

富山県宮崎海岸の海浜過程について

土屋 義人・山口 正隆*・白井 亨・河田 恵昭
芝野 照夫・山下 隆男・A. R. Syamsudin**

SHORE PROCESSES AT MIYAZAKI BEACH, TOYAMA

By Yoshito TSUCHIYA, Masataka YAMAGUCHI,
Toru SHIRAI, Yoshiaki KAWATA, Teruo SHIBANO,
Takao YAMASHITA and A. R. SYAMSUDIN

Synopsis

The objective of this paper is to make clear the beach processes of Miyazaki beach, facing the Japan Sea. Recently, the recession of shoreline has remarkably occurred near the mouth of the Sakai river to Ichiburi Fishery Harbour, and it has a tendency advancing westward. This is mainly due to the construction of the eastern breakwater of the harbour, acting as a barrier to longshore sediment transport. The processes of beach erosion at Miyazaki beach were found to be similar to those at Shimonigawa coast from the view point of the geographical and oceanographical situations. Both the beaches are downcoasts from the view point of longshore sediment transport. From investigations with depth sounding charts and aerial photographs, sediment statistics and composition of special minerals, it is found that the dominant direction of longshore sediment transport is westward. This fact is also confirmed by the characteristics of longshore wave energy flux. Therefore, the beach processes are governed by the so-called Yorimawari-nami, huge swells coming from the E to NE directions. It is found that the beach processes are predictable by the analysis of the rate of shoreline changes and a one-dimensional analysis of beach change prediction in which changes of the rate of sediment supply upcoast is taken into account.

1. 緒 言

海岸漂砂に伴って起こる災害のなかで、海岸侵食と港湾埋没とはその代表的なものである。海岸侵食は波浪その他の作用によって漂砂現象にその不均衡が生じて起こる現象であり、一方、港湾埋没は波浪などの運搬作用によって、比較的静穏な港内に漂砂が堆積する現象であって、いずれも漂砂に伴って起こり、表裏一体の関係にあるといえる。

近年、河川改修やダム の築造など河川流域の高度な土地利用に伴って、河川からの流送土砂が変化し、また海岸地帯においても開発に伴って各種の海岸、港湾構造物が築造されてきたが、これらはいずれも漂砂源に大きな変化を及ぼしてきた。とくに、富山海岸一帯は海岸侵食の激しいことでは、わが国でも有数の海岸であり、このような原因による海岸侵食が多発している。

富山海岸一帯の海岸侵食を明らかにし、その対策を立てるために、1948年に富山県海岸対策協議会¹⁾によって調査が実施されて以来、建設省および富山県が中心となって各種の調査が行われ、また1968年には科学

* 愛媛大学助教授 工学部

** Assistant Chief, Coastal Engineering Branch, Division of Hydraulics, Institute of Hydraulic Engineering, Bandung, Indonesia

技術庁^{2),3)}によって大規模な調査が実施されてきた。この富山県と新潟県の県境にまたがる約7 kmの宮崎・市振海岸(以下、本論文では宮崎海岸という。)は、東側を親不知で知られる急峻な山地が直接海に接する海岸、西側は日本有数の海岸侵食地域である下新川海岸にはさまれている。宮崎海岸については、著者ら^{4),5)}がその海岸過程と宮崎漁港の埋没について、1968年から1971年までの3年間にわたって調査研究を進めてきたが、再び1979年に調査する機会が得られたことから、約10年間におけるこの海岸の変化を研究してきたことになる。その結果、この宮崎海岸の西端に築造された宮崎漁港の東防波堤の延長によって沿岸漂砂が阻止され、下新川海岸の海岸侵食が助長され、また宮崎漁港内は東海岸の沿岸漂砂の侵入による埋没をくり返してきたことが明らかにされてきた。このことから、宮崎漁港の東側海岸は堆積性の海岸として、一般に汀線が前進する傾向を示してきたが、最近この海岸の中央部に流入する境川河口とその隣接海岸で汀線が後退し、しかもこの傾向が西進する傾向にある。

本文では、これらの海浜過程を通じて、自然環境の変化に伴ない従来堆積性であった海岸が侵食性になっていく原因とその過程を究明し、この海岸の長期的な海浜過程の予測を試みたい。

2. 宮崎・市振漁港の沿革

宮崎海岸は、Fig. 1に示すように、宮崎漁港から市振漁港まで延長約7 kmの海岸であって、海岸線の方向はEENEからWWSWではほぼ一直線の海岸であるが、宮崎漁港および市振漁港がいずれも岬状に突出した地点にあって、それらの地形特性は非常に類似している。

宮崎漁港築造以前における付近の海岸、とくに漁港から1.5 km南西の笹川に至る海岸線は、年間10 m~40 m程度の割合で後退していたが、1940年頃の護岸の築造によってほぼ安定したといわれていた。また、この付近の海岸は和倉の海岸あるいは元屋敷の海岸と呼ばれ、往時から海岸侵食の激しいところであったが、泊町字和倉普請所往還道図には、『この地は泊町と宮崎との境にして、これより砂浜道なり』と記されていることから⁶⁾、広い砂浜をもった海岸であったことがわかる。

宮崎漁港は1950年ころから改修され、当時は砂浜に防砂突堤を設置、延長する方式であったが、漁船の大型化に伴って泊地が必要となり、Fig. 2に示すように東防波堤の延長と泊地の拡大がはかられ、前者は1966年に完成した。さらに、最近ではその改修と隣接海岸の海岸保全工事が進められてきた。後述するように、この東防波堤の延長に伴って、漁港東側では沿岸漂砂の一部は堆積して汀線が前進し、また東防波堤先端をう廻して港口付近に堆積し、それが高波浪の来襲時に港内に運ばれ港湾埋没が頻発するのが常であった。また、漁港の西側海岸では、東防波堤によって沿岸漂砂が阻止されるために漂砂源がたたれ、しだいに汀線は後退して現在では護岸前面まで侵食され、その防御対策として離岸堤や消波工が設置されている。

一方、宮崎漁港から東方約7 kmの地点に築造された市振漁港では、Fig. 2に示したように、前述した宮崎漁港の東防波堤の延長が完了した翌年からその築造工事が開始され、現在東防波堤が約200 m延長されている。この市振漁港の東側および西側海岸では、宮崎漁港の場合と同様に、東防波堤の延長に伴って東から西へ向う沿岸漂砂が阻止され、東側海岸で汀線は前進し、西側海岸では急激に後退する傾向を示し、さらに、

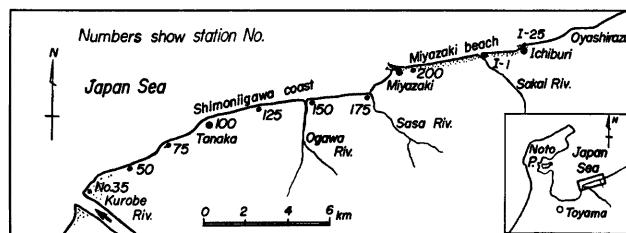
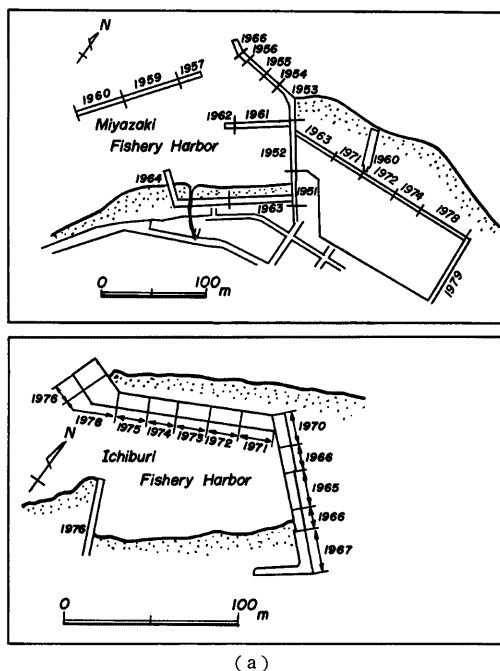
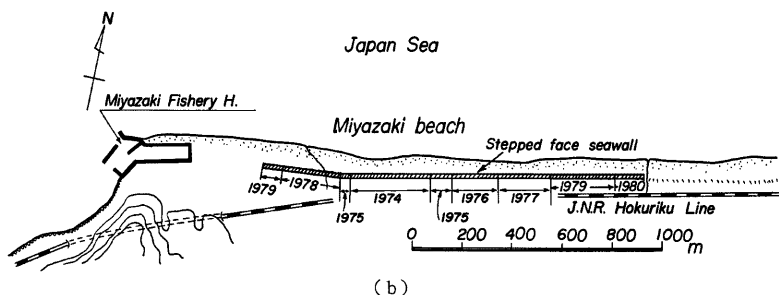


Fig.1 Location of Miyazaki beach belonging to Simoniigawa coast.



(a)



(b)

Fig. 2 History of re-construction of Miyazaki and Ichiburi Fishery Harbours.

東防波堤先端に堆積した漂砂は、各季節風による高波浪時に港内へと運ばれ、港口の閉塞をはじめ港湾埋没⁷⁾の問題が発生し始めている。

3. 来襲波浪の特性⁸⁾

この海岸に来襲する高波浪は、主として冬季節風によるものである。ここでは、Fig. 1 に示すように、宮崎から約10km西方の田中で建設省⁹⁾によって実施されている波浪観測結果を用いて、宮崎海岸に来襲する波浪特性を検討する。

田中波浪観測所では、波高、周期のみならず波向をも観測している。それらの結果から比較的欠測が少な

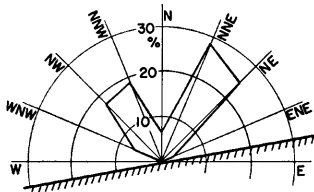


Fig. 3 Directional distribution of wave energy flux at point of wave measurements.

かった1965年から1967年までの3年間について、来襲波浪のエネルギーフラックスの方向分布を示したものが Fig. 3 である。ただし、波向の観測水深は約5mで、目視観測によったものであり、当然のことながら観測された波向は屈折によって沖波波向と相違しているはずである。したがって、各周期ごとに逆屈折図を描いて観測された波向を沖波波向に補正し、沖波のエネルギーフラックスの方向分布を計算したものが Fig. 4 である。これらの図から、この海岸に来襲する波浪の卓越方向は2方向であり、第1はNNW~NW、第2はNE方向であることがわかる。とくに、NEからよりE方向に卓越する波向は、寄廻り波として知られている富山湾一帯に災害をもたらす波浪に対応するものと考えられる。

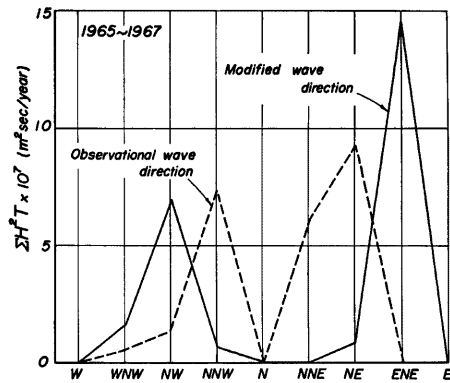


Fig. 4 Directional distribution of total wave energy flux proportional to $\Sigma H^2 T$ from 1965 to 1967.

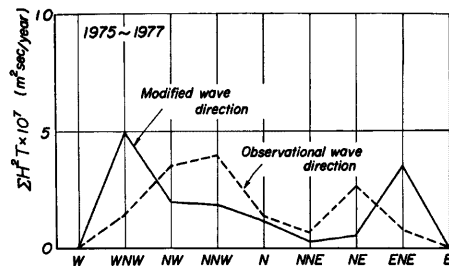


Fig. 5 Directional distribution of total wave energy flux proportional to $\Sigma H^2 T$ from 1975 to 1977.

また、Fig. 5 は Fig. 4 と同様に、1975年から1977年の波浪観測の結果を示したものであるが、この3年間富山湾沿岸には、いわゆる寄廻り波の来襲はほとんどなく、波浪のエネルギーフラックス全体の値も小さくなっている。したがって、この期間には、富山湾における波浪災害もほとんど発生していない。

さらに、宮崎海岸の海岸線がほぼ東西方向に延びているので、主方向の1つであるNW方向の波浪は海岸線付近で、その入射角が約70度となるが、もう1つの主方向であるENE方向の波浪の場合、その入射角が50度程度になる。このように、後者の波浪の沿岸方向エネルギーフラックスは前者に比べて大きいので、海岸侵食におよぼす影響も著しいといえる。

Fig. 6 には前述した2つの主方向をもつ来襲波浪の屈折図の1例を示す。これからいずれの波向に対しても、宮崎漁港の東側1km付近に波向線が集中し、NWおよびWNW方向の波浪に対しては、境川河口の西側約1km付近に、また波向NEの場合には、境川河口付近および宮崎漁港付近に集中することがわかる。

4. 海岸地形の変化と底質特性

宮崎海岸は、前述したように、宮崎漁港の修築に伴う東防波堤の延長によって、その東側に西向きの沿岸漂砂が阻止され、漂砂が堆積して汀線が前進する堆積性海岸と考えられてきた。しかし、最近では、冬期季

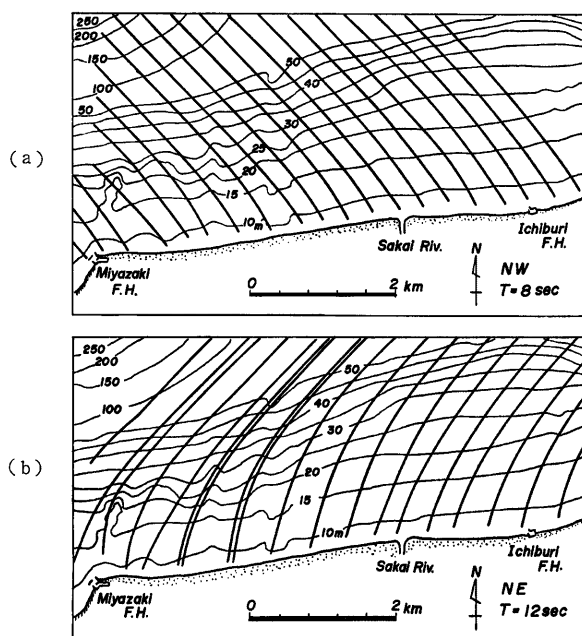


Fig. 6 An example of wave refraction diagrams representing two predominant direction of coming waves.

節風時の高波浪の来襲に伴って、海岸背後の住宅地まで波がそ上し、浸水などの被害が生じ、旧来の海浜がしだいに狭くなってきている。ここでは、この過程における海岸地形および底質特性の変化について述べる。

4.1 汀線の変化

海岸地形、とくに汀線の経年変化を明らかにするために、1947年8月に米軍により撮影された航空写真を基準として、1979年までの8回にわたって撮影された航空写真から、汀線の位置を読み取ってその経年変化を求めた。Fig. 7 は1947年を基準とした各年の汀線変化の沿岸方向分布を示したものである。汀線の前進は、

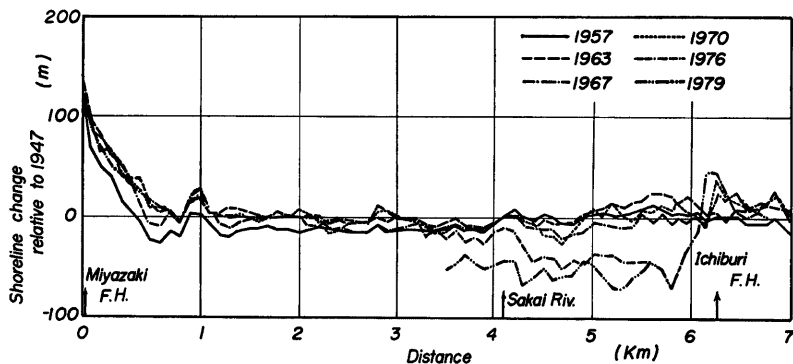


Fig. 7 Historical shoreline-changes relative to 1947 at Miyazaki beach.

宮崎漁港から東約1 kmの範囲で最も著しく、とくに東防波堤基部では、1947年当時と比べて約150 mも前進しているが、それより約4 km東の境川河口付近までは、1947年から1970年の約20年間であまり顕著な変化は見られない。一方、1976年には、境川河口に近い約3 kmより河口までの汀線が後退する傾向を示し、とくに1979年にはその傾向が著しく、境川河口から市振漁港の間では、汀線の後退は最大70 mにも及んでいる。1979年撮影の航空写真は境川河口付近から宮崎漁港までの範囲では撮影されていないので、その間の汀線変化は明らかでないが、汀線は後退の傾向にあるものと考えられる。しかし、市振漁港東側では、西側海岸の汀線の後退とは逆に、1979年には汀線は約45 mも前進しており、宮崎漁港東防波堤の東側と同様の過程をたどっていることがわかる。また、宮崎海岸のうち、最近とくに汀線変化の著しい境川河口から市振漁港東側の約3 kmの区間における汀線の変化を示したものが Fig. 8 である。市振漁港東側の汀線は、漁港の築造が開始された1965年以降急激に前進しているのに対して、漁港西側海岸では、東防波堤の延長に伴って沿岸漂砂が阻止され、1969年以降急激に汀線が後退している。

宮崎漁港から境川河口に至る1969年と1979年の深淺測量図を重ね合わせた10年間における侵食・堆積領域

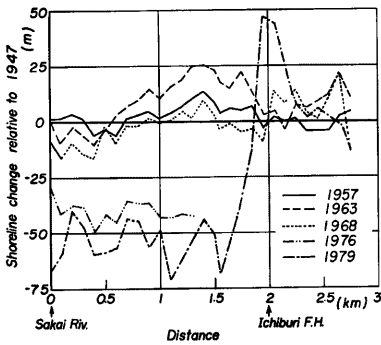


Fig. 8 Historical shoreline-changes relative to 1947 near Ichiburi Fishery Harbour.

