S. 46年)



写真-30 大貫地区
(S. 48. 7)

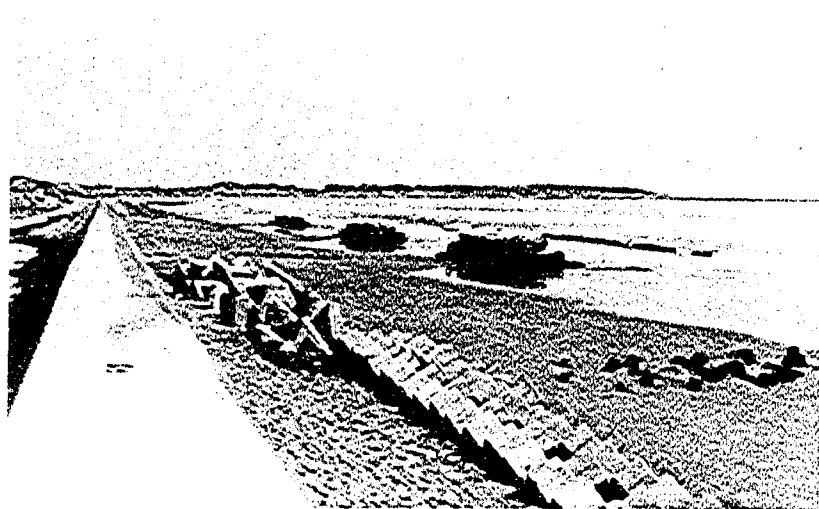
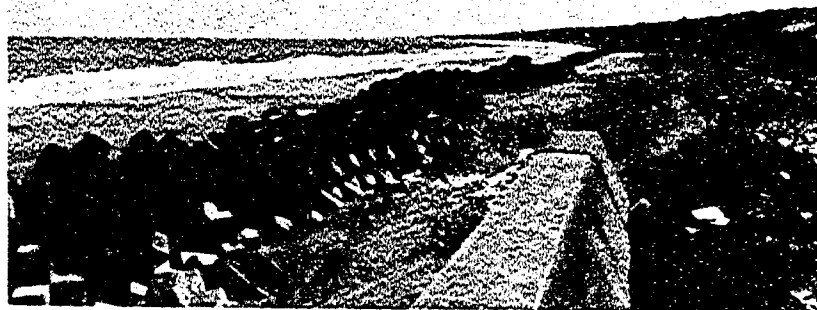


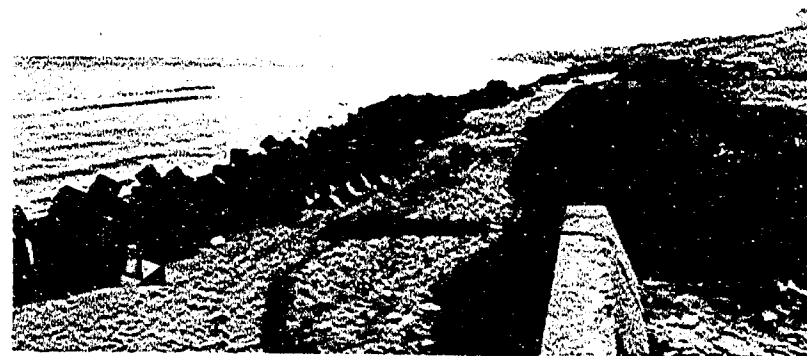
写真-31 大貫地区
(S. 52. 3. 14撮影)



写真-32 大貫地区
(S. 53年度)



写真—33 大貫地区
(S. 57. 7)



写真—34 大貫地区
(S. 59年度)



写真—35 成田地区
(S. 59. 6)



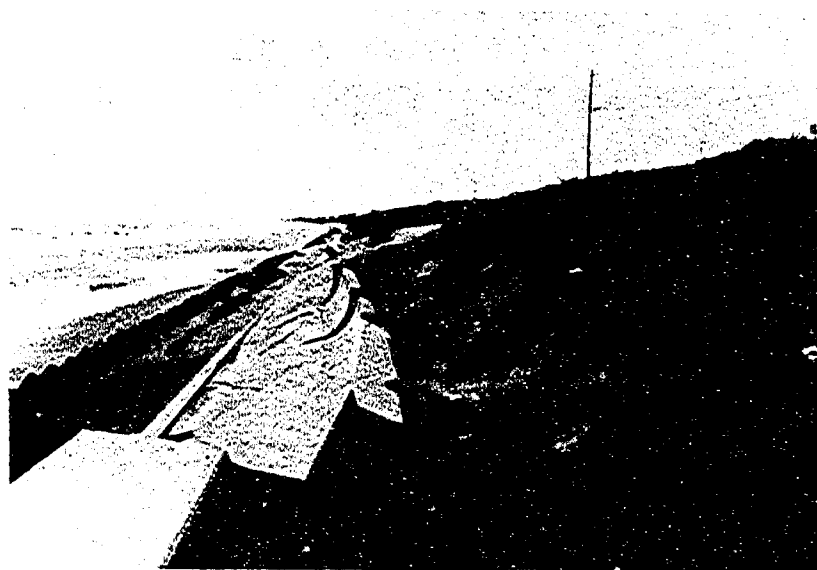
写真—36 成田地区
(S. 59. 10. 5撮影)



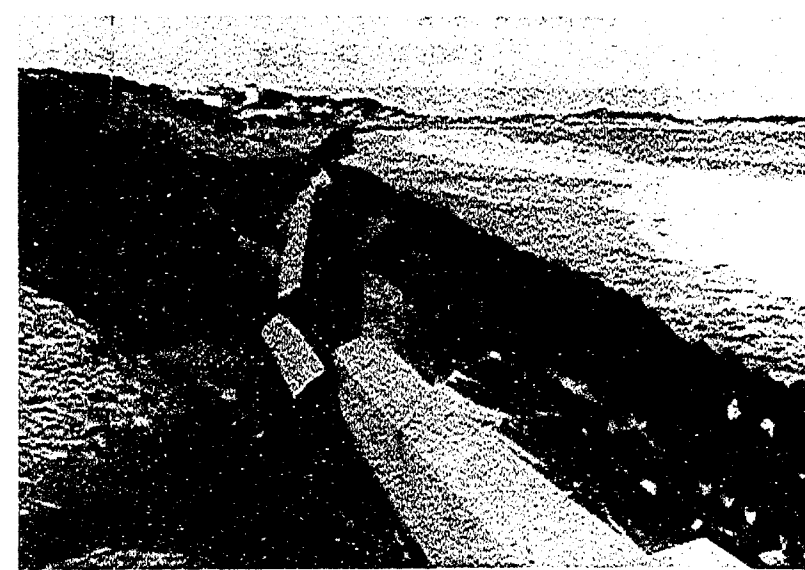
写真—37 成田地区
(S. 59. 11. 1 撮影)



写真—38 成田地区
(S. 60. 9. 2 撮影)



写真—39 成田地区
(S. 60. 9. 2 撮影)



写真—40 成田地区
(S. 60. 9. 2 撮影)

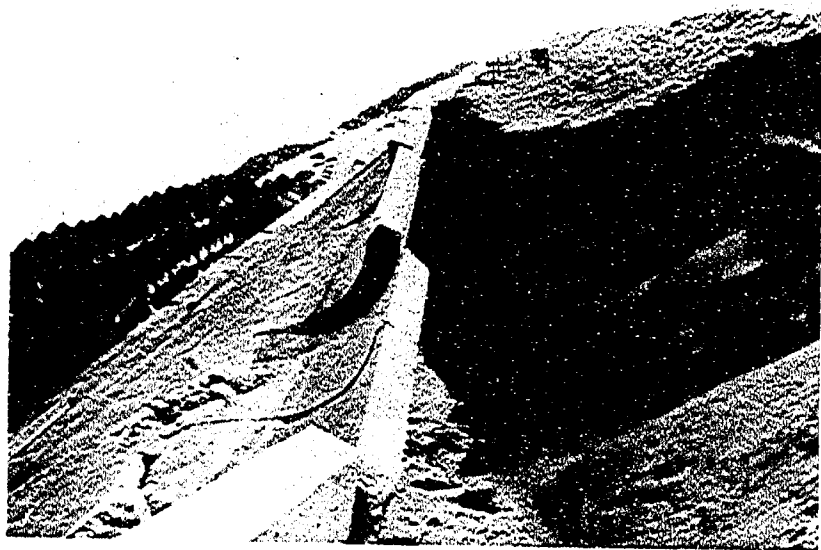


写真-41 成田地区
(S. 60. 9. 2 撮影)