を Fig. 9 に示す。とくに宮崎漁港から約400~600 m東の水深8 m以浅のところで最大2 m程度の土砂の堆積がみられる。この堆積領域は水深10 m以浅で、宮崎漁港から約3.5 km東付近まで続いているが、水深10 m以深ではほぼ侵食領域となっている。ただし、境川河口に近い水深14 m以深では逆に堆積領域となり、沖方向への底質移動あるいは深淺測量時の誤差によるものかは明らかでない。

宮崎および市振漁港の東西両海岸における汀線の経年変化を防波堤の延長との関係で Fig. 10 に示す。これによっても、両港の東防波堤の延長に伴って、その東側の汀線は前進し、西側では急激に後退していることがわかる。ただし、Fig. 10 (a) において1957年以前は地形図から、それ以降は航空写真から汀線の位置を算定したものである。なお、1963年以

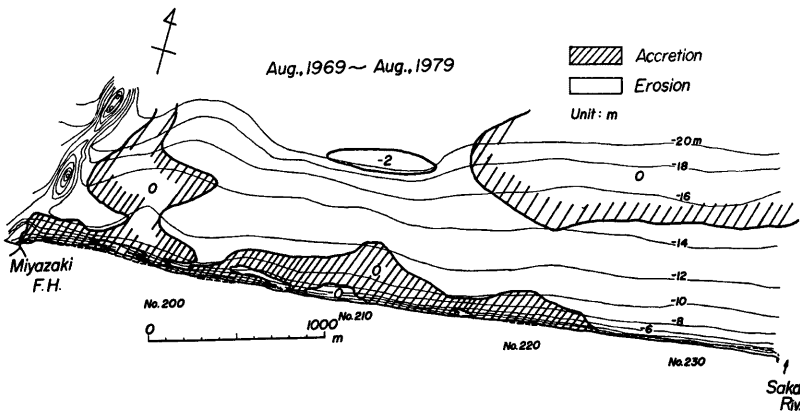


Fig. 9 Areas of erosion and accretion based on data from hydrographic survey.

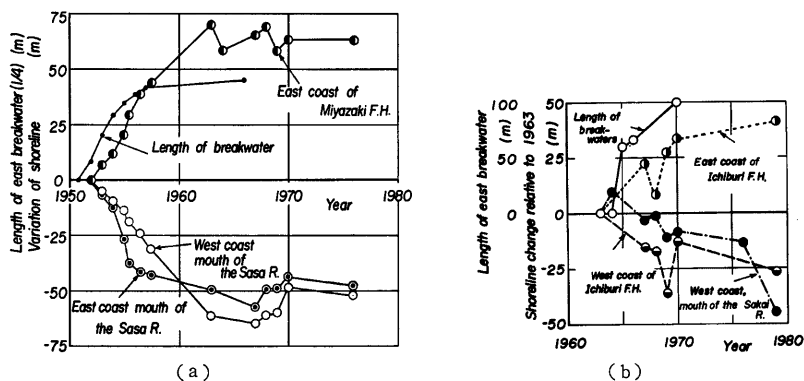


Fig. 10 Historical changes of shoreline near Miyazaki and Ichiburi Fishery Harbours, accompanying construction of eastern breakwaters.

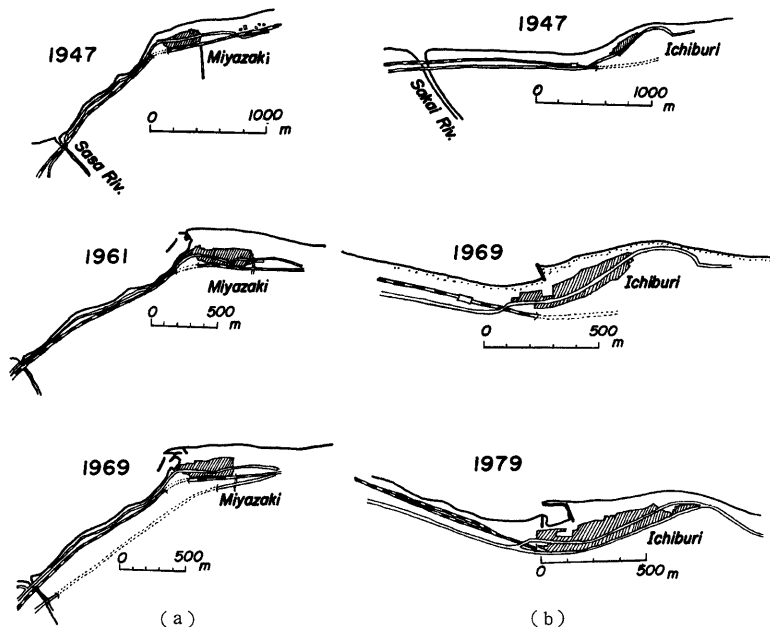


Fig. 11 Historical changes of shoreline showing geographical simulative between hinterlands near Miyazaki and Ichiburi.

降宮崎漁港東側の汀線はほぼ東防波堤先端にまで達し、それ以降平衡状態になっていることが見出せる。一方、笹川河口東西両海岸で1957年以降汀線が前進しているかのような傾向を示しているが、これは海岸堤防前面に消波工が設置されたことによるもので、1967年の汀線は海岸堤防基部の位置を示している。これらのことは市振漁港の築造以前に、宮崎漁港の東防波堤延長による隣接海岸の汀線変化が指摘されており¹⁰⁾、また、

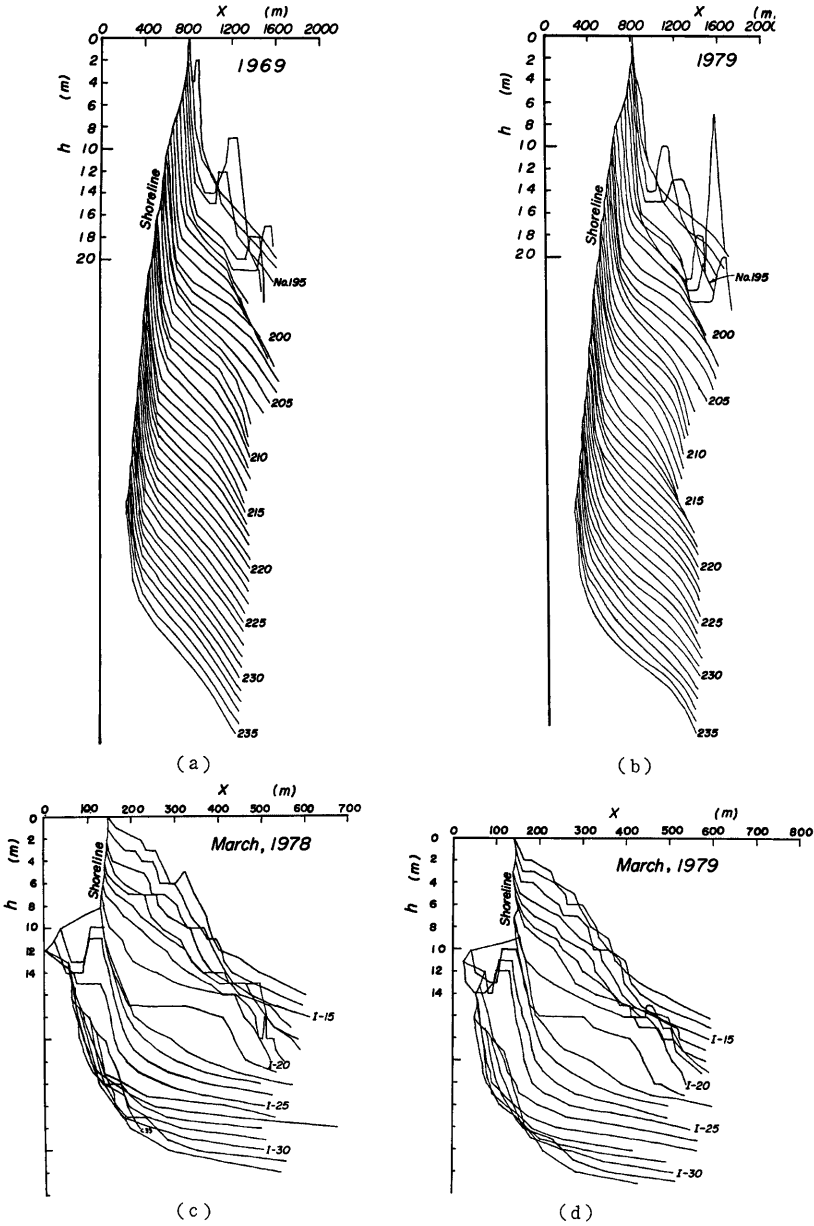


Fig.12 Beach profiles at Miyazaki beach.

Fig. 11 に示すように、両漁港の築造位置が、地形的に見て非常に類似していることから、漁港の埋没をはじめ汀線の前進・後退をあらかじめ予測することができたはずである。しかし、現状では、沿岸漂砂の阻止によって宮崎海岸はしだいに侵食性海岸へと性格を変えてきているといつてよい。このことからすれば、これが再び下新川海岸のような経過をとらないよう可能な限り自然の海浜を残した海岸侵食対策が望まれよう。

4.2 海浜断面形状の変化

汀線変化に伴って、一般に海浜断面形状も変化する。宮崎海岸の海浜断面形状については、水深約10mで浅い海浜勾配が非常に急で、約1/5~1/10程度であり、これより深いところでは約1/100程度と緩勾配になっている。

1969年以降建設省によって毎年測量された結果を用いて、沿岸方向に100m間隔で海浜断面形状を描いたものを Fig. 12 に示す。これによると、一般的に海浜勾配の経年的な変化はあまり顕著ではないが、境川河口から市振漁港までの海浜は、それより西側すなわち境川河口から宮崎漁港までと相違して、その勾配は河口から沿岸方向に約700m付近まで約1/30と若干緩くなっている。また、市振漁港付近より東側では、宮崎漁港東側付近と同様に水深10mまでの海浜勾配は約1/5~1/10、それより深いところでは約1/100となっている。

これら海浜断面形状について、宮崎漁港から境川河口までの約4kmの範囲を500m区間ごとおよび境川河口から市振漁港までを300m区間ごとに分けて、その区間の平均的な海浜断面形状の変化を示したものが Fig. 13 である。これから、海浜勾配は1969年以降ほとんど変化が見られず、汀線変化に伴ってこれとほぼ

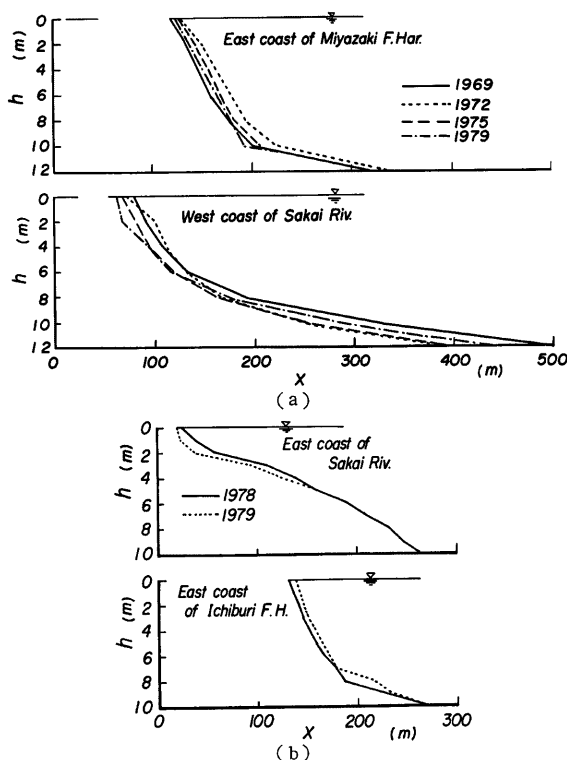


Fig. 13 Beach profiles at various station along Miyazaki beach.

平行に移動していることがわかる。また、境川河口から市振漁港までの範囲では、前述したように汀線の後退に伴って海浜幅が減少し、1970年当時海岸堤防前面に約50m以上も存在した海浜が現在では十数mとなっている。このことから、高波浪時には海岸堤防まで波浪が到達するようになると、下新川海岸において指摘したように⁹⁾、海岸堤防前面の海浜は汀線の後退と同時に、海浜勾配が急になる傾向をとるものと思われる。

4.3 底質特性

海岸における底質特性を明らかにすることによって、一般に漂砂の方向や供給源、漂砂の特性などを推定することができる。たとえば、Handin¹¹⁾や砂村ら¹²⁾は底質の特性を検討し、沿岸方向にその性質とくに粒径、淘汰度および岩種変化を検討することが、漂砂の卓越方向を推定するのにきわめて有効であると強調している。また、同様の方法で佐藤ら¹³⁾および岡本ら¹⁴⁾は、宮崎海岸を含む富山湾沿岸の漂砂の卓越方向を調査している。とくに、宮崎海岸のようにれき海岸では、底質の特性を詳細に調査することによって、漂砂の移動方向を見出したり、また漂砂源の寄与を評価することができる。

(1) 海浜れきの沿岸方向特性

海浜すなわち前浜および後浜における最大砂れきの沿岸方向分布の調査は、1969年3月以降4回にわたって行い、それらの結果をFig. 14に示す。1969年3月および1970年10月の場合には、調査範囲が宮崎漁港から境川河口までの約4kmに限られており、また後浜には現在のような海岸保全事業に伴う階段式護岸などの構造物が設置されておらず、自然海浜の状態であった。さらに、この2回の調査では、約200m間隔で最大砂れきの大きさ(長径)を測定したが、一方1979年6月および1980年2月には最大れきの長径(a)、中径(b)および短径(c)を測定した。

Fig. 14 から、1969年および1970年の測定では、一般に境川河口から宮崎漁港へ近づくに従って、最大れ

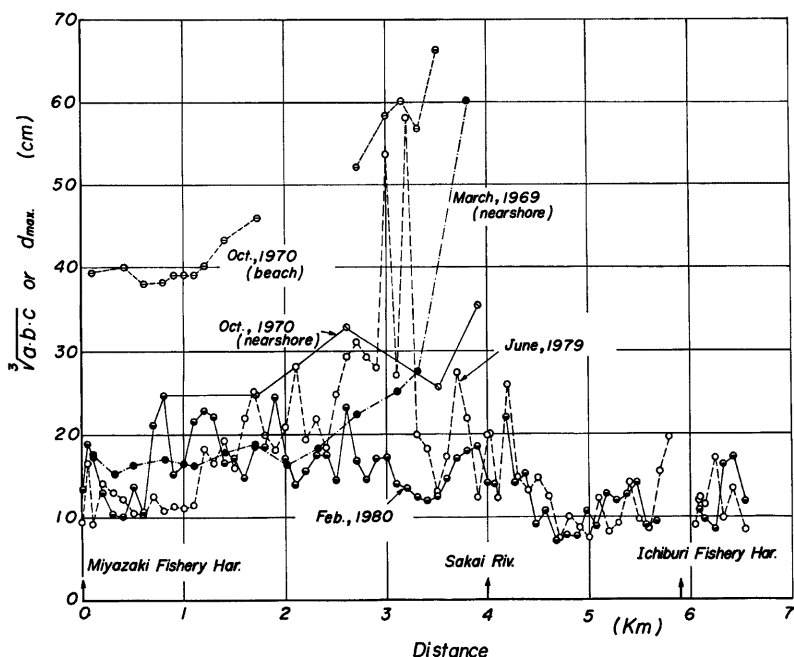


Fig. 14 Alongshore variation of maximum size of sediment along Miyazaki beach.

きの粒径が減少する傾向を示し、この粒径分布からも前述の波浪特性と同様に、沿岸漂砂の卓越方向は東から西であることが確認される。一方、1979年および1980年の測定は約100m間隔で行ったが、1969年および1970年のその分布と大きな相違が認められる。つまり、1979年の調査結果では過去に見出された境川河口から宮崎漁港への粒径のほぼ単調な減少傾向がなくなり、宮崎漁港から約3km付近で逆に粒径が大きくなっており、それより宮崎漁港および市振漁港に向って粒径が減少する傾向を示している。この最大砂れきの沿岸方向分布が相違する原因としては、境川河口の隣接海岸における消波工の設置に伴う人為的な影響が大きいたことが挙げられよう。なお、1980年2月の調査結果のうち、宮崎漁港から境川河口までの範囲では、その粒径が著しく小さくなっているように見えるが、これは調査時に後浜付近より陸側に積雪があり、測定できなかったことによるものと思われる。

(2) 底質特性の変化

ここでは、1969年、1970年および1979年に実施した底質調査の結果について述べるが、宮崎漁港を中心とした海底の底質および宮崎漁港から境川河口に至る陸上部の底質に分けて述べる。

(a) 1969年および1970年における底質調査

まず、底質資料の採取は、3回実施し、その第1回は1969年3月に汀線から沖方向における底質を、宮崎漁港を中心に東側1kmおよび西側1.8kmの範囲で Fig. 15 に示す200m間隔に測線を設け採取し、また、さらに前浜および後浜の陸上部においては、1969年10月と1970年10月に、宮崎漁港から境川河口まで資料の採取を行った。それらの資料採取にあたっては、Fig. 16 のように陸上部の底質採取測線を定め、汀線、汀線から3、6、9、14、19、29、39および49mの9点を採取地点として、その表面の底質を採取した。

これらの資料の分析は、1969年3月の資料について従来から行われている2mmのフルイを基準として、2mm以上のフルイに残るものをれき群、それ以下を砂群として取扱うことにした。しかし、陸上部における底質の資料は海底における底質と同様に幅広い粒径分布を構成しているが、海底における底質に比べて

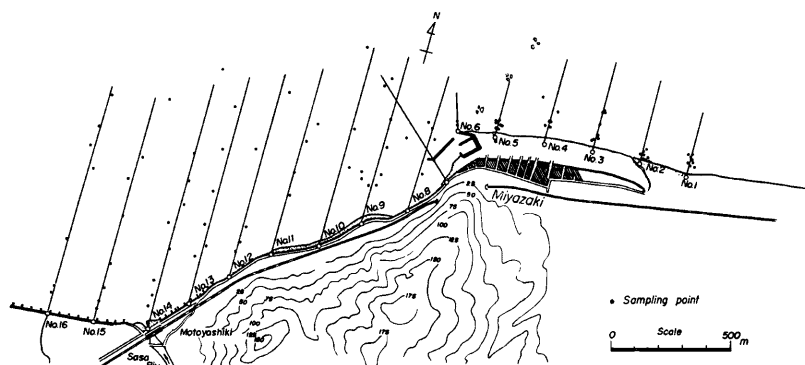


Fig. 15 Points of sediment sampling near Miyazaki Fishery Harbour.

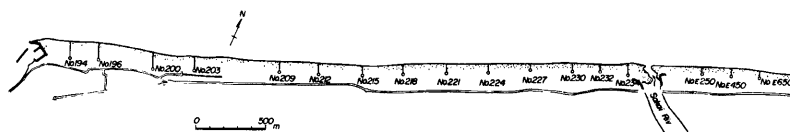


Fig. 16 Stations of sediment sampling at Miyazaki beach.

きの占める割合がかなり多いため、10mm フルイを基準として、便宜上 10mm フルイに残るものをれき群、通過するものを砂群として分析を行い、砂群については粒径加積曲線を作成して、中央粒径などの特性値を求めた。

1) 中央粒径の沿岸方向分布：ここでは、汀線および汀線から後浜へ3, 6, 9, 14, 19, 29, 39および49mのそれぞれの地点で採取した資料の汀線と平行方向の粒径分布を距離別に分けて検討することとした。すなわち、汀線に直角方向に(a) (汀線から9mまでの平均値)、(b) (9mから29mまでの平均値) および(c) (29mから49mまでの平均値)の3つの領域に分けて解析したものである。Fig. 17 は上記の方法によって図示したもので、これによると、(a)領域における汀線付近の粒径が最も大きく、約2~3mmの範囲であるが、Fig. 16 の測線 No. 212 のように粒径が漸次小さくなる傾向も見出せる。このことは、来襲波浪の局所的な変化、とくに波向の変化によって全般的な漂砂の卓越方向とは逆方向への漂砂の移動に原因するものと考えられる。(b)領域では、底質の中央粒径の分布が一定の傾向をもたず広い範囲にわたって分布しており、この領域の海浜勾配の場所的な複雑さ、あるいは来襲波浪特性の局所的な差異によるものであろう。(c)領域は汀

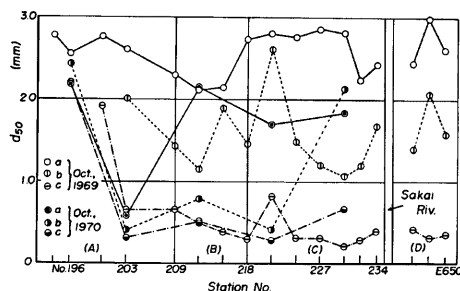


Fig. 17 Alongshore distribution of median diameter of sediment.

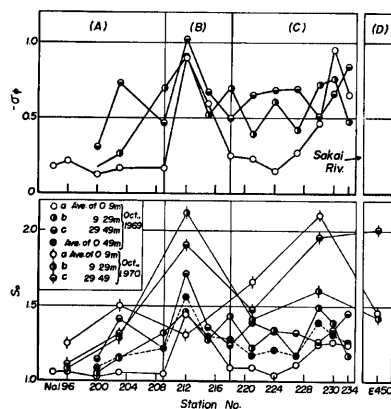


Fig. 18 Alongshore distribution of standard deviation and sorting coefficient of sediment.

線より29mから49m後浜のところであって、底質の中央粒径は(a)および(b)領域に比べて非常に小さく、一部を除いてはほぼ0.4mm程度で、汀線と平行方向においても、その粒径はほとんど変化していない。1970年10月の採取資料については底質の採取地点が1969年10月のに比べて少なく、汀線と平行方向の粒径分布は一定の傾向を示していないが、汀線付近の底質の粒径は小さくなっている。とくに、測線 No. 203 では粒径が非常に小さく測線 No. 196 から No. 230 へと一般に粒径が漸次小さくなる傾向を示している。

このように、汀線と平行方向の底質特性の分布から検討を行うと、この漁港東海岸において次の4領域に区分できるように考えられる。すなわち、測線 No. 194 から No. 209 までを(A)領域、測線 No. 209 から No. 218 までを(B)領域および測線 No. 218 から No. 234 を(C)領域の3つであり、さらに境川より東側の範囲を(D)領域とすることができるであろう。

2) 淘汰度の沿岸方向分布：漂砂は来襲波浪や沿岸流によって移動し、それに伴って篩分け作用を受けることが知られている。ここでは、底質の淘汰を示す指標として篩分け係数 S_0 と標準偏差 σ を用いた。それらの汀線と平行方向への分布を示したものが Fig. 18 である。1969年10月採取の資料では、測線 No. 212 を除く他の測線で篩分け係数の値がほぼ1.0から1.5の範囲に含

まれている。一般に、篩分け係数の値が1.0の場合には底質が全く均一な粒径から構成され、また普通の海浜では、その値が1.25であれば粒径の構成はほぼ均一であるといわれていることから、宮崎漁港東海岸における底質はその値が非常に小さく、普通の海岸よりも底質の淘汰がよいことが明らかである。それぞれ前述の領域ごとにとみると、一般に(a)領域の汀線での値が最も小さく、この海岸に来襲する波浪によって篩分け作用を常にかけていることを示している。それに比べて、後浜の(b)および(c)領域では波浪による篩分け作用が、(a)領域ほど顕著に行われなため、底質の淘汰の状態が一般に悪くなっている。宮崎漁港に近い測線 No. 196 から No. 209 の範囲の底質は、境川付近の底質に比べて S_0 の値も小さくよく淘汰されていることを示している。これは、境川付近から宮崎漁港へと漂砂が移動する過程での篩分け作用、あるいはその範囲における来襲波浪の場所的な特性によるものと考えられる。

一方、測線 No. 212 においては、他の測線と異って、底質の淘汰状態が不良であることを示している。このように底質の淘汰状態においても、前述したように汀線と平行方向に(A), (B)および(C)領域の3領域に分けられるようである。これは1970年10月の調査においても同様の傾向であるが、この付近の海浜勾配などの詳細な資料がないために、それがどのような作用によって生じたかは明らかでない。1970年10月の調査では1969年10月のものに比べて、一般に底質の淘汰の状態が悪く、特に(C)領域の淘汰が悪くなっている。このように、1969年から1970年にかけての1年間における、底質特性の変化から、1970年1月に来襲した低気圧時の波浪によって、底質の粒径分布や淘汰状態にかなりの変化を及ぼしたといえる。

3) 汀線に直角方向の特性：前述したように、この海岸の底質の特性から、宮崎漁港周辺では、漁港を中心として東海岸ではれき、西海岸では砂を主体とした分布をし、また、東海岸の前浜や後浜においては、4つの領域に区分できることがわかったので、ここでは海底および陸上部の底質の特性をそれらの領域ごとに検討し、汀線に直角方向の特性の沿岸方向の変化を明らかにする。

Fig. 19 に宮崎漁港東海岸における底質の特性の代表的な例を海底断面形状とともに示したものである。漁港東海岸の底質採取測線 No. 1 から No. 6 に至る範囲では、海底勾配が急であり、しかも底質の粒径が非常に大きく、中央粒径は5mm から60mm程度にも及ぶ。Bascom¹³⁾による海浜勾配と底質粒径の関係では、一般に粒径が大きいほど海浜勾配は急になる傾向がある。宮崎漁港東海岸は海浜勾配がきわめて急であり、かつ底質粒径が大きいことから同様の傾向を示し、このような海岸では汀線から沖方向に水深が急に深くなり、来襲波浪のエネルギーがほとんど失われず海岸に到達するので、漂砂もきわめて激しいことが推察される。

一方、漁港西側の測線 No. 7 から No. 16 に至る範囲では汀線から水深5～6m付近までの間の海底に岩盤が露出しており、その範囲にはほとんど砂れきが存在しておらず採取できなかった。しかし、水深7mより深い海底の底質は砂であって、そのほとんどが中央粒径0.2mm以下のかなり均一な砂であった。

Fig. 20 は、採取資料を砂群およびれき群のみから構成されているものとその両群が混在するものとに区分し、各採取測線ごとの資料数と砂群およびれき群それぞれの重量が全重量の50%以上を

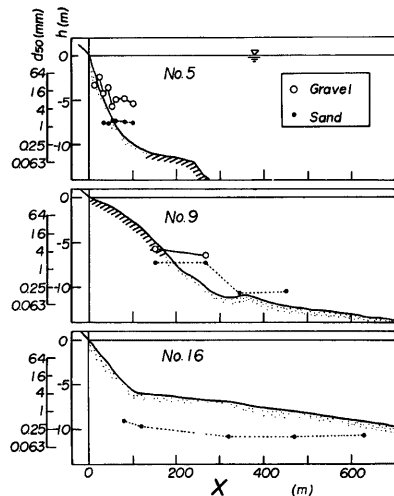


Fig. 19 Beach profiles and offshore characteristics of sediments near Miyazaki Fishery Harbour.

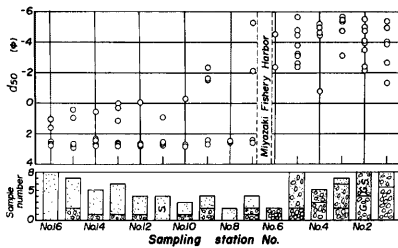


Fig. 20 Alongshore distribution of median diameter of bed material and its composition.

示すものについて、それぞれの群における中央粒径の場所的分布を示したものである。これからも前述のように、漁港を中心として東海岸では粒径の大きなれき群、西海岸では砂群によって構成された底質で、その粒度組成に大きな相違があることがわかる。

汀線に直角方向の底質の粒径分布については、汀線における底質粒径を基準とした。汀線から陸上部および海底の底質粒径の比として Bascom が図示した結果によれば、汀線から陸上部における底質の粒径は、前浜においてもっとも大きく、後浜に行くにしたがって粒径が減少し、また、海底部においては最終砕波点付近の底質粒径がもっとも大きく、沖合ほど粒径が減少する。この方法によって、漁港東海岸における汀線と直角方向の中央粒径の変化を各領域ごとの平均値で示したものが **Fig. 21** であり、また同様の方法で中央粒径の比として図示したものが **Fig. 22** である。これらによれば、汀線から 9 m 付近までは汀線での粒径より大きくなり、9 m から 29 m 付近にかけて粒径は漸減する傾向を示している。さらに、29 m から 49 m までは、粒径の変化はほとんどみられない。このように Bascom による海浜の粒径比の関係がれき海岸である宮崎漁港東海岸の前浜から後浜にかけての範囲でも見出されるようである。この一般的な傾向は汀線に沿って区分した各領域によって若干異っている。つまり、(C)領域を除いた(A)および(B)の領域では、汀線から 3 m および 9 m の地点に比べて、その中間の 6 m の地点で底質の粒径がわずかに小さくなる傾向が見られるが、これは底質の粒径分布に關係する局所的な来襲波浪特性の変化とそれに伴う海浜勾配の相違によるものではないかと考えられる。また、(D)領域では他の領域に比べて 9 m および 14 m の地点での粒径が大きく、この領域の海浜勾配が比較的ゆるやかなために、波浪のそ上範囲が後浜の奥深くまで及ぶのではないかと考えられる。

つぎに、**Fig. 23** は汀線に直角方向の1969年10月採取の資料における篩分け係数と標準偏差の分布を、前述の汀線と平行方向に4つの領域に分ける方法で示したもので、汀線と汀線から 6 m の地点では底質の淘汰はあまり良好ではないが、9 m ではよく淘汰されている傾向を示している。また、(D)領域を除いて 9 m から 19 m では淘汰の状態が急に悪くなる傾向を示し、19 m から 49 m にかけてしだいに淘汰が良好になる傾向が認められる。ただし、(D)領域については、粒径変化についても述べたように、汀線から 14 m の地点でよく淘汰される傾向を示しており、これは波浪のそ上距離と密接に關係するものと考えられる。これら中央粒径の分

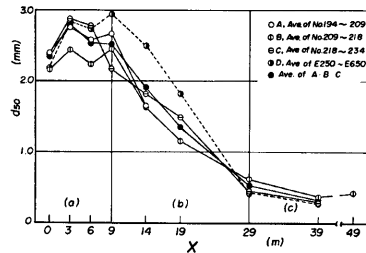


Fig. 21 Onshore distribution of median diameter of sediment on beach.

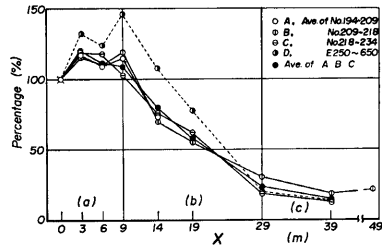


Fig. 22 Ratio of median diameters of sediment at shoreline to one at several sampling points in onshore direction.

布と淘汰度の分布状態から考察すれば、宮崎漁港東海岸については、つぎのようなことが明らかにされる。すなわち、汀線から9 mまでは常時波浪の影響を受け、波による篩分け作用がなされている。一方、9 mから29 mにかけては年に何回か来襲する大きな波浪時にのみ波が上する範囲であり、29 mから49 mの区域ではほとんど波が上しない範囲であると考えられる。

(b) 1979年10月における底質調査

れきが多く分布する海岸や河川における底質の分析に際して、その採取位置や採取量などを決めることは非常にむづかしく、従来からいろいろの採取方法が考えられている。ここでは簡便に、採取点近傍の底質の分布がほぼ一様で、底質特性がその付近を代表していると考えられる位置から底質の採取を行った。この際、底質粒度分析と並行して岩種分析を行う必要上、また100 mm以上のれきが多数存在することから約1 m³の底質を採取している。

Fig. 24 は各採取位置を示すもので、つぎの理由から代表的な4地点を採用した。すなわち、(1)市振漁港東側で、宮崎漁港から市振へ向う季節的な沿岸漂砂の影響が及ばないところ、(2)境川河口東側で、市振からの沿岸漂砂と境川からの流送土砂が季節的に影響するところ、(3)境川河口西側で、市振からの長期的な沿岸漂砂及び境川からの流送土砂の影響を受け、宮崎海岸を構成する底質を代表する位置および(4)波浪のそ上など海岸の影響をまったく受けて、境川上流からの流送土砂のみで構成されている境川の河床である。

Fig. 25 はそれぞれ採取位置ごとに示した底質の篩分け累加曲線であって、市振漁港東側では、粒径2 mm以下の細砂がほとんど存在しないが、粒径分布が比較的一様で、よく淘汰された底質であることを示している。一方、他の3ヶ所の底質は細粒のものから粗粒のものまで広い範囲にわたって分布しており、よく似た累加曲線を示している。しかし、境川河口東と西側の底質

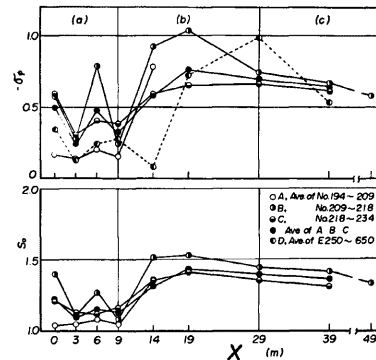


Fig. 23 Onshore distributions of standard deviation and sorting coefficient of sediment on beach.

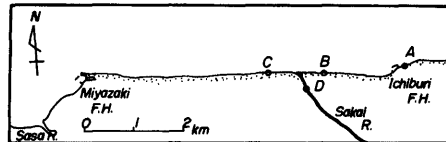


Fig. 24 Sampling points used to sieve and mineral composition analyses.

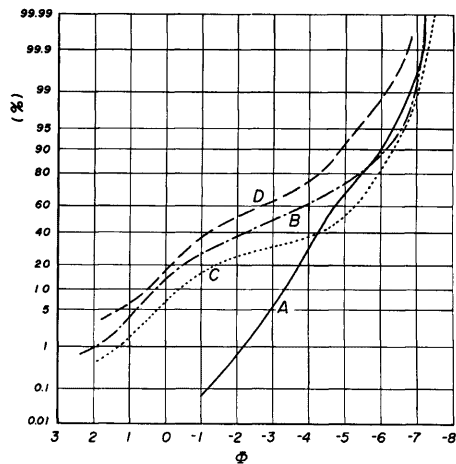


Fig. 25 Cumulative frequency curves of sediments.