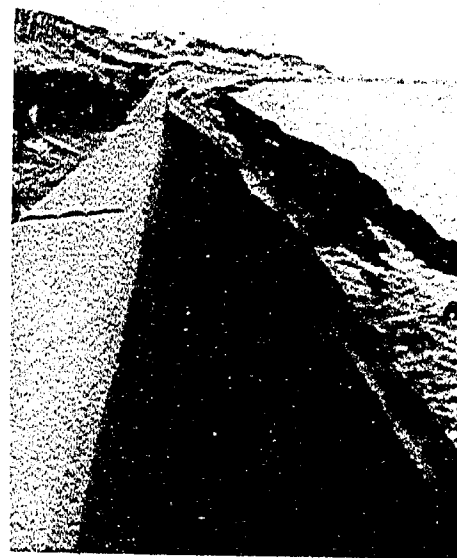


写真-42 成田地区
(S. 60. 9. 2 撮影)

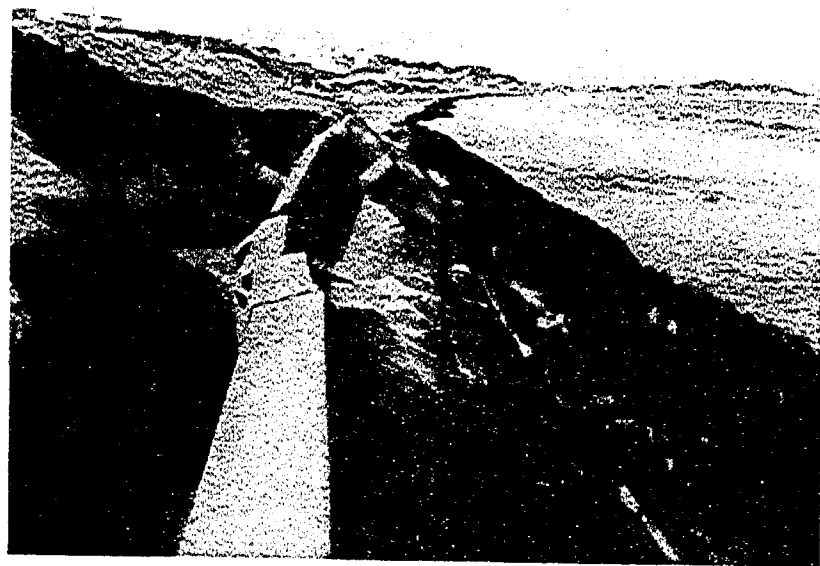


写真-43 成田地区
(S. 60. 9. 2 撮影)

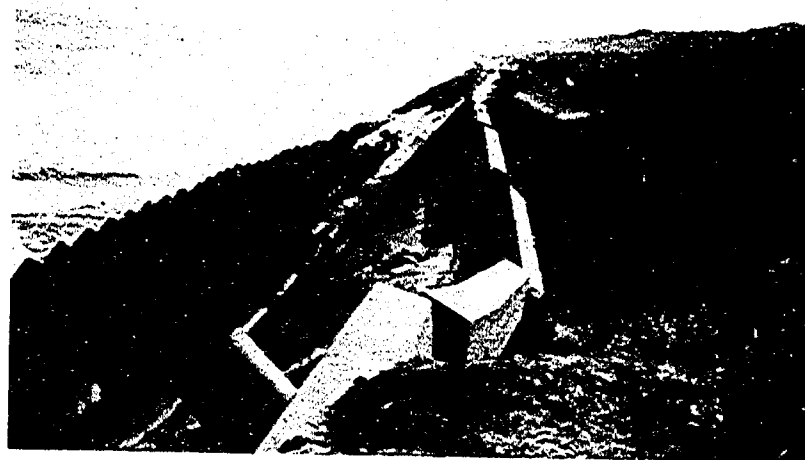
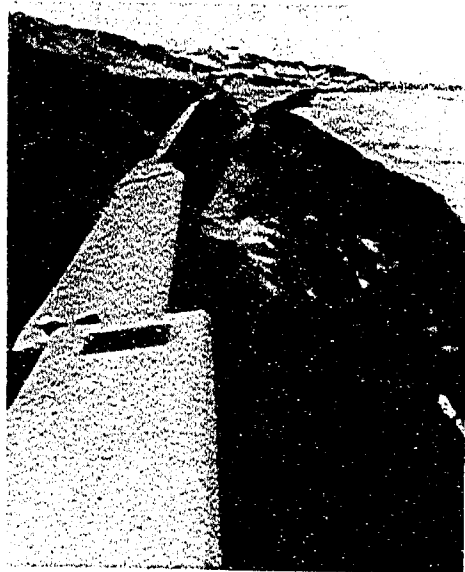