Table 1 Characteristics of sediments used to sieve and mineral composition analyses.

	A	B	C	D
ϕ^5	-3.00	1.23	0.20	0.70
ϕ^{16}	-3.63	0.05	-1.00	-0.21
ϕ^{25}	-3.90	-0.45	-2.11	-1.00
ϕ^{50}	-4.45	-1.89	-4.88	-3.10
ϕ^{70}	-5.28	-3.95	-5.80	-5.05
ϕ^{84}	-5.70	-4.55	-6.10	-5.70
ϕ^{95}	-6.30	-5.35	-6.68	-6.55
d^{50}	21.86mm	3.71mm	29.45mm	33.13mm
σ_ϕ	-1.04	-2.30	-2.55	-2.75
S_o	1.61	3.36	3.59	4.07

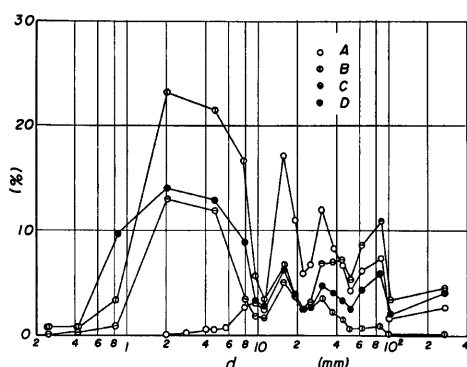


Fig. 26 Frequency distributions of sediments.

の分布形状はよく似ているものの、河口西側で粗粒径の底質の占める割合が多く、また、境川河床と境川河口西側の底質分布がほぼ一致していることが見出される。これらのことから、境川河口から市振漁港にかけての海岸では、市振漁港方向からの西向きの沿岸漂砂に比べて境川の流送土砂の寄与が小さいと推察されよう。さらに、各底質のヒストグラムを示したものが Fig. 26 であって、これからも前述と同様のことがうかがえる。以上、4ヶ所における底質の特性を示したものを Table 1 に示すが、とくに、境川河床の底質は大粒径のれきからウオッシュロードとして洪水時に流送される細粒径のシルト質に近い底質まで

混在しているために、標準偏差と篩分け係数が大きくなっていると考えられる。一方、海岸の底質はシルト質の細粒径のものは、平常時の波によって浮遊して運び去られるためにほとんど存在せず、比較的底質の淘汰がよいのであろう。また、底質の淘汰のみならず、その形状においても境川河床および海岸の底質では明らかに相違しており、境川河床の底質は比較的角張った形状のものが多く見られるが、海岸の底質では、その形状が非常に円く、また扁平なものがほとんどであって、沿岸漂砂の摩耗が激しいことを示しているといえよう。

5. 沿岸漂砂量の推定

前述したように、1951年宮崎漁港の改修に当り、東防波堤の延長に伴ってその東側には漂砂が堆積し、また西側では海岸線の後退が現われはじめた。この影響は、本漁港隣接海岸の笹川河口をはじめとし、下新川海岸へと及ぶものと考えられる。笹川より西側の海岸には、小川および黒部川が流入しており、境川とともにこれらが下新川海岸の主たる漂砂源になっている。しかし、下新川海岸の東部に着目すれば、境川および笹川が漂砂源であるが、後者はその流域特性からしてあまり多量の土砂を流出するとは考えられず、境川の漂砂源としての重要性とは比較にならないほどであると考えられる。

ここでは、以上の観点から立って、境川からの流送土砂が宮崎漁港の改修に伴って東防波堤付近に堆積することによって、下新川海岸の侵食がどのように助長したかを直接検討する立場ではなく、むしろ反対に下新川海岸の侵食量の経年変化を建設省⁹⁾の調査結果から検討して、この海岸の沿岸漂砂量を推定し、この結果から宮崎漁港東海岸における沿岸漂砂量を推定することにする。

5.1 下新川海岸の侵食量

海岸侵食土砂量を調査した結果は、各断面ごとに非常に散乱しているので、移動平均して沿岸方向における侵食土砂量の分布を示したものの1例が Fig. 27 である。この結果には、1958年6月よりの累加侵食土砂量 $\bar{Q}_i$ のほか同年を基準とした汀線の移動量 y_0 と汀線より水深4mの地点までの距離 $(y_0+B)'$ とが同時に示されている。測点 No. 176 より宮崎漁港までは、現在岩礁が露出しているが、これまでになった経過はわからない。

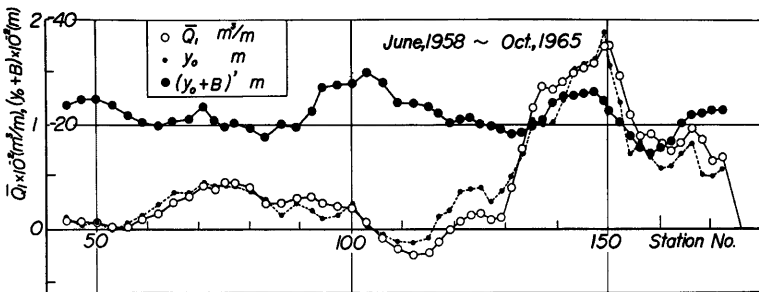


Fig. 27 Alongshore distribution of shoreline change and accumulated volume of sediment eroded.

このような各年の侵食土砂量の分布の経年変化から、測点 No. 180 付近より西側では平均的には著しく侵食され、その範囲は次第に西側に移動していることがわかった。いま、この付近の海岸が比較的等深線の一様な海岸であることに着目して、この侵食範囲における全侵食量を求め、その経年変化を調べると、Fig. 28 のようになる。これから、侵食量は平均的には直線的に増加するが、1958年以後急激にこの侵食量が増加しており、宮崎漁港の東防波堤の影響がよく現われている。また、図中に示したような直線的な関係によって、年平均の侵食量を推定すると、約 $5.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ となる。ただし、この付近には笹川および小川の2河川が流入しているが、これからの流送土砂量はさほど大きくなく、ここでは考慮しなくてよいと考えることにした。なお、Fig. 27 に示した汀線の移動量と侵食量との関係を検討すると、平均的な漂砂の移動限界水深は約5.5mであることがわかった。

5.2 下新川海岸の沿岸漂砂量

以上のように、この海岸の侵食量の分布をみると、1958年以降では、宮崎漁港の改修に伴って、漂砂源としての東海岸よりの漂砂の供給はほとんど期待されないで、この漂砂量がゼロであるとして、沿岸漂砂量の推定を行うことにする。

(1) 沿岸漂砂量の分布

いま、海浜に平行方向の漂砂の移動による海浜変形のみを考えることにして、沿岸方向を x とし、漂砂

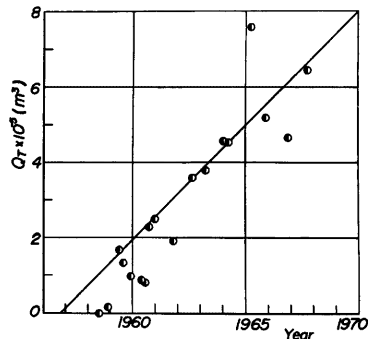


Fig. 28 Changes of volume of erosion.

帯の幅を B 、漂砂帯全域における漂砂量を Q_s 、汀線の変化を y_0 、平均水深を h として、連続式を変形すれば、次式が得られる^{16), 17)}。

$$\frac{\partial y_0}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} - \left(1 - \frac{h}{h_s}\right) \frac{\partial h_s}{\partial t} - \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad (1)$$

ここに、 h_s は漂砂の移動限界水深であり、また λ は空隙率を100で割った値である。さらに、適当な調査期間に対する時間的平均をとることにし、侵食土砂量 $\bar{Q}_1$ を導入し、また h_s は変化しないものとするれば、式(1)は次式で表される。

$$\frac{\partial \bar{Q}_1}{\partial t} = \{1/(1-\lambda)\} \frac{\partial \bar{Q}_s}{\partial x} \quad (2)$$

ここに、 $\bar{Q}_s$ および $\frac{\partial \bar{Q}_1}{\partial t}$ はそれらの時間的平均を表わす。したがって、基準点 $x=0$ において $\bar{Q}_s = \bar{Q}_0$ とすれば、

$$\bar{Q}_s = \bar{Q}_0 + \int_0^x (1-\lambda) \frac{\partial \bar{Q}_1}{\partial t} dx \quad (3)$$

となるので、この海岸のようにほとんど $\bar{Q}_0 \approx 0$ と考えられる場合には、各地点の年平均の侵食土砂量を積分して、沿岸漂砂量の分布を求めることができる。

Fig. 29 は式(3)によって **Fig. 27** から求めた沿岸漂砂量の分布を示したものである。図中には1958年より約10年間の平均沿岸漂砂量のほか、波浪観測が行われた年のものも示してある。これから、測点 No. 100 地点付近ではほぼ一定となるが、それ以西では若干変動することがわかる。これは黒部川の東側ではいわゆる洋谷が発達しており、波浪の集中とともに、漂砂が必ずしも沿岸方向のみに移動しないためと考えられる。No. 100 付近での年平均沿岸漂砂量は **5.1** において述べた全侵食量とほぼ一致していることがわかるであろう。

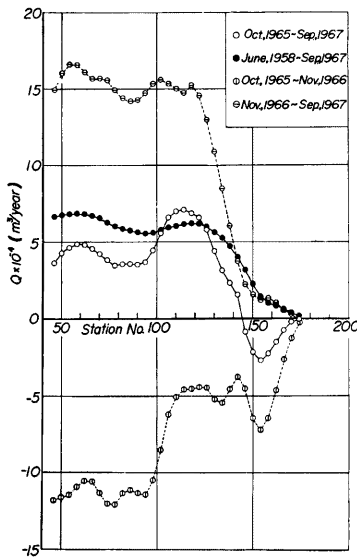


Fig. 29 Alongshore distribution of rate of longshore sand transport.

(2) 沿岸漂砂量と波浪のエネルギーフラックスとの関係

この関係を求めるためには、各周期および波向ごとに屈折図を描き、砕波点での波浪特性を検討してこの海岸の沿岸方向の波浪のエネルギーフラックスを求める必要がある。

Fig. 30 は屈折係数の沿岸方向分布の一例であり、また **Fig. 31** は砕波点付近における波向および汀線の傾斜角などを示したものであり、記号は図中に説明するとおりである。これらの結果と波浪の観測資料とを用い、年平均の沿岸方向の波浪エネルギーフラックスを次式をもとにして計算した。

$$E_s = (\rho g / 16) H_0^3 C_{s0} (b_0 / b_s) \sin 2\alpha_s \quad (4)$$

ここに、 E_s は砕波点における沿岸方向の波浪のエネルギーフラックスであり、また H_0 は沖波波高をあわす。**Fig. 32** は1965年より1967年の2年間における沿岸方向の波浪エネルギーフラックスの分布を示すものであるが、**Fig. 29** に示した沿岸漂砂量の分布とかなりよく対応していることがわかる。ただし、波向がNE方向に近い場合には、波向の推定が屈折特性に大きく影響することがわかり、さらに若干の修正を必要

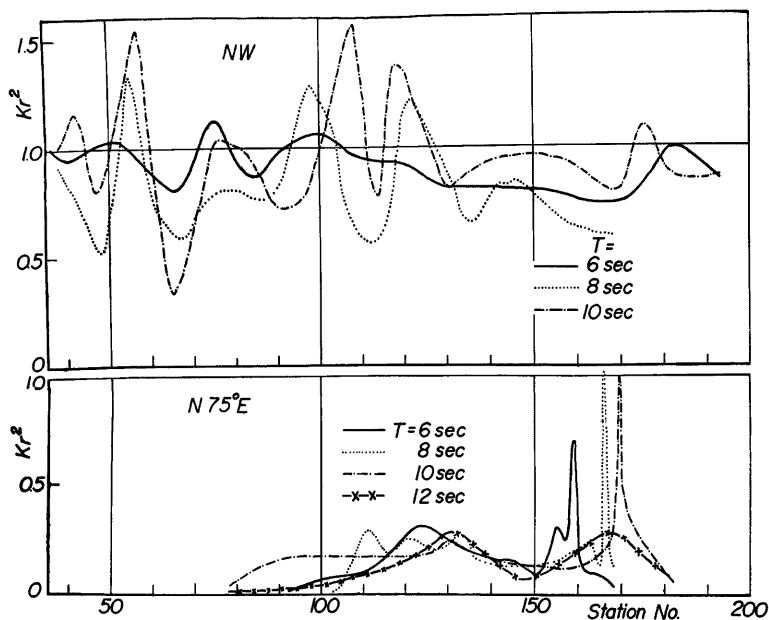


Fig.30 An example of alongshore distribution of wave refraction coefficient.

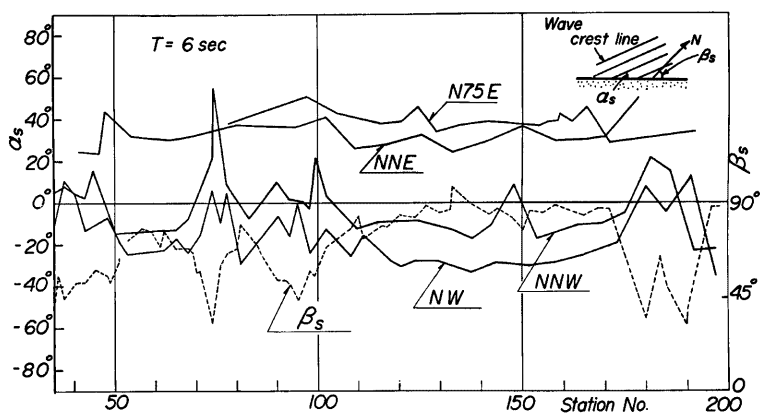


Fig.31 Alongshore distributions of wave direction and inclination of shoreline to the north at breaking point.

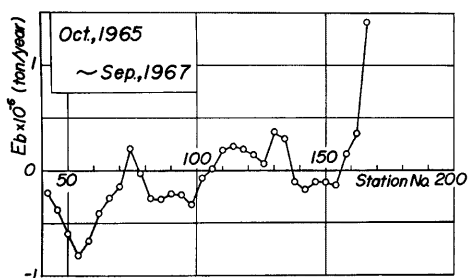


Fig. 32 Alongshore distributions of wave energy flux.

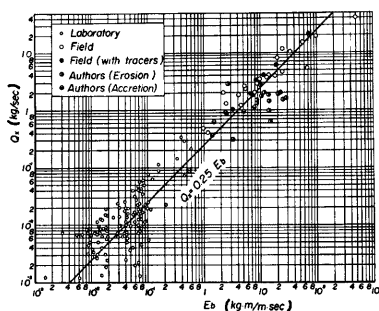


Fig. 33 Relationship between rate of longshore sand transport and wave energy flux.

とする。

測点 No. 180 付近を除いた No. 100 以東の海岸については、前述したようにかなり一様海岸に近いので沿岸漂砂量の分布を検討することができる。Figs. 31 および 32 に示した結果から、 $i=0.5$ として各地点の沿岸漂砂量と波浪のエネルギーフラックスとを対応させ、かつ従来の観測および実験の結果¹⁰⁾と比較したものが、Fig. 33 である。

なお、測点 No. 100 以西については、前述したように洋谷との関係を明らかにする必要があり、それは、Figs. 31 および 32 の対応でよくわかるであろう。

(3) 宮崎漁港東海岸における沿岸漂砂量に関する考察

以上のように、下新川海岸における沿岸漂砂量は、宮崎漁港によって漂砂が止められ、かつ笹川からの流送土砂量が省略できるものとすれば、沿岸方向に変化するが年平均約 $5.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 程度と考えられる。したがって、もし笹川からの流送土砂量が十分小さければ、宮崎漁港の東海岸における沿岸漂砂量は大体この程度の値になるが、実際には笹川からも若干の土砂流出があるので、沿岸漂砂量はこの値より小さくなるものと考えられる。

一方、宮崎漁港周辺の深浅測量の結果からも、沿岸漂砂量を推定することができる。Fig. 34(a) は 1969 年 3 月と 1970 年 4 月に実施した深浅測量から侵食・堆積図を描いたものである。まず、土砂の侵食・堆積領域について見ると、斜線で示した侵食領域は東防波堤前方から岩礁付近に広がっている。一方、1970 年 4 月から 1971 年 3 月に至る期間について描いた Fig. 34(b) では、東防波堤前方から岩礁付近にかけておおむね堆積領域となっており、非常に対照的である。この結果によって得られた侵食・堆積領域の面積に深さ方向の地形変化量を乗じて算出した侵食・堆積土砂量は Table 2 のようである。この場合、侵食・堆積土砂量の算定は図中に破線で示した漁港周辺の領域についてのみ行った。それによると、1969 年 3 月から 1970 年 4 月の 1 年間で約 $18,800 \text{ m}^3$ の土砂が堆積し、1970 年 4 月から 1971 年 3 月の 1 年間で約 $38,700 \text{ m}^3$ の土砂が侵食されている。また、この変化土砂量を汀線単位幅 (m) 当りに換算するとそれぞれ約 $23.5 \text{ m}^3/\text{m}$ および約 $48.3 \text{ m}^3/\text{m}$ となる。

Table 2 Volume of sediment estimated from erosion-accretion diagrams within specified period.