写真-44 成田地区
(S. 60. 9. 2 撮影)



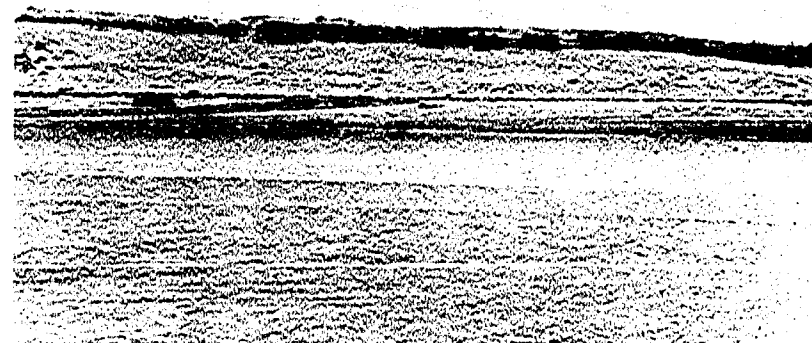
写真—45 成田地区
(S. 60. 9. 2 撮影)



写真—46 奥野谷浜南部(現、鹿島港)
(S. 44. 7. 22 撮影)



写真—47 知手浜北部(現、鹿島港)
(S. 44. 7. 22 撮影)



写真—48 知手浜南部(現、鹿島港)
(S. 44. 7. 22 撮影)

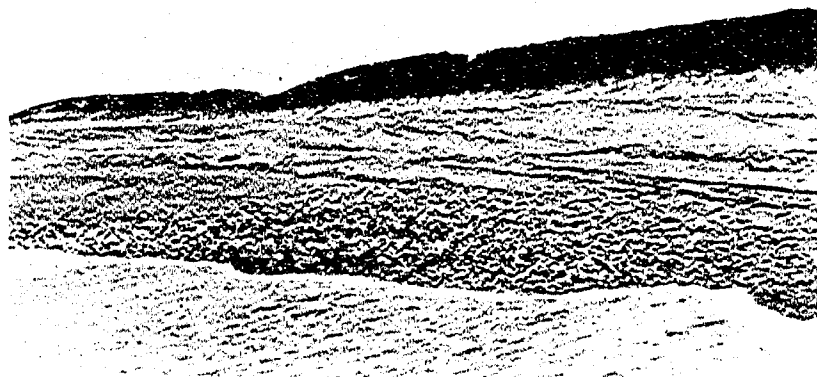


写真-49 日川浜
(S. 44. 7. 22撮影)

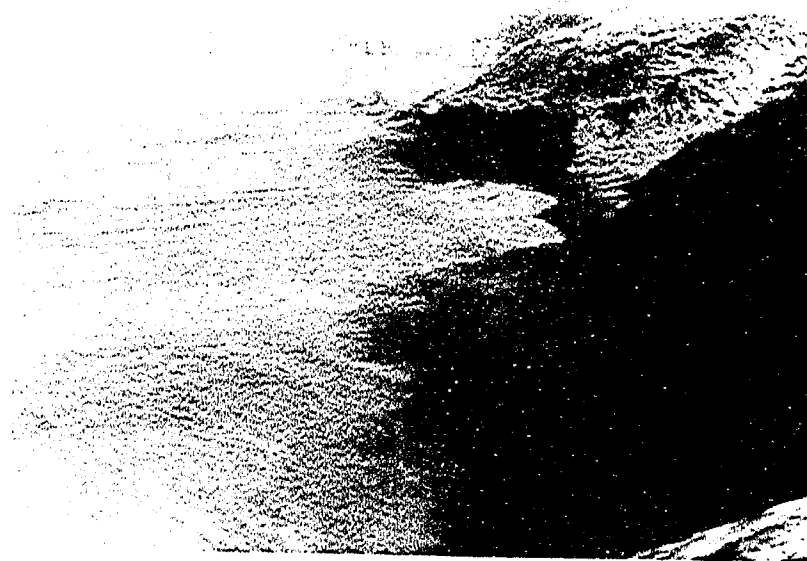


写真-50 青塚
(S. 46年頃)



写真-51 荒野
(S. 46年頃)



写真-52 小山
(S. 46年頃)



写真-53 豊ヶ浜
(S. 46年頃)



写真-54 豊ヶ浜
(S. 46年頃)