Period	Volume of accretion (m^3)	Volume of accretion per unit length of shoreline (m^3/m)
March, 1969 to April, 1970	18,800 (accretion)	23.5
April, 1970 to March, 1971	-38,700 (erosion)	-48.3

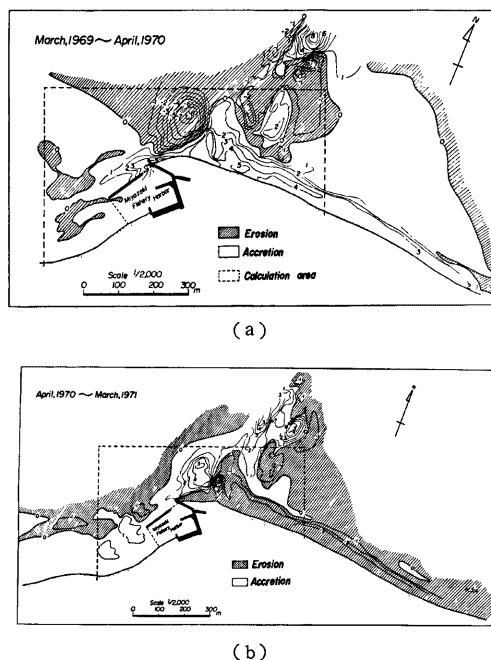


Fig. 34 Areas of erosion and accretion based on data from hydrographic survey.

さらに、宮崎漁港の東防波堤から東側500mおよび1,000mの範囲における漂砂移動量を、地形変化が ± 0 mおよび ± 1.0 m以上のものについて算定した結果を **Table 3** に示す。この場合その範囲を東防波堤から1,000mに拡大すると、海底の地形変化が ± 0 mから ± 1.0 mまでの占める領域が広く、これは深淺測量の精度によってその範囲が左右されるので、ここでは前述のように地形変化が ± 0 m以上の全体の範囲にわたるものと、 ± 1.0 m以上の範囲について局所侵食量および局所堆積量の算定を行なった。これによると、侵食および堆積量の算定期間および範囲の相違によってその量が非常に変化することがわかる。漂砂の移動量については、長期間にわたって得られた資料に基づいて検討することが望ましいが、ここでは上述の2年間における資料の解析から考察することにしよう。**Table 3** から漁港周辺における漂砂の移動量は、この2年間の平均から約 20,000m³/year~29,000m³/year 堆積することが明らかとなった。漂砂の移動については、**Fig. 34** から侵食と堆積の位置が局所的に変化することがうかがえる。とくに漁港の東防波堤前面の海域では、1969年3月から1970年4月と1970年4月から1971年3月の各1年間で侵食および堆積領域が逆になっている。また、漁港西防波堤の前面から港口付近では、この2年間いずれも漂砂が堆積していることがわかる。これらのことは、沿岸漂砂が一般的には東から西へと向っているが、来襲波浪の特性に対応して局所的に西から東へと移動することを示している。また東防波堤前面の海域で、1969年3月から1970年4月の1年間で最大8 mにもおよぶ侵食が起きているのは、1970年1月から2月に来襲した未曾有の波浪の結果であると考えられ、その侵食された底質の一部が東防波堤東側の汀線から辺ノ崎付近に堆積したものと考えられる。

以上のように、宮崎海岸および下新川海岸の沿岸漂砂量は、宮崎海岸では平均的に約 25,000m³/year、下新川海岸では約 56,000m³/year と推定されたが、下新川海岸の侵食が宮崎漁港東防波堤の沿岸漂砂阻止に

Table 3 Rate of sediment transport estimated from erosion-accretion diagrams near Miyazaki Fishery Harbour.

a) Variation in bottom topography more than 1m

	March, 1969 to April, 1970			April, 1970 to March, 1971			March, 1969 to March, 1971
	Erosion rate (m ³ /year)	Accretion rate (m ³ /year)	Net rate of sediment (m ³ /year)	Erosion rate (m ³ /year)	Accretion rate (m ³ /year)	Net rate of sediment (m ³ /year)	Annual rate of sediment transport (m ³ /year)
500m east distance from eastern breakwater	137, 000	161, 000	+24, 000	100, 000	146, 000	+46, 000	+35, 000
1000m east distance from eastern breakwater	137, 000	227, 000	+90, 000	197, 000	146, 000	-51, 000	+19, 500

b) Variation in bottom topography more than 0m

500m east distance from eastern breakwater	157, 000	171, 000	+14, 000	107, 000	182, 000	+75, 000	+44, 500
1000m east distance from eastern breakwater	157, 000	237, 000	+80, 000	203, 000	182, 000	-21, 000	+29, 500

原因するものとすれば、宮崎海岸における沿岸漂砂の上限値は、下新川海岸の沿岸漂砂量と同等の値と推察される。

6. 漁港の埋没機構

宮崎漁港は冬期季節風時の高波浪によって港内に漂砂が侵入し、その埋没量は数千m³にも及んでいた。すなわち、1968年度および1969年度にそれぞれ 7,860m³ および 5,940m³ 埋没したので、富山県は1969年度後期に東防波堤をかき上げて越波の防止をはかった。その後、1970年にはいわゆる 1 月低気圧の高波浪の来襲をうけ、6,300m³ 埋没した。ここでは、以上の調査結果にもとづいて、港内埋没の機構とくに波浪と埋没量との関係を検討し、埋没に及ぼす東防波堤のかき上げの効果について考察する。

(1) 埋没状況

Fig. 35 は1968年より1971年までの港内の埋没状況を示したものであり、埋没土砂は東防波堤の港内側基部付近に多く堆積している。この埋没土砂の堆積は、後述するように、港口あるいは東防波堤を越えて侵入した土砂が、その後の波浪の来襲によって次第に東防波堤基部付近に移動したものと考えられる。また、埋没土砂は港内中突堤先端付近から船揚げ場の海域にもみられ、漁船の進入のみならず荷役時の接岸を防げていた。

Fig. 36 は、これら埋没時の波浪特性を示す。ただし、田中波浪観測所の観測が欠測していたときには、直江津港の波浪記録から推定した結果を示してある。また、埋没時の深浅測量図から埋没量を計算して示したものが **Table 4** であって、そのときの波浪状況および東防波堤の状態をも付記してある。

(2) 埋没土砂量と波浪特性との関係

まず、**Fig. 37** は 1 例として漁港付近の屈折図を示し、かつ碎波線を示したものである。この屈折図を用いて N または NE 方向よりの波の碎波後の変形を中村ら¹⁹⁾の実験結果を用いて推定し、東防波堤に沿う侵入波の波高分布を計算した結果が **Fig. 38** である。同様な計算を西防波堤について行った結果によると、港口付近の水深の大きい場所を除いて、防波堤に沿う侵入波高はほとんど一定となり 2.7m~3.3m 程度

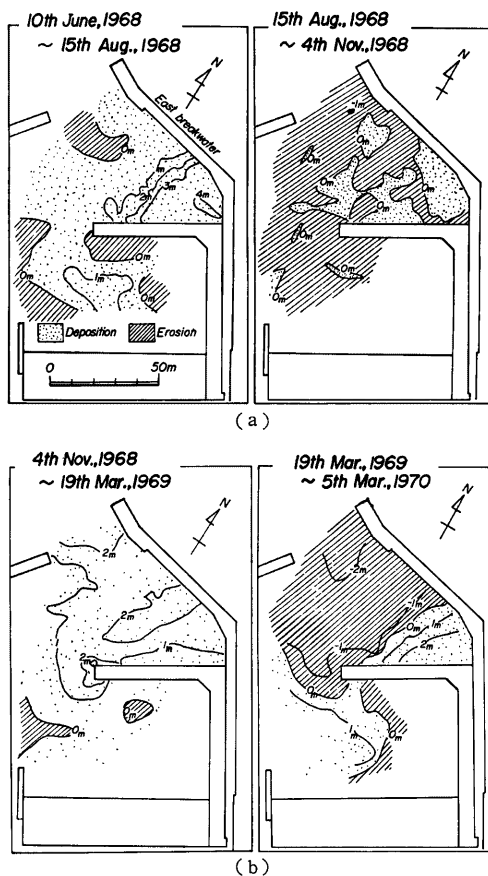
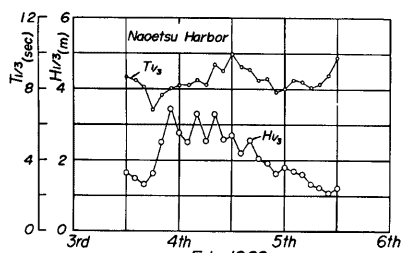


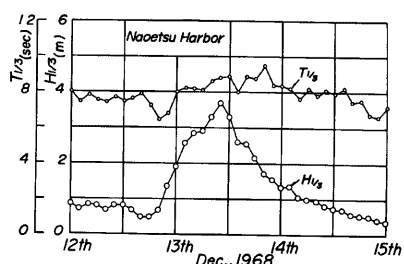
Fig.35 Areas of accretion accompanying filling-up of Miyazaki Fishery Harbour.

Table 4 Sediment volume of filling-up at Miyazaki Fishery Harbour.

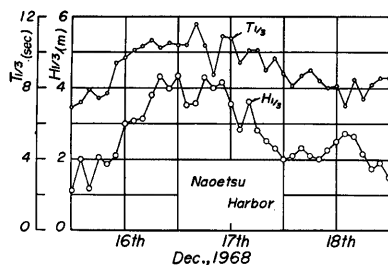
No.	Period	Volume of accretion (m ³)	Severe climate conditions
1	Before June, 1968	7,860	Low-pressure occurred on 15th to 16th Feb., 1968
2	15th Aug. to 4th Nov., 1968	-360	_____
3	4th Nov., 1968 to 19th Mar., 1969	5,940	Low-pressure occurred on 4th to 6th Feb. and 12th to 13th Mar., 1969
4	19th Mar., 1969 to 5th Mar., 1970	6,300	Low-pressure occurred on 31st Jan. to 3rd Feb., 1970



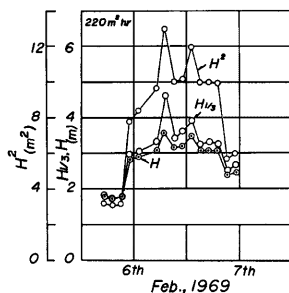
(a)



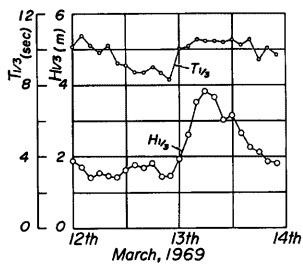
(b)



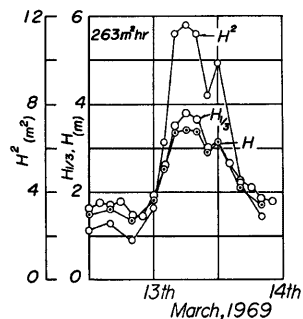
(c)



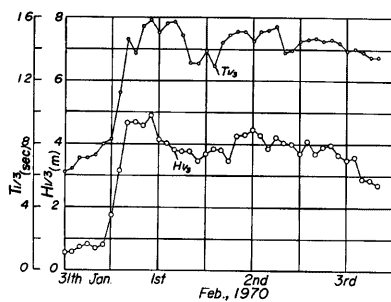
(d)



(e)



(f)



(g)

Fig. 36 Changes of wave characteristics estimated under stormy conditions.

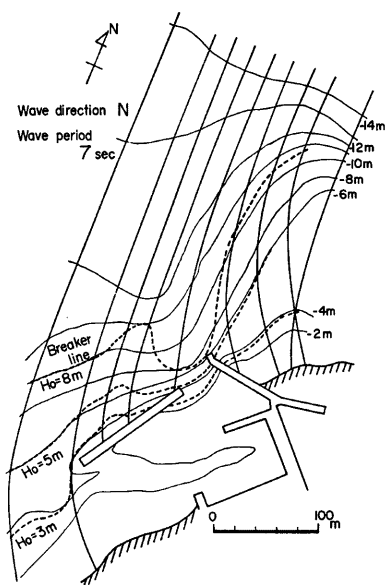


Fig. 37 Wave rays and breaker lines off Miyazaki Fishery Harbour.

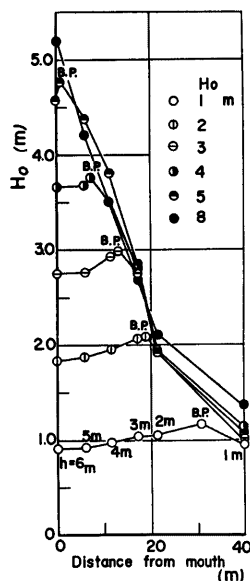


Fig. 38 Wave characteristics along eastern breakwater of Miyazaki Fishery Harbour.

となることがわかった。これらの結果から、この漁港では港口付近の水深が大きく、かつ発散の傾向にあるので、この付近には約5mに及ぶ波浪が侵入する可能性があり、これが港口よりの漂砂の侵入をもたらすものと考えられる。一方、東防波堤に沿っては、約3～4m程度の波浪が来襲するが、越波に関する検討の結果によると、沖波波高が約2.5m以上になると越波量が急増することがわかったので、この場合にはかなりの越波を生ずるものと考えられる。

いま、東防波堤の越波を主体とし、港口より約10mのところの侵入波高を各埋没時の推定波浪から求め、その波のエネルギーの総和でもって埋没量との関係をあらわすことにする。Fig. 39は埋没時の波浪特性から以上の方法を用いて推定した防波堤前面の侵入波高とその自乗をあらわしたものであるが、これから沖波波高2.5m以上についての総エネルギー $\Sigma H^2 dt$ を求め、これまでの3回の埋没量の実測値と比較したものがFig. 40である。わずかに3点しか実測値がないので、明確なことはわからないが、防波堤のかさ上げ前の埋没量は波の総エネルギーに比例する関係として表されるが、かさ上げ後の埋没量の値は、1970年1月低気圧と名づけられた異常波浪であったにもかかわらず、かなり小さい値として図示される。このことから想像すれば、埋没防止に対して東防波堤のかさ上げはかなりの効果があったと考えてよいであろう。

以上のように、宮崎漁港の埋没は、主として東防波堤の越波によるものであり、これに港口からの漂砂のまわり込みが加わって生ずるものと考えられる。一方、宮崎漁港とはほぼ同様の地形条件の位置に築造されている市振漁港においても、漁港周辺の海浜地形の変化のみならず、漁港の埋没が問題となっている。菅原⁷⁾は市振漁港の埋没について、平均的な沿岸漂砂の方向が東から西であって、これによって漂砂が東防波堤前面から港口付近に堆積し、冬季季節風に伴う高波浪の来襲初期、すなわちNW方向からの波浪によって港内に運搬されることを指摘している。このように、宮崎漁港と地形および海象条件が同じところに築造された漁港では、沿岸漂砂の侵入による埋没が当然予想されることである。

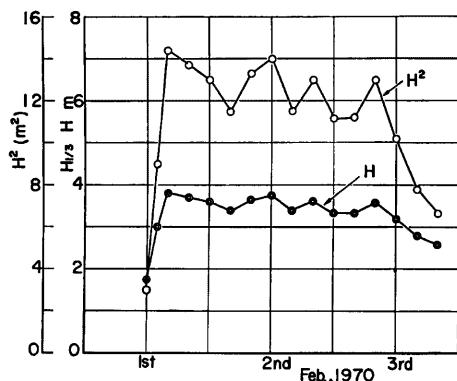


Fig. 39 Changes of wave height and its square with time.

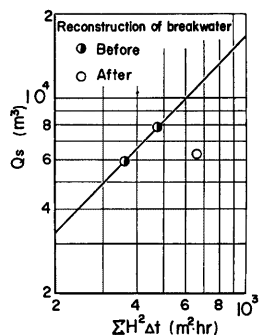


Fig. 40 Relationship between wave energy and volume of filling-up.

7. 海浜変形の予測

ここで対象とする青海海岸から宮崎海岸にかけての海浜過程の予測や海岸侵食制御を議論するためには、境川を中心としたこの海岸における漂砂源及び沿岸漂砂量を的確に把握することが必須であろう。そこで、ここでは底質の特性から、長期的な沿岸漂砂の特性を以下の方法で推定した。

7.1 漂砂源の変化の推定

(1) 粒度・鉱物組成による推定方法

河川および海岸における砂れきの長期的移動方向および量を推定することは海岸侵食対策のうえできわめて重要な問題のひとつであり、従来より多くの研究がなされているが、ここでは対象とする領域の底質の粒度・鉱物組成から漂砂源および沿岸漂砂量を次の方法で推定してみよう。

まず、Fig. 41 に示す領域について、以下のような仮定を設ける。

仮定1：海岸における底質の移動は沿岸漂砂によるものであり、その方向は前述したように Fig. 41 に示す方向である（移動の一方向性）。

仮定2：現在海岸および河床に堆積している砂れきの特性と流送されるものとの粒度および鉱物組成は同一である（堆積砂れきと流送砂れきの同一性）。

仮定3：対象とする領域内においては流送による底質（砂れき）の損摩耗はない（砂れきの非損失、非摩耗性）。

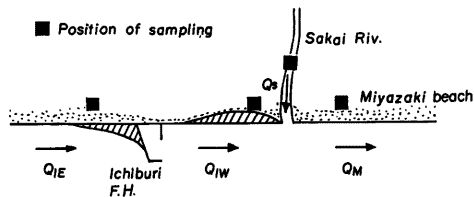


Fig. 41 Schematic diagram of sediment movement near Sakai river mouth.

以上の仮定の下に、各粒度かつ各鉱物組成についての連続関係から、宮崎海岸における漂砂量 Q_M で規格化した境川からの流送土砂量 $\bar{Y}$ 、および市振漁港周辺（東側または西側）における沿岸漂砂量 $\bar{X}$ （または Z ）を推定する。そこで、ここでは防波堤延長前の情報として市振漁港の東側、延長後のそれとして西側の底質特性を用いて宮崎海岸の漂砂源および漂砂量の変化を考察する。

いま、宮崎海岸における沿岸漂砂量を Q_M 市振漁港西側および東側のそれを Q_{IW} および Q_{IS} 境川からの流送土砂量を Q_S とおくと、上述の仮定 1 から、流送土砂量の間には次式で示される連続関係が成り立っていると考えられる。

$$\text{防波堤延長前} : \bar{X} + \bar{Y} = 1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{防波堤延長後} : Z + \bar{Y} = 1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 $\bar{X} = Q_{IS}/Q_M$ 、 $\bar{Y} = Q_S/Q_M$ および $Z = Q_{IW}/Q_M$ である。

一方、仮定 2 および 3 から、各粒径階および各岩種についても、現在堆積している底質の特性を用いて次の連続関係が成立する。

$$\text{防波堤延長前} : P_{ij}^I X_{ij} + P_{ij}^S Y_{ij} = P_{ij}^M \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{防波堤延長後} : P_{ij}^W Z_{ij} + P_{ij}^S Y_{ij} = P_{ij}^M \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $P_{ij}^{\#}$ の IE は市振漁港東側、 i は粒径階、 j は岩種による分類を意味し、 $P_{ij}^{\#}$ はその重量百分率である。

以上の式(5)および(7)または式(6)および(8)を最小自乗法で解くことを考える。つまり、式(7)および(8)から得られる (X, Y) および (Z, Y) の解群は、すべて式(5)および(6)の関係を満足すべきことから、残差としては次式を考えればよい。

$$\epsilon_1^2 = \sum_{n=1}^N (\bar{X} - X_n)^2 + \sum_{n=1}^N (1 - \bar{X} - Y_n)^2 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\epsilon_2^2 = \sum_{n=1}^N (Z - Z_n)^2 + \sum_{n=1}^N (1 - Z - Y_n)^2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 $N = i \times j \times C_2$ である。

よって、式(9)および(10)の残差を最小にするような $(\bar{X}, \bar{Y})$ および (Z, Y) は次式によって与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{X} &= 1/2 + (\sum_{n=1}^N X_n - \sum_{n=1}^N Y_n) / 2N \\ \bar{Y} &= 1/2 - (\sum_{n=1}^N X_n - \sum_{n=1}^N Y_n) / 2N \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\left. \begin{aligned} Z &= 1/2 + (\sum_{n=1}^N Z_n - \sum_{n=1}^N Y_n) / 2N \\ \bar{Y} &= 1/2 - (\sum_{n=1}^N Z_n - \sum_{n=1}^N Y_n) / 2N \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

(2) 底質の特性と係数行列の与え方

ここでは、底質の特性として、粒度および鉱物組成に着目して、式(7)および(8)の係数行列をこれから与える方法について述べる。

1) 底質の採取方法：前述したように、底質の採取は、1979年10月12日に Fig. 24 に示した 4 ヶ所において、汀線から約 30 m 陸側の縦、横および深さそれぞれ約 1 m づつの約 1 m³ について行った。この時期は冬期季節風による高波浪の来襲前に当たり、底質の移動の少い時期であるが、10月1日～2日にかけて7916号台風による高波浪の影響が底質の分布特性に介していることも考えられる。

2) 底質の特性：前述のような方法で採取した底質の粒度組成は Figs. 25 および 26 に示したとおりであ

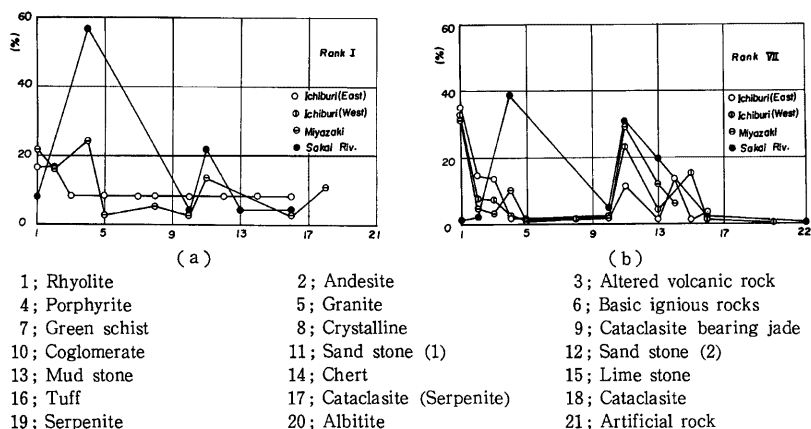


Fig. 42 An example of mineral compositions at several sampling points.

り、その鉱物組成の一例を Fig. 42 に示す。これらの図のうち、特に Fig. 26 からは次のような2通りの考え方ができる。つまり、海岸侵食の著しい市振漁港の西側において、粒径の細いところにピークが見られ、漁港の防波堤延長により漂砂が阻止されていると考えられる東側では粒径の大きなところにピークが存在していることから、(i)細い粒径の底質は防波堤先端を越えて西側へ流れ込んでいる。(ii)7916号台風の影響が介入しているためであるという2通りの考え方ができる。それ故、ここで得られた底質の特性から、係数行列を決定するにはこれら両者の立場に立脚した2通りの決定方法を示す。一方、Fig. 42 に示したような鉱物組成から、次のようなことがわかった。

(i) Table 5 に示すように各粒径階に分類し、粒径階 I および II の大粒径のれきについては、それ以外のものと傾向を異にし、今回の底質の採取方法ではサンプリングによる誤差が大きい可能性がある。

(ii) 粒径階 III ~ VII では、各サンプリング地点毎によく似た組成をしており、前述した仮定 1 (移動の一方方向性) を考慮して、宮崎海岸で採取した底質に必ず存在し、鉱物組成の特徴をよく表わしていると考えられる岩種としては流紋岩、安山岩、ひん岩、礫石および砂岩が選び出される。

3) 係数行列の与え方: 以上のような底質の特性から、式(7)および(8)の係数行列を決定するのであるが、前述したように、市振漁港の西側の粒度分布に関する考え方から次の2通りの場合に分ける。

CASE-I: 細い粒径の底質は市振漁港の防波堤先端から西側へ流れ込んでいると考えた場合。

CASE-II: 市振漁港西側の粒度分布には、7916号台風の影響が介入しており、粒径の細い部分の粒度分布の特性はこの地点でそれを代表するのではないと考えられる場合。

Table 5 Rank of sediment sizes.

Diameter (mm)	Rank of sediment size
$d > 101.6$	I
$101.6 > d > 88.9$	II
$88.9 > d > 63.5$	III
$63.5 > d > 50.8$	IV
$50.8 > d > 44.4$	V
$44.4 > d > 38.1$	VI
$38.1 > d > 31.7$	VII
$31.7 > d > 25.4$	VIII
$25.4 > d > 19.1$	IX
$19.1 > d > 9.52$	X
$9.52 > d > 4.76$	XI
$4.76 > d > 2.00$	XII
$2.00 > d$	XIII

Table 6 Matrixes of mineral compositions of sediments in each rank of sediment size (Case-I).

Ichiburi (West)	I	II	III	IV	V	VI	VII
Rhyolite	0	0	0.173	0.225	0.324	0.687	1.09
Andesite	0	0.005	0.404	0.068	0.056	0.291	0.251
Porphyrite	0	0	0.058	0.045	0.014	0	0.084
Conglomerate	0	0	0.058	0.023	0.071	0.065	0.084
Sand stone	0	0	0.346	0.338	0.167	0.549	0.767
Others	0.150	0.265	0.462	0.472	0.465	0.667	1.06

Ichibari (East)	I	II	III	IV	V	VI	VII
Rhyolite	0.453	0.200	1.57	1.33	1.21	2.13	2.92
Andesite	0.453	0.100	1.31	1.08	0.376	0.557	1.21
Porphyrite	0	0.300	0.052	0.232	0.108	0	0.176
Conglomerate	0.227	0.100	0.732	0.258	0.216	0.304	0.207
Sand stone	0	0.100	0.837	0.688	0.510	1.11	0.940
Others	1.59	0.800	2.88	2.61	1.80	2.63	2.83

Sakai Riv.	I	II	III	IV	V	VI	VII
Rhyolite	0.354	0	0.046	0.077	0.035	0.016	0.049
Andesite	0	0	0.138	0.019	0.011	0.012	0.098
Porphyrite	2.32	0.985	3.35	2.28	0.988	0.734	1.51
Conglomerate	0.178	0.394	0.184	0.210	0.198	0.044	0.195
Sand stone	0.890	0.394	1.38	1.19	0.883	0.593	1.21
Others	0.359	0.197	0.690	0.554	0.465	1.88	0.867

Miyazaki	I	II	III	IV	V	VI	VII
Rhyolite	1.18	0.444	2.61	2.80	2.08	2.24	2.21
Andesite	0.883	0.266	0.478	0.140	0.130	0.269	0.337
Porphyrite	1.33	1.15	1.65	0.847	0.501	0.415	0.724
Conglomerate	0.147	0.355	0.435	0.170	0.074	0.171	0.135
Sand stone	0.736	0.710	2.96	2.97	1.54	2.07	2.05
Others	1.18	0.533	2.79	1.70	0.982	2.00	1.58

Table 7 Matrixes of mineral compositions of sediments in each rank of sediment size (Case-II).

Ichiburi (West)	I	II	III	IV	V	VI	VII
Rhyolite	0	0	1.77	2.30	3.22	6.94	11.16
Andesite	0	0.049	4.12	0.69	0.57	2.98	2.57
Porphyrite	0	0	0.59	0.46	0.14	0	0.86
Conglomerate	0	0	0.59	0.23	0.73	0.66	0.86
Sand Stone	0	0	3.53	3.46	1.73	5.62	7.85
Others	1.51	2.75	4.72	4.84	4.76	6.83	10.81

Ichiburi (East)	I	II	III	IV	V	VI	VII
Rhyolite	1.22	0.54	4.23	3.59	3.26	5.73	7.86
Andesite	1.22	0.27	3.53	2.90	1.01	1.50	3.26
Porphyrite	0	0.81	0.14	0.63	0.29	0	0.48
Conglomerate	0.61	0.27	1.97	0.70	0.58	0.82	0.56
Sand Stone	0	0.27	2.26	1.85	1.37	3.00	2.54
Others	4.28	2.15	10.01	7.02	4.85	7.08	7.63

Sakai Riv.	I	II	III	IV	V	VI	VII
Rhyolite	1.36	0	0.18	0.29	0.13	0.06	0.19
Andesite	0	0	0.53	0.07	0.04	0.05	0.38
Porphyrite	8.93	4.80	12.90	8.76	3.80	2.83	5.83
Conglomerate	0.69	1.92	0.71	0.78	0.76	0.17	0.75
Sand Stone	3.43	1.92	5.30	4.56	3.40	2.29	4.66
Others	1.38	0.96	2.65	2.13	1.79	7.25	3.34

Miyazaki	I	II	III	IV	V	VI	VII
Rhyolite	2.46	0.93	5.43	5.83	4.33	4.67	4.61
Andesite	1.84	0.56	1.0	0.295	0.27	0.56	0.70
Porphyrite	2.77	2.41	3.44	1.77	1.05	0.87	1.51
Conglomerate	0.31	0.74	0.91	0.35	0.15	0.36	0.28
Sand Stone	1.54	1.48	6.16	6.19	3.21	4.32	4.29
Others	2.46	1.11	5.80	3.54	2.05	4.17	3.30

粒度・鉱物組成から、係数行列の各要素は次のように決定される。

$$P_{ij}^s = P^s(m_i) \times P^s(d_j) \dots\dots\dots (13)$$

ここに、 $P^s(m_i)$ は境川で採取した底質の m_i という鉱物の組成を百分率で示したものであり、 $P^s(d_j)$ は境川の底質の粒径階 d_j の百分率である。CASE-I の場合にこれを適用すれば $P^s(d_j)$ として細い粒径の底質もすべてここで考えている漂砂の長期的変化特性に寄与していることになるので、鉱物組成を求め粒径階で示した $d > 31.7\text{mm}$ 以外の底質も含めた全量に対する百分率を用いるべきであり、CASE-II の場合には、細い粒径の底質の粒度分布には他の要因が介入していると考えるので、これは棄却して $d > 31.7\text{mm}$ の底質に対する百分率を用いることになる。**Tables 6** および **7** は、このような考えに基づいて求めた CASE-I および CASE-II の場合の係数行列で、行に岩種、列には粒径階をとってある。

一方、岩種による情報が得られていない場合、粒度分布からは、CASE-I および CASE-II に対して係数ベクトルはそれぞれ **Table 8** のように与えられる。

Table 8 Coefficient vector in estimation equation with ranks of sediment size.

CASE-I													
Rank	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Ichiburi (East)	2.72	1.60	7.38	6.19	4.22	6.73	8.28	11.94	12.57	30.81	6.49	1.0	0.06
Ichiburi (West)	0.15	0.27	1.50	1.17	1.10	2.25	3.33	5.68	6.19	11.31	15.07	15.21	36.78
Saki Riv.	4.10	1.97	5.79	4.32	2.58	3.28	3.93	4.66	5.16	12.68	11.87	13.98	25.65
Miyazaki	5.45	3.46	10.90	8.62	5.30	7.16	7.04	6.81	5.49	10.45	5.27	11.87	12.18

CASE-II							
Rank	I	II	III	IV	V	VI	VII
Ichiburi (East)	7.33	4.30	19.83	16.68	11.36	18.13	22.31
Ichiburi (West)	1.51	2.80	15.32	11.98	11.25	23.04	34.10
Sakai Riv.	15.79	7.60	22.27	16.63	9.93	12.64	15.14
Miyazaki	11.37	7.22	22.74	17.98	11.04	14.94	14.69

(3) 漂砂源変化の推定

以上に示した方法により、 Q_{IE}/Q_M 、 Q_{IW}/Q_M および Q_S/Q_M の比を計算し、市振漁港の防波堤延長に伴う漂砂源の変化を推定する。

まず CASE-I 及び CASE-II について計算結果を示すと次のようである。

CASE-I の場合：

$$\left. \begin{array}{l} Q_{IE}/Q_M = 0.379, \quad Q_S/Q_M = 0.621 \\ Q_{IW}/Q_M = 0.803, \quad Q_S/Q_M = 0.197 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

CASE-II の場合：

$$\left. \begin{array}{l} Q_{IE}/Q_M = 0.506, \quad Q_S/Q_M = 0.494 \\ Q_{IW}/Q_M = 0.769, \quad Q_S/Q_M = 0.231 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

以上の結果から漂砂源の変化は次のように推定されよう。

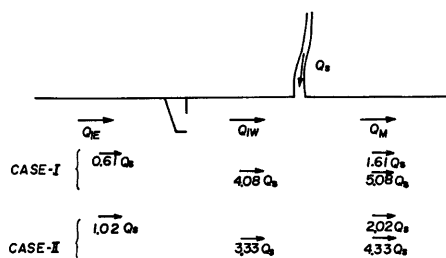


Fig. 43 Contribution of sediment input from upstream coast to Miyazaki beach.

いま、境川からの流送土砂量 Q_s の経年変化はわからないが、市振漁港の防波堤延長前後でその量が一定であると仮定すると、市振漁港の東側および西側の沿岸漂砂量および宮崎海岸でのそれは境川の Q_s を用いて Fig. 43 のように表わされる。ここで、 Q_{IS} は防波堤延長前の、 Q_{IW} は延長後の市振から境川河口への沿岸漂砂量を示すと考えると、防波堤の延長により、CASE-I の場合で約6.6倍、CASE-II では3.3倍の量の沿岸漂砂量が、現在侵食されている市振漁港西側で存在していることになる。また、CASE-II のように市振漁港東側で完全に阻止されると考えられる大粒径の底質特性より求めた結果からは、漂砂源としてこの西側の浜の侵食を考えることになるので、結局この浜は以前の漂砂量の3.3倍の量の侵食が起っていることになる。このように考えると、CASE-I の場合は、CASE-II に比べて、約2倍の西向きの沿岸漂砂量が存在しているような結果になっているが、CASE-I では細い底質は防波堤先端を越えて西側に入っていると仮定し全粒径について粒度組成を考慮していること、さらには、7916号台風の影響がこれを若干加わっていると考えられることから、CASE-I および CASE-II の結果には矛盾はなく、ある程度の信頼度で沿岸漂砂の比率が推定されていると判断してもよからう。つまり、季節風による高波浪時に移動すると考えられる大粒径 ($d > 37.1\text{mm}$) の底質からは市振漁港の防波堤延長により、その東側に底質は阻止され、その西側からはその3.3倍の量の底質が取り去られていると結論づけられる。

粒度分布だけを情報とした場合には、小さいストームに対しても敏感に応答する小粒径の底質の影響が介入するため、底質採取の直前に台風が通過したような場合には、全粒径から係数ベクトルを決めるのは、むしろ誤差を増大させることになることがわかった。

7.2 海浜変形の予測

前述したように宮崎漁港および市振漁港のそれぞれの東防波堤の築造と延長に伴って、それらの東側の海岸では汀線が前進し、西側では後退する。これらの海岸構造物の設置以外には、海浜過程を大きく左右する自然環境の変化がないことから、この海浜変形は両漁港の東防波堤による西向きの沿岸漂砂の阻止に起因すると考えてよい。したがって、汀線測量と航空写真に基づく汀線の前進・後退速度の経年変化に関する考察と、次元解析法の適用によって、長期的な海浜変形を予測できるものと考えられる。すでに、海浜変形の一般的な特徴については、土屋¹⁶⁾が詳述しているので、ここでは詳しく触れないことにする。この海岸の主たる漂砂源は、境川からの流送土砂と東端の市振漁港方面からの西向きの沿岸漂砂である。前者は経年的にあまり変化しないのに対し、後者は東防波堤のためにほぼ零となっていると考えられる。そこで、7.1で示した粒度と鉱物組成に着目した各漂砂源の寄与率を用いて、境界条件の変化に伴う宮崎海岸の海浜過程の予測を試みることにする。

(1) 海浜変形の機構

海浜変形の基礎式は、海浜変形の連続式と漂砂の運動方程式すなわち漂砂量則によって構成され、これらを種々の初期条件および境界条件のもとで連立して解き、海浜変形機構を解明しようとする試みが行われてきた。岩垣¹⁷⁾および土屋¹⁶⁾は Fig. 44 に示した座標系を用いて、漂砂源の変化に伴う沿岸漂砂による長期的な海浜変形は、1次元的な取扱いかから次式で表わされることを示した。

$$\frac{h_s}{B} \frac{\partial y_0}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{h_s}{B} \left(1 - \frac{h}{h_s} \right) \frac{\partial B}{\partial t} - \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial Q_s}{\partial x} + \frac{1}{B^2} Q_s(t) \partial(x-x_0) \dots \dots \dots (16)$$

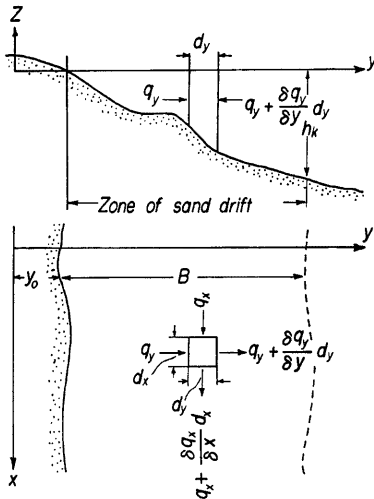


Fig. 44 Co-ordinate system used for predicting shoreline change¹⁷⁾.