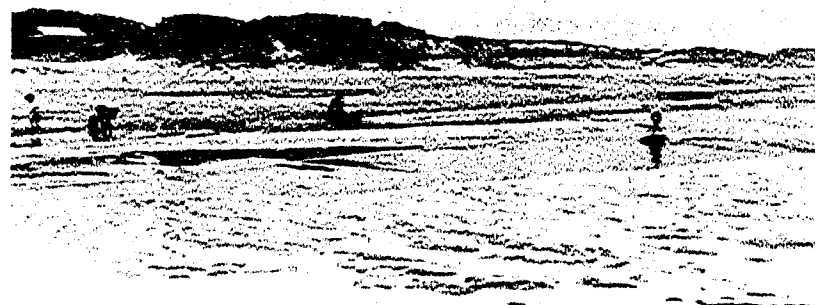


写真-55 清水地区
(S. 44. 7. 23撮影)



写真-56 清水地区
(S. 57. 11)

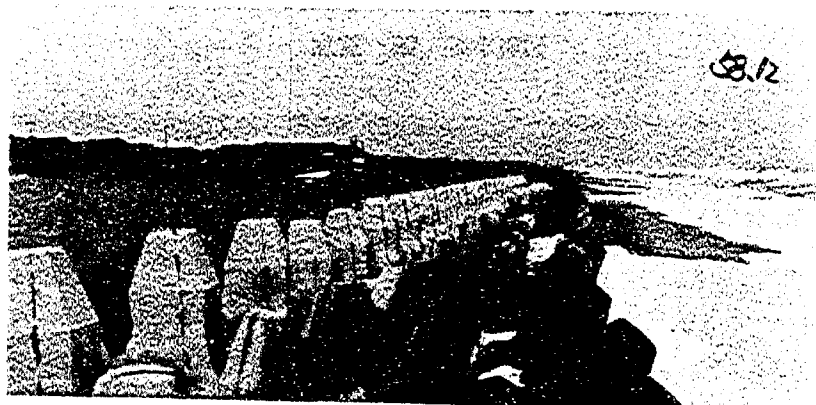


写真-57 清水地区
(S. 58. 12)

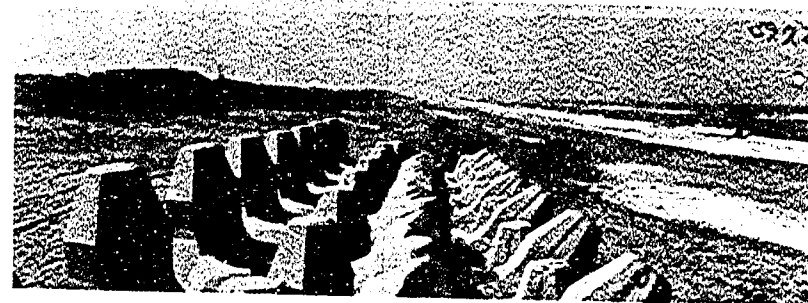


写真-58 清水地区
(S. 59. 7. 2 撮影)

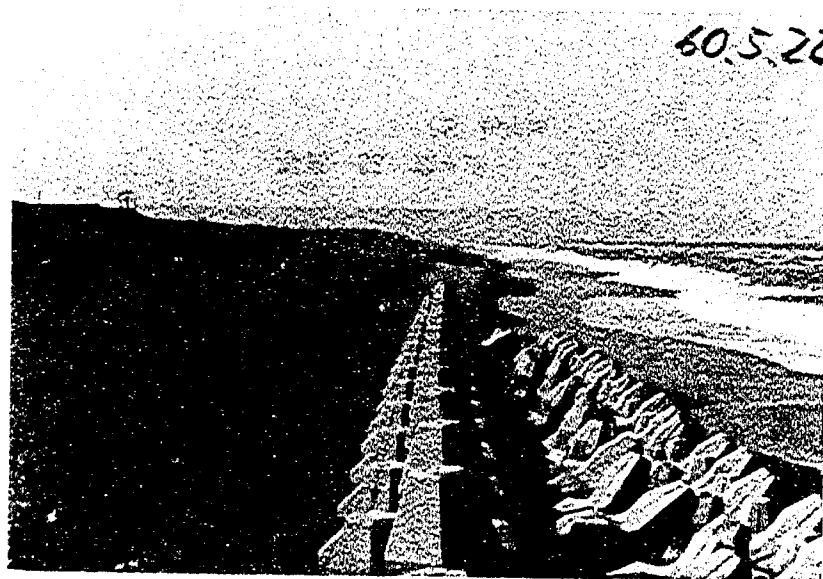


写真-59 清水地区
(S. 60. 5. 22 撮影)



写真-60 清水地区
(S. 61. 4. 23 撮影)



写真-61 清水地区
(S. 61. 4. 23撮影)



写真-63 清水地区
(S. 61. 4. 24撮影)



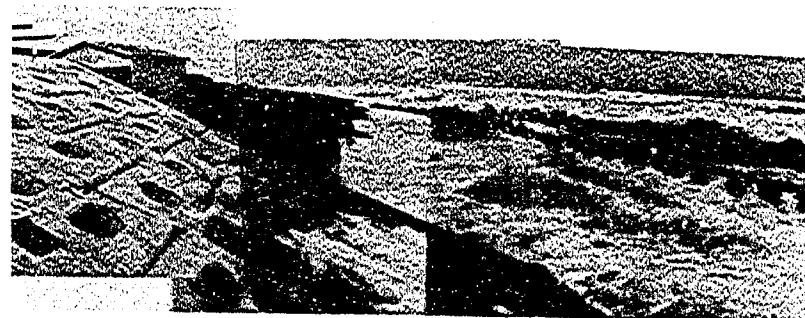
写真-62 清水地区
(S. 61. 4. 24撮影)



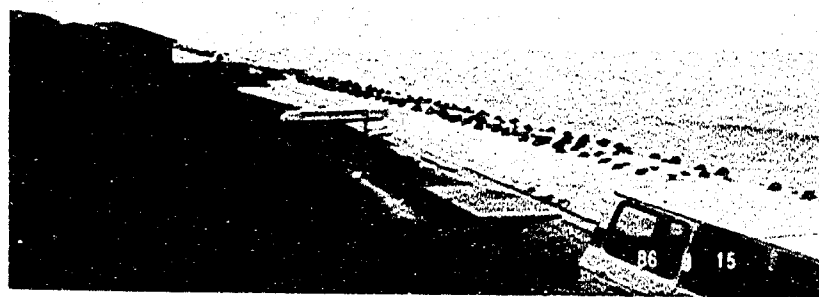
写真-64 清水地区
(S. 61. 5. 9撮影)



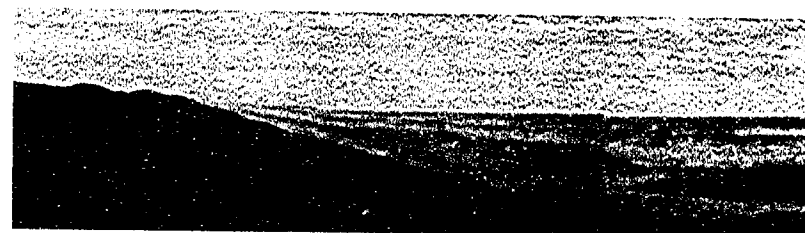
写真—65 明石地区
(S. 55. 7)



写真—66 明石地区
(S. 58. 12)



写真—67 明石地区
(S. 61. 9. 15撮影)



写真—68 小宮作地区
(S. 54. 1)



写真-69 小宮作地区
(S. 54. 3)

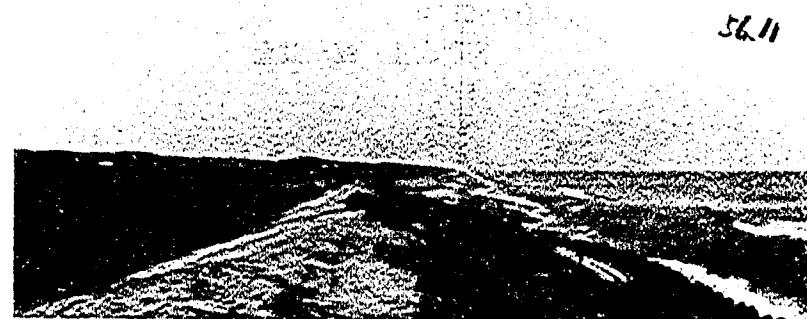


写真-70 小宮作地区
(S. 56. 11)