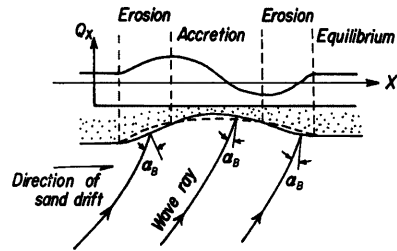


Fig. 45 Schematic diagram of beach change¹⁷⁾.

ここに、 $\delta(x-x_0)$ は Dirac の δ 関数で、 $x=x_0$ に河川などの漂砂源 $Q_R(t)$ があるものとする。式(16)から、海浜変形はつぎの4つの場合に生ずることが指摘された。すなわち、1) $\partial h / \partial t$ による海浜形状の変化、2) $\partial B / \partial t$ による漂砂帯幅の変化、3) $\partial Q_s / \partial x$ による沿岸漂砂量の非一様性および 4) $Q_R(t) \delta(x-x_0)$ による漂砂源の変化である。

さて、海浜変形を式(16)に基づいて取扱う場合には、 h 、 h_k あるいは B および Q_s に対する一般の表示を必要とし、これらが波の変形特性と底質特性の関数として与えられれば、式(16)を積分することは可能であろう。しかし、ここでは、前述した宮崎海岸のように漂砂源からの漂砂量の変化と沿岸漂砂の非一様性を考慮することによれば、1次元解析で宮崎海岸の海浜変形を予測できるであろう。Fig. 45 はその1例として3)の原因による海岸侵食の機構を模式的に示したものであって、 $\partial Q_s / \partial x > 0$ となるところでは侵食が起り、 $\partial Q_s / \partial x < 0$ になれば堆積することがわかる。

つぎに、沿岸漂砂量則であるが、すでに、5.2で砂れき海岸である下新川海岸においても、Komar ら²⁰⁾の示したように、沿岸漂砂量と波浪の沿岸方向のエネルギーフラックス F とに線形関係があるので、これを適用すれば、次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} Q_s &= KF \quad (K: \text{比例定数}) \\ F &= (1/16) \rho g H_s^2 n_s C_s K_r K_d \sin 2\alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

ここに、 ρ ；海水の密度、 α ；波向線と汀線とのなす角 C_s ；波速、 K_r ；屈折係数、 K_d ；回折係数および添字 0 は沖波を示す。

さて、波の変形計算には土屋ら²¹⁾によって改良された Worthington ら²²⁾の方法、すなわち波向線方程式および波向線間隔方程式を leap frog 法によって数値積分する方法を用いた。すでに、その詳細については、瀬戸内海の室積海岸の海岸侵食の解析²³⁾で示したので、ここでは触れないことにしたい。実際の数値計算にあたっては、領域両端での境界条件が近似的に満たされるように、対象領域を十分広くとり、沿岸漂砂量の初期および境界条件のもとに数値積分を行うことにした。なお、これらの取り扱い、基本的には汀線から漂砂の移動限界水深に至る海浜勾配が一定のまま汀線が前進あるいは後退するという仮定に立脚したものである。4.で示したように宮崎海岸では海浜勾配は経年的にあまり変化していないので、これを適用する。

(2) 沿岸方向のエネルギーフラックスの分布特性

前述した計算の過程で得られた宮崎海岸の沿岸方向のエネルギーフラックスの分布特性からこの海岸の波

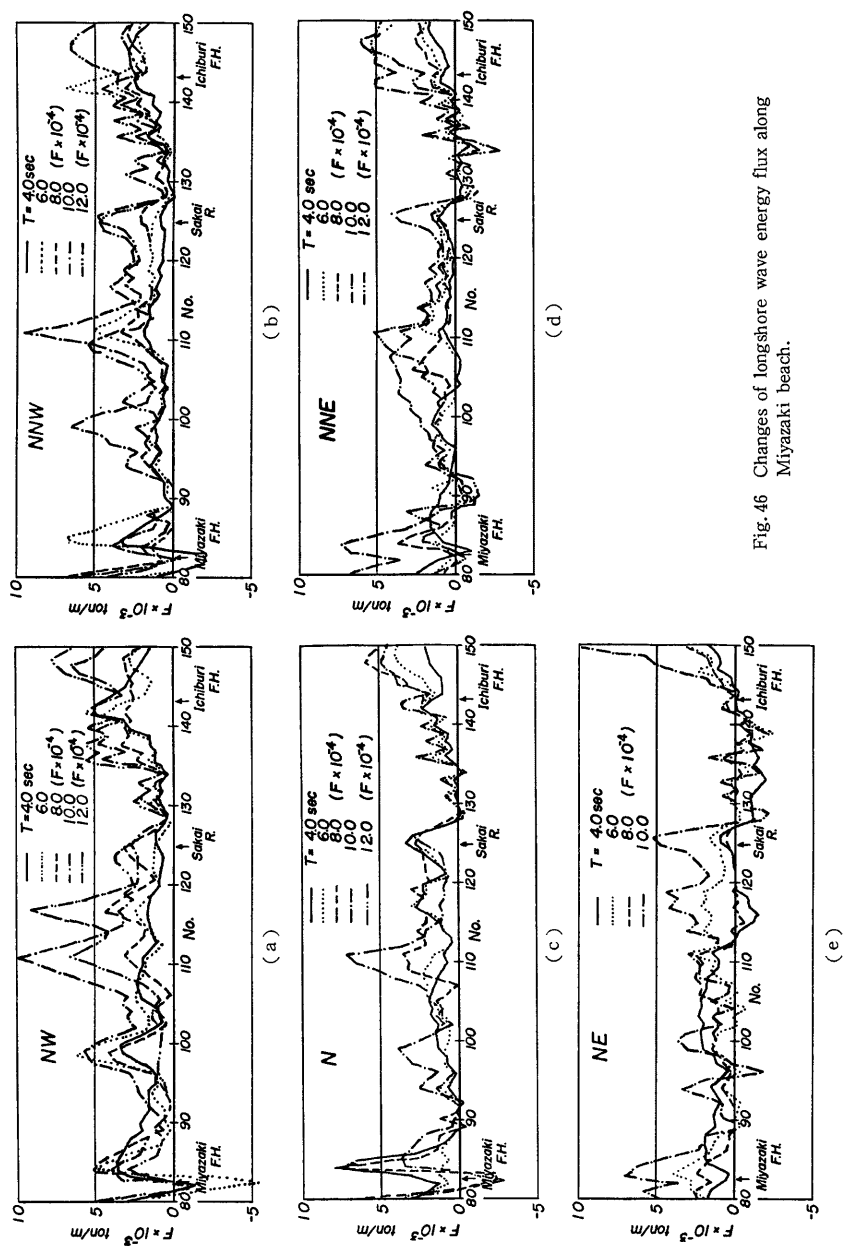


Fig. 46 Changes of longshore wave energy flux along Miyazaki beach.

向別の定性的な海浜変形の特性を検討しよう。

すでに、外力の特性の考察で明らかにしたように、宮崎海岸に襲撃する高波浪の主たる波向は冬期波浪による NNE～NE であり、これについて、同時期の NW～NNW である。これらは冬期に低気圧が発達しながら日本海を東進する過程で発生する波浪であり、波向は一般に西から東へ順次変化していく。ただし、波高および周期は波高が西から東へ変化する過程で、一度減少するのが特徴であって、その後、突然両者とも大きくなり、これが寄廻り波と呼ばれるものである。

さて、**Fig. 46** は、それぞれ16方位に分割した波向の NW から NE 方向までの波浪のエネルギーフラックスの分布で、正の値はエネルギーフラックスが東向であり、図中に示した波浪が1時間来襲した場合に相当している。これから、波向別の海浜変形の特性を考察すると、つぎのようである。

- 1) NW 方向：この波浪によって宮崎海岸では、エネルギーフラックスがすべて東向であることが示される。つぎに、いずれの周期についても、宮崎漁港から東側1km付近までは堆積傾向となり、境川河口から市振漁港間では侵食傾向となる。また、その途中の海岸では、周期が長くなるに従って、侵食・堆積域はより顕著になり、海底地形の屈曲に応じて特徴のある堆積・侵食域が見出されるが、現在、侵食が進行しつつある境川河口左岸から西へ1km付近までは、計算結果はむしろ堆積傾向を示しているの、この方向からの波浪は長期的な海浜変形にさほど大きく寄与していないと思われる。
- 2) NNW 方向：宮崎漁港の東側および境川河口から市振漁港間の海岸では、NW 方向の波浪の場合と同じ傾向が見出される。ただし、周期が長くなると、境川河口左岸付近は侵食傾向を示し、現在の海浜変形の現状とある程度対応するようである。
- 3) N 方向：周期が長くなるにつれて、NW 方向からの波の場合と同様の特性を示すようであるが、境川の左岸付近は侵食傾向となる。ただし、この方向からの波の出現頻度はそのほかの波向に比べてあまり大きくないので、海浜変形への寄与は少いであろう。
- 4) NNE 方向：宮崎海岸で部分的に西向のエネルギーフラックスが発生し、周期が長くなるにつれて、その特性が明らかになるようである。すなわち、宮崎漁港の東1km付近で、エネルギーフラックスの方向が逆転するので、この付近が侵食されること、および境川河口から市振漁港間では、局所的にエネルギーフラックスの値と方向が急変するので、それに伴って底質の運動も活発になることが考えられる。
- 5) NE 方向：NNE 方向とともに、この方向からの周期の長い波浪は、寄廻り波として、宮崎海岸の海浜過程に大きく支配していると考えられる。たとえば、周期10sec程度の波浪が来襲すると、宮崎漁港の東1.5km付近でエネルギーフラックスの方向が逆転し、侵食が顕著になると考えられ、境川の左岸側でも侵食傾向が見られる。また、境川河口と市振漁港間では、市振漁港に接続する西海岸で西向のエネルギーフラックスが発生し、境川の河口に近づくにつれて、その方向が激しく変化することがわかる。

以上の結果は、定性的な特徴を示すにとどまるので、さらにそれぞれの波浪の出現頻度を考慮して定量的に検討しなければならないことはいうまでもないが、冬期の NW～NNW および NNE～NE 方向からの波浪による宮崎海岸の海浜変形の特徴がかなり明らかになったと考えられよう。

(3) 海浜変形の長期予測

ここでは、まず宮崎海岸の汀線測量結果および航空写真に基づく、汀線の前進・後退速度の経年的な変化から、この海岸の海浜変形の長期予測を行い、ついで1次元解析法を適用して考察する。ただし、後者においては、建設省の田中波浪観測所における1965～1967年および1975～1977年の波浪観測資料を用いたが、いずれもかなりの欠測があり、通算すれば前者は598日、後者は544日分の資料しかなく、当然のことながら短期的な変動が含まれているので、長期予測に用いるには必ずしも十分でない。

さて、**Fig. 47** は市振漁港の東防波堤の築造・延長の前後で、宮崎海岸の汀線の前進・後退速度がどのように変化したかを示すものである。なお、**Fig. 2** からわかるように、市振漁港の東防波堤の築造は1965年から行われてきたので、実線で示した期間の資料にはこの影響が若干含まれ、市振漁港の東側で汀線が前進し、西側で後退する現象が見出される。この図から、市振漁港の修築前には、全般的に海浜はむしろ平衡

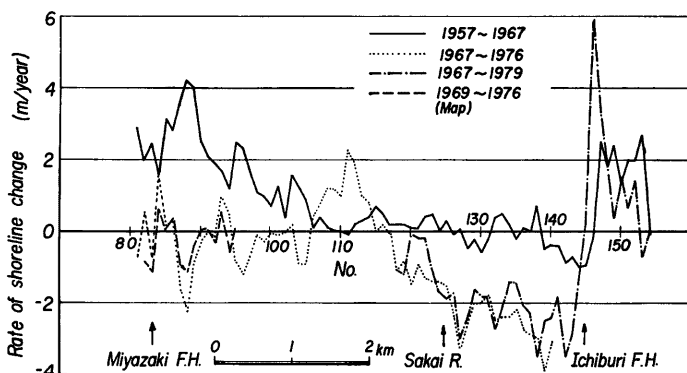


Fig. 47 Rate of shoreline change before and after construction of breakwater at Ichiburi Fishery Harbour.

状態にあり、ただ宮崎海岸の東海岸で、境川からの流送土砂および市振漁港を通る西向きの沿岸漂砂が堆積し、汀線の顕著な前進が認められる。一方、市振漁港の東防波堤の築造・延長に伴って、西向きの沿岸漂砂が阻止され、東側で汀線が大きく前進し、西側で後退するとともに、現在この侵食が境川河口約1 km西の地点にまで及んでいることがわかる。宮崎漁港の東海岸では、汀線の前進傾向は明らかではなく、この理由として、市振漁港方面からの沿岸漂砂の供給がほぼ消滅していることのほか、1966年に東防波堤が一応完成したあと、Fig. 10(a) からわかるように、汀線の前進に寄与する漂砂がこの付近で飽和状態になっていることが挙げられる。その場合、Fig. 9 に示すように、沿岸漂砂の一部はこの海岸の沖に堆積し、残りは東防波堤の先端を横切って西方向に移動して、Fig. 35 の侵食・堆積図で明らかにした漁港埋没の原因にもなっている。このような状況下では、西方向から高波浪が来襲すると、東向きの沿岸漂砂は東防波堤で阻止されるので、東海岸から新たに東向きの沿岸漂砂が一時的に発生し、この付近の汀線は後退すると考えられる。しかし、寄廻り波などの東方向からの波浪による西向きの沿岸漂砂が埋め戻しをするので、この付近の汀線は前進・後退を繰り返すようである。また、汀線の後退の原因として砂利採取の影響も考えられる。宮崎振興株式会社の資料によれば、1959~1980年にかけての漁港東海岸における砂利採取量は Fig. 48 のようになっており、年間平均 7,400 m³ になることがわかる。前述したような理由から、もはやこれ以上汀線が前進することが困難な状況下では、推定年間漂砂量の 1/2~1/3 程度に相当する砂利採取が前浜あるいは後浜で行われれば、一時的に汀線は後退すると考えられる。

Fig. 49 は汀線の前進・後退速度の経年変化を表わす。なお、対象とした区間は、Fig. 1 に示した測線番号による市振・宮崎両漁港周辺の500mの範囲である。これから、1960~1965年の市振漁港の東防波堤の築造と相前後して、この東側で汀線が前進し、西側で後退することが認められる。また、近年における市振漁港西側の汀線後退速度の低減化傾向は、東防波堤によって、この付近が寄廻り波などの東方向からの波浪のしゃべ閉領域になり、回折波しか侵入しないことによると考えられる。さらに、1965年以後、宮崎漁港の東海岸で汀線の小規模な前進・後退がみられるのは、短期的な高波浪によって一時的にこの付近の海底地形が変動することに起因していると推察される。

つぎに、1次元解析法の適用による海浜変形の予測を試みよう。この場合、波向はすべて逆屈折図を用いて沖波の波向として修正した値を使用した。また、計算に用いた深浅図は、水深20m以浅は1977年に実施した深浅測量の結果を用い、それより深い部分は1973年発行の海図から作成したものである。

Fig. 50 は、1965年から1967年に至る波向別の沿岸方向の全エネルギーフラックスの分布を表す。ただし、

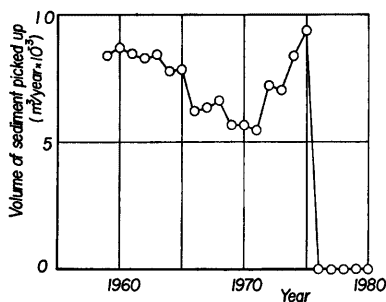


Fig. 48 Annual change of volume of sediment picked up.

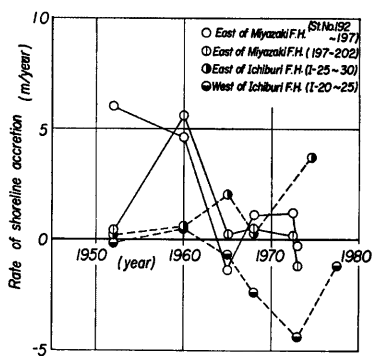
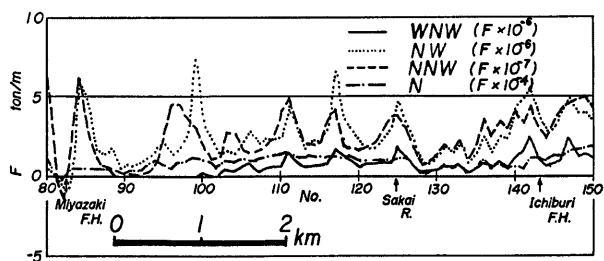
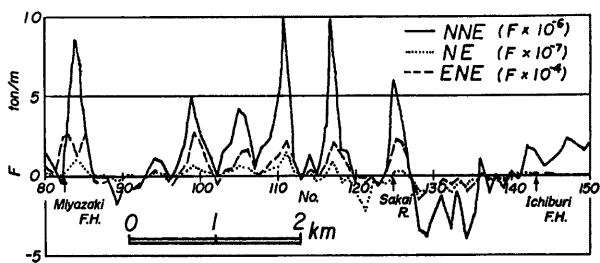


Fig. 49 Annual change of rate of shoreline accretion.



(a)



(b)

Fig. 50 Contribution of longshore wave energy flux in each predominant wave direction to total one.

図中に示した波向は便宜上、田中の波浪観測所におけるもので示してある。これから、エネルギーフラックスは NNW および NE 方向からの波浪によるものが最も支配的で、NW と NNE 方向のものがこれに次ぎ、これらのほかの方向からのものはかなり小さいことが見出される。

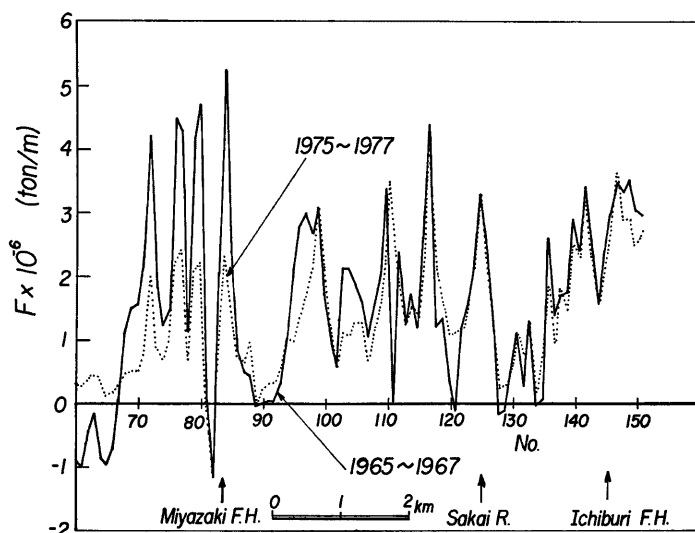


Fig. 51 Distribution of annual longshore wave energy flux.

つぎに, Fig. 51 は年間の沿岸方向の波浪のエネルギーフラックスの分布を示す。この図から, 解析に用いた波浪資料からは, これらの期間では, 沖波で NW 方向の波浪が卓越することがわかる。しかし, 宮崎海岸の沖では, 幾つかの洋谷があって海底地形が複雑であるため, 波浪のエネルギーフラックスの大きさと方向が複雑に変化する。とくに波浪の集中するところでは, 沿岸漂砂の一部が沖方向漂砂となって流失する可能性も大きく, これらに応じて汀線が波状に変化すると考えられる。

Fig. 52 は1965年~1967年および1975年~1977年の両期間の波浪資料を用いて式(10)の数値積分から, 年当りの汀線の前進あるいは後退速度を求めたものである。ただし, 海浜変形の境界条件および漂砂の移動限界水深はつぎのように与えた。すなわち, 境界条件として, まず宮崎漁港における沿岸漂砂量は防波堤によって阻止されているので, $Q_{rs}=0$ としたほか, つぎの2つのケースについて計算することにした。

STAGE-I : 市振漁港東防波堤築造前であって, この付近の沿岸漂砂量 Q_{rs} と境川の流送土砂量 Q_s の和は, 宮崎漁港東防波堤東側の年間平均堆積量約 $25,000\text{m}^3$ に等しいとするものであり, それぞれの比は Fig. 43 の CASE-II で与えられる。

STAGE-II : 市振漁港東防波堤によって, 沿岸漂砂が完全に阻止され, $Q_{rs}=0$ となるが, Q_s については変化せず, 宮崎海岸に供給されるものとする。また, 移動限界水深 h_s は, 宮崎海岸における海浜断面の経年変化から, 約14mという値が示され, 隣接の下新川海岸における汀線の移動量と侵食量との関係からは, 約5.5mであると推定されているので, 一応 $5\text{m} \leq h_s \leq 15\text{m}$ の範囲で 1m おきに計算し, 一番よく適合する値を選んだところ $h_s=7\text{m}$ となった。もちろん, 移動限界水深が変化しても, 汀線の前進・後退の全体的なパターンが変化しないことはいうまでもない。なお, 海浜変形の全般的な特性を見出すために, エネルギーフラックスは500mの区間について, Simpson 公式による平均値を用いることにし, さらに沿岸漂砂量の微分値の計算に当っては, 各地点で算出された沿岸漂砂量の5地点の移動平均値を用いた。

さて, 図中に示した計算結果から, つぎのような海浜変形の特性が見出される。すなわち, 市振漁港より沿岸漂砂の供給があった STAGE-I では, いずれの期間の波浪資料を用いても, 宮崎漁港東側で, 汀線が

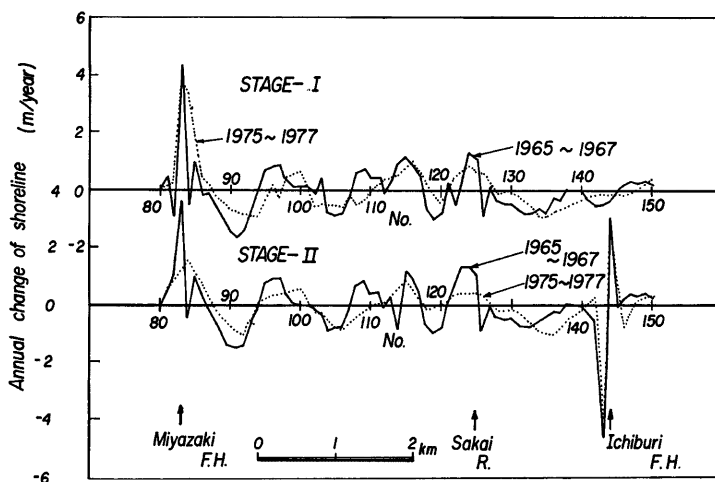


Fig. 52 Results of numerical simulation of shoreline changes.

前進し、この付近から境川河口付近までは汀線の前進・後退が繰り返され、明らかな傾向が認められない。しかし、さらに東進して、市振漁港の西側に至る約2.5kmの海岸では、汀線が後退し、この港の東側では若干前進することがわかる。一方、市振漁港の東防波堤によって西向きの沿岸漂砂が阻止されるとした STAGE-II では、その東・西側の海岸では汀線の前進・後退が認められることを除いて、STAGE-I とほぼ同じ傾向を示す。とくに、Fig. 47 からわかるように、市振漁港と境川河口間の汀線は急激に後退しているのに対して、市振漁港の西側の汀線の後退速度は実測値とかなりよい一致を示すが、侵食範囲とその傾向について必ずしも十分予測しているとはいえない。この理由として、計算に用いた波浪資料が十分長期間のものでないことや、海底地形が比較的近年のものであり、かつ短期的な波浪条件に左右されていることなどが考えられる。それゆえ、一次元解析法によって長期的な海浜変形の予測を行う場合には、防波堤の回折効果や不規則波の取り扱いを導入するほか、適当な時間にわたる平均の海底地形を用いて計算するか、あるいは海底地形の変化を導入して計算する必要がある。さらに、計算結果からは、宮崎漁港から境川河口までの海岸で cusp の形成が推察されるが、これに最大砂れきの粒径の沿岸方向分布の波状性がある程度対応しているようである。

以上の考察から、長期的な宮崎海岸の海浜過程は、市振漁港の東側からの沿岸漂砂が阻止されて以来、境川河口と市振漁港間では海岸侵食が進行し、これがさらに西進して、現在、境川河口の西約1km付近に達していると考えられる。もちろん、漂砂源としての境川からの流送土砂はその流域に大きな堆砂構造物が建設されない限り将来にわたって期待されようが、その量は市振漁港における西向きの沿岸漂砂量と同程度であると推定されるので、結局沿岸漂砂量は従前に比べて半減していることになる。

現在、境川河口から市振漁港間の海岸は、宮崎漁港方面への沿岸漂砂の供給源となっており、浜幅の減少に伴う海岸堤防からの反射波の発生と海底勾配の急峻化とが侵食傾向をさらに助長しているといえる。さらに、境川河口付近の波浪のエネルギーフラックスの方向が場所的に激しく変動することを考えると、地形的要因から沖方向漂砂となって流失することも十分考えられる。

8. 結 語

以上、宮崎海岸の海浜過程を明らかにするために、波浪特性や底質特性を検討し、海岸地形の変遷、沿岸

漂砂量および宮崎漁港の埋没機構を考察するとともに、海浜変形の予測を試みたが、得られた主要な成果は、つぎのように要約される。

- 1) 波浪特性の検討から、この海岸の海浜過程を支配する波浪は、第1に NNE~NE 方向からのいわゆる寄廻り波と呼ばれるものであって、ついで NNW~NW 方向のものであることが明らかになった。
- 2) 宮崎漁港の西海岸と市振漁港の西海岸(宮崎海岸)との地形的類似性を明らかにしたのち、波浪特性、底質特性、海岸地形の変遷および漂砂源の変化に対する考察から、宮崎海岸の沿岸漂砂の卓越方向は東から西向きであり、波向によってかなり変動する。また、宮崎漁港付近の沿岸漂砂量は、市振漁港の東防波堤の築造前では平均的に年間約 25,000m³ であって、下新川海岸における年間約 56,000m³ の侵食土砂量はこの上限値と推定された。
- 3) 宮崎漁港の埋没は漁港東側に堆積した沿岸漂砂が、高波浪の来襲時に越波に伴って港内に侵入することによって発生するが、東防波堤のかさ上げによって埋没がある程度減少することが見出された。しかし、現状では東防波堤先端からの漂砂の廻り込みも考えられよう。
- 4) 海浜過程の長期予測を試みた結果、つぎのようなことが明らかになった。まず、宮崎漁港の東海岸では、この東防波堤の延長に伴って汀線は顕著に前進したが、工事終了後、堆積土砂量が飽和状態になっているため、短期的な来襲波浪の特性に応じて、汀線の前進・後退を繰り返しており、いわば平衡状態にあるといえる。さらに、境川河口に至る海岸では、やはり来襲波浪による汀線の波状変化が見出されるが、市振漁港の東防波堤による沿岸漂砂の阻止のため、侵食傾向が徐々に西進する傾向にあることが明らかになった。ついで、境川河口から市振漁港に至る海岸では、全般的に汀線の後退が認められる。現在では、境川から市振漁港間の海岸で発生する西向きのわずかな沿岸漂砂と境川の流送土砂が宮崎海岸へ供給されているが、その一部は沖方向漂砂として境川の沖合に流失しており、また新潟県側では浜幅の減少による海岸堤防での波の反射および海底勾配の急峻化のために、その傾向がさらに助長されている。したがって、以上述べた漂砂源の変化、沿岸漂砂および沖方向漂砂の動態が、宮崎海岸の侵食傾向の主たる要因になっているものと結論される。

以上のように、宮崎海岸は沿岸漂砂の卓越した海岸であって、この海岸の下手側には日本有数の侵食海岸で有名な下新川海岸が続いている。ここでは、宮崎漁港の修築に伴って沿岸漂砂が阻止されたために、下新川海岸の侵食を助長したことをまず明らかにした。このような実証例があるにもかかわらず、宮崎海岸への沿岸漂砂の上手側にあたる市振漁港の本格的な修築をここ数年間実施しており、宮崎海岸と下新川海岸の地形的特性および経過の類似性から、再び同じ轍を踏もうとしている。このまま放置すれば、海浜の消失が加速的に進み、消波工の埋没や海岸堤防の倒壊が必然的に発生することは時間の問題といわねばならない。当然のことながら著しい海岸侵食が予測され、沿岸漂砂の卓越する宮崎海岸のような海岸では、広域的な土砂収支の観点に立った海岸保全を考え、その適切な対策を立てなければならないであろう。

なお、本研究に際し宮崎漁港における底質採取に御協力をいただいた鳥取大工学部 野田英明教授および防災研究所海岸災害部門 中村重久助手に感謝の意を表するとともに、多量の底質分析を熱心に行なっていた大潟波浪観測所の内山 清技官に感謝したい。また、御便宜をはかっていただいた富山県農業水産部水産課、土木部河川課および入善土木事務所の関係諸氏に謝意を表明する。

参 考 文 献

- 1) 富山県海岸対策協議会：富山湾海岸侵食調査報告書，1952，pp. 303.
- 2) 富山県土木部：富山湾における海岸侵食及び海岸構造物の経年変化に関する調査報告書，1971，pp. 289.
- 3) 国立防災科学技術センター：富山湾海岸侵食に関する研究（第1報），防災科学技術総合研究報告，第25号，1971，pp. 1~95.

- 4) 富山県農業水産部：宮崎漁港の漂砂に関する調査研究，1973，p. 83.
- 5) 財団法人防災研究協会：宮崎海岸の海浜過程の予測と対策，1980，p. 136.
- 6) 下新川郡役所：下新川郡史稿（下巻），1972，名著出版（復刻版），pp. 509～521.
- 7) 菅原輝男・山本正昭・影山智将：市振漁港海岸の漂砂移動について，第26回海岸工学講演会論文集，1979，pp. 262～266.
- 8) 土屋義人・芝野照夫：下新川海岸の海浜過程について，第20回海岸工学講演会論文集，1973，pp. 483～488.
- 9) 建設省黒部工事事務所：富山湾沿岸下新川海岸調査報告書（昭和32年度），1958，p. 193，（昭和32～36年度），1963，p. 195，（昭和37～42年度），1969，p. 203.
- 10) 豊島 修：防波堤と汀線変化の関係について，海岸，1967，pp. 33～40.
- 11) Handin, J. W. : The geological aspects of coastal engineering, Proc. 1st Conf. on Coastal Engg. 1950, pp. 133～136.
- 12) Sunamura, T. and K. Horikawa : Improved method for inferring the direction of littoral drift from grain size properties of beach sand, Annal Report of the Engineering Research Institute, Faculty of Engineering, Univ. of Tokyo, Vol. 31, 1971, pp. 61～68.
- 13) 佐藤昭二・入江 功・堀江 毅：富山湾における漂砂源と卓越方向について——海岸踏査と底質分析による検討——，第17回海岸工学講演会論文集，1970，pp. 297～303.
- 14) 岡本隆一・小島圭二・椎葉元則：富山湾における海岸線の移動，第17回海岸工学講演会論文集，1970，pp. 305～309.
- 15) Bascom, W. N. : The relationship between sand size and beach face slope, Trans. Amer. Geophy. Union, Vol. 32, No. 6, 1951, pp. 866～874.
- 16) 土屋義人：海岸侵食について，京大防災研究所年報，第21号 A, 1978，pp. 25～42.
- 17) 岩垣雄一：海岸侵食論，1966年度水工学に関する夏期研修会講義集，B, 1966，pp. 17-1～17.
- 18) 土屋義人：第12回海岸工学国際会議に出席して——主として海岸過程に関する最近の研究動向について——，京大防災研究所年報，第14号 A, 1971，pp. 31～42.
- 19) 中村 充・白石英彦・佐々木泰雄：砕波による波の変形に関する研究，第13回海岸工学講演会講演集，1966，pp. 71～75.
- 20) Komar, P. D. : Beach sand transport ; Distribution and total drift, Proc. ASCE, Vol. 103, No. WW2, 1977，pp. 225～239.
- 21) 土屋義人・山口正隆：海浜変形の予測モデルの適用に関する研究，文部省科学研究費試験研究（昭52，53年度）成果報告書，1979，pp. 1～12.
- 22) Worthington, H. W. and J. B. Herbich : A computer program to estimate the combined effects of refraction and diffraction of water waves, Sea Grant Pub., No. 219, Texas A & M Univ., 1970，pp. 1～57.
- 23) Tsuchiya, Y., M. Yamaguchi, Y. Kawata, T. Shibano and T. Yamashita : Prediction of beach erosion at Murozumi coast, Jour. Natural Disaster Science, Vol. 2, No. 1, 1980，pp. 38～68.