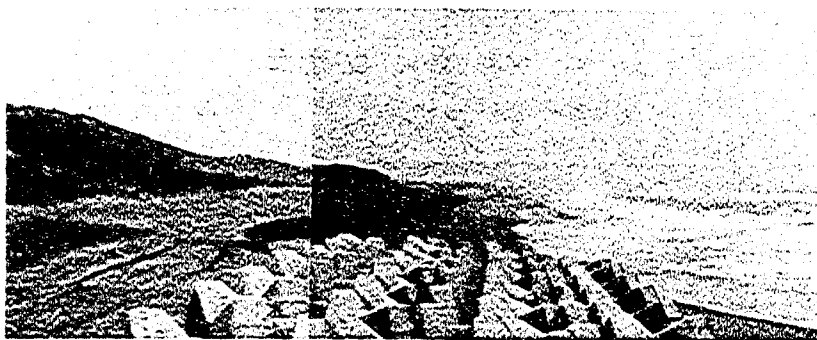


写真-71 小宮作地区

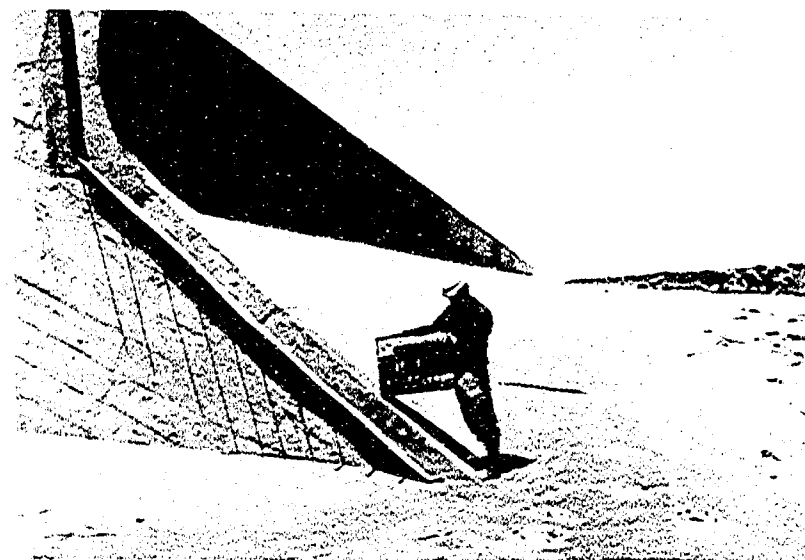


写真-72 小宮作地区
(S. 58. 4)



写真-73 小宮作地区
(S. 58. 7)

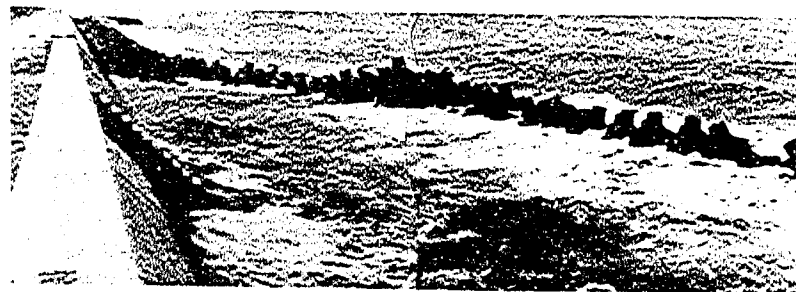


写真-74 小宮作地区
(S. 59. 10)

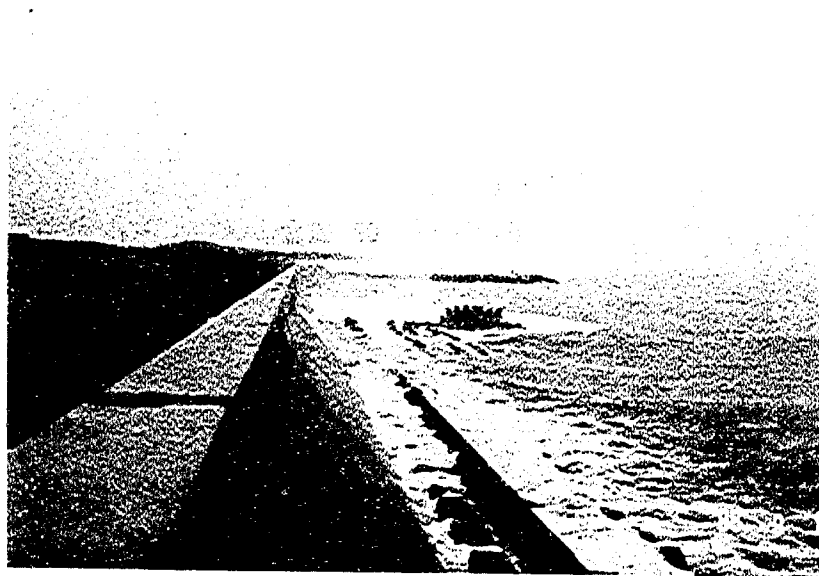


写真-75 小宮作地区
(S. 61. 9. 15撮影)



写真-76 下津地区
(S. 13年頃)



写真-77 下津地区
(S. 47年頃)

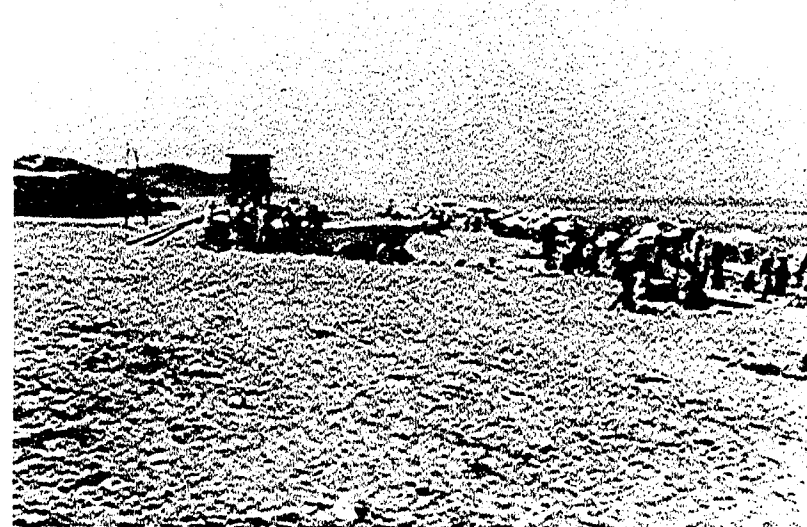


写真-78 下津地区
(S. 49年頃)

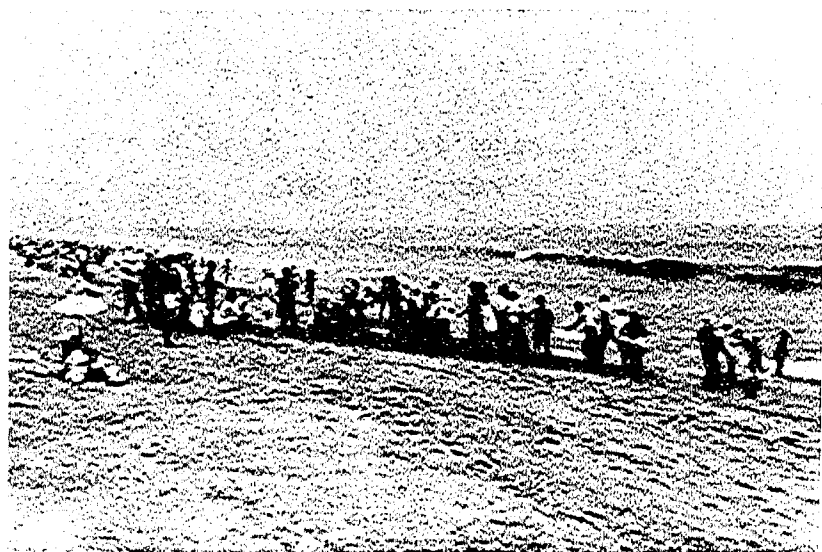


写真-79 下津地区
(S. 51年頃)



写真-80 下津地区
(S. 52. 8)



写真—81 下津地区
(S. 55. 8)

海岸研究室長 宇 多 高 明

要 旨 茨城県沿岸の海岸侵食実態を深淺測量、航空写真、底質採取等の現地データをもとに明らかにした。次に茨城県の鹿島灘沿岸で建設されつつあるヘッドランド（人工岬）に関連し、設計の基本的考え方について検討した。また、過去数年間、茨城県沿岸で行われてきた海岸調査の有効性と今後のあり方について述べた。最後に、茨城県沿岸で過去に撮影された海岸状況写真を整理し、海岸の変遷を定性的意味より把握した。

キーワード：茨城県沿岸，海岸侵食実態，ヘッドランド，海岸調査，海岸状況写真

郵便はがき

305-□□

四十門切
手をは
いて
さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

河川部海岸研究室

行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2452号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印