

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 18

NO. 2

JUNE. 1979

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第18巻 第2号 (Vol. 18, No. 2), 1979年6月 (June 1979)

## 目 次 (CONTENTS)

1. 多列円筒浮体に働く津波力の算定法について  
.....小舟浩治・高橋重雄・谷本勝利..... 3  
(A Method to Calculate Tsunami Forces on a Multi-cylinder  
Floating Body.....Koji KOBUNE, Shigeo TAKAHASHI  
and Katsutoshi TANIMOTO)
  
2. 大洗海岸における碎波帯内の総合観測  
.....田中則男・加藤一正・灘岡和夫・小山内英雄・近藤隆道.....27  
(Observation of Hydraulic Phenomena in the Surf Zone at the  
Oh-arai Beach.....Norio TANAKA, Kazumasa KATOH,  
Kazuo NADAOKA, Hideo OSANAI and Takamichi KONDOH)

## 2. 大洗海岸における砕波帯内の総合観測

田中 則男\*・加藤 一正\*\*・灘岡 和夫\*\*

小山内 英雄\*\*・近藤 隆道\*\*

### 要 旨

著者等は漂砂あるいは沿岸におけるもろもろの拡散現象において、砕波帯内は最も重要な場であるとの認識のもとに、過去数年来現地観測を実施してきた。本報告は、このうち昭和52年10月に茨城県大洗海岸で実施した、砕波帯内の海浜流、波浪、浮遊砂濃度、海底地形および波打ち際の波のそ（廻）上等についての総合観測の結果について述べるものである。本調査によって明らかにされた種々の現象は次のとおりである。

- 1) 海浜流は、常に存在している  $0.15\sim 0.2\text{m/s}$  の沿岸流と時間的変動性の強い離岸流を伴う直径約  $60\text{m}$  の時計回りの循環流によって特徴付けられる。
- 2) 循環流は沿岸流の影響を受けて、流下方向にふくらんだ形状をなし、そのスケールは時間とともに変化しており沿岸方向の平均水面こう' (勾) 配と関連が強い。
- 3) 循環流中の沖に向う流れは  $10\sim 20\text{m}$  の狭い幅から流出し、海底には流れに沿って深い溝が形成され、砕波帯の沖ではたい (堆) 積が認められる。一方陸に向うときは  $100\text{m}$  程度の幅をもって流入し、ここには堆積地形が存在する。
- 4) 後浜に不連続消波堤が建造されているため、離岸流間隔は従来の現地データで示されるものより狭くかつその発生位置は不連続消波堤の開口部と一致する。
- 5) 波浪エネルギーは砕波帯内において高周波数成分から低周波数成分に移行する。この際高周波数成分の減少特性は海底の微地形に依存し、急激に水深が浅くなったり前面に浅瀬があるとエネルギー減少が大きくなる。
- 6) 砕波帯内の岸沖方向濃度分布の特性は流れと海底地形によって変化する。すなわち、浅瀬 (バー) 上で高くトラフで低くなり、また離岸流の中では全体に濃度は高くピーク地点が沖に移っているのに対し、もどり流れの中ではピーク地点が陸側にシフトしている。
- 7) サーフゾーン内の底面近くの浮遊砂濃度は、波の位相 および 波浪状況や場所に 関係なく ほぼ一定で  $1,000\text{ppm}\sim$  数千  $\text{ppm}$  の範囲であるのに対し、表層近くではそれらによるばらつきが顕著になる。特に波高が高いときあるいは波の峰が通過するとき高濃度になる。
- 8) サーフゾーン内の波動は、周波数空間上で定常波領域と進行波領域の二つに分割され、定常波領域中の波動成分のそ (廻) 上波への寄与が大きい。

\* 水工部 漂砂研究室長

\*\* 水工部 漂砂研究室

## 2. Observation of Hydraulic Phenomena in the Surf Zone at the Oh-arai Beach

Norio TANAKA\*

Kazumasa KATOH\*\*

Kazuo NADAOKA\*\*

Hideo OSANAI\*\*

Takamichi KONDOH\*\*

### Synopsis

Surf zone is the main stage of littoral drift and other diffusion phenomena. But, our knowledges on its substance are farther scant compared to its complexity. Therefore, the most important subject on these diffusion problem is to accumulate better information on phenomena in the surf zone, such as wave deformation, nearshore currents, sedimentation and others.

According to these basic recognition, since 1972, authors have conducted several field observations of hydraulic phenomena in the surf zone. This paper reports one of these works performed in the period of 15th to 18th in October, 1977 at Oh-arai Beach located 30 km north of Kashima Port facing to the Pacific Ocean.

In this period, the range of significant wave heights of offshore waves were about 1.0 to 1.8 m and wave periods were 5.0 to 9.0 s. Important information obtained by this observation are follows;

- 1) Nearshore currents are characterized by steady alongshore currents of 0.15 to 0.2 m/s and unsteady clockwise circular flows of about 60 m across.
- 2) This circular flows are distorted to down-flowward of alongshore currents, and the scale of circle seems to be deeply influenced by the alongshore slope of the mean water surface.
- 3) The part of rip currents in this circular flows has a very narrow width of 10 to 20 m, and along its route a deep channel is formed at sea bottom. At the offshore end of the surf zone along this rip currents, the sea bed is shoaled. On the other hand, the sea area where currents flowing onshoreward in the circular flows have the width of more than 100 m is shoaled, too.
- 4) Energy of waves is shifted from the high frequency part to the low frequency one. The rate of decrease of wave energy in the high frequency part is influenced by the local topography of the sea bed.
- 5) Positions of rip currents coincide with those of the openings between wave absorbers constructed in the foreshore parallel the shoreline. And the rip spaces are governed by the spaces of these openings.
- 6) Concentrations of suspended load are higher on bars and lower in troughs. In the strong rip current observed, the concentration becomes higher, and the peak point of distribution of the depth mean concentration along a line perpendicular to the shoreline is shifted offshoreward.
- 7) Levels of concentration of suspended materials near the sea bottom vary in the range of 1,000 to few 1,000 ppm, but levels near the water surface vary in the more wide range.
- 8) Waves in the surf zone are divided into two regions on the frequency space, one is the standing wave region and the other is the progressive wave region. The waves in the former region quite influence on run-up waves.

---

\* Head of Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division

\*\* Member of Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division

## 目 次

要 旨	27
1. ま え が き	31
2. 観測項目と観測概況	31
2.1 観測項目と方法	31
2.2 観測概況	33
3. 海 浜 流	35
3.1 沿岸流と離岸流を伴う循環流	35
3.2 離岸流発生位置と後浜の不連続消波堤の関連性	37
4. 海 底 地 形	39
4.1 航空写真撮影時および浮遊砂採取時の実水深	39
4.2 循環流下の海底地形	41
5. 波 浪	41
5.1 波浪エネルギーの低周波数成分への移行と海底地形	41
5.2 沿岸方向水位差と海浜流	43
6. 浮 遊 砂	44
6.1 浮遊砂濃度の鉛直分布	44
6.2 浮遊砂濃度の岸沖分布と海浜流・海底地形	49
7. Swash zone における遡上波の特性と入射波との相互関係	49
7.1 遡上波の統計的特性	49
7.2 遡上波と入射波の相互関係	51
8. む す び	53
謝 辞	54
参 考 文 献	54
付録 (浮遊砂データ)	55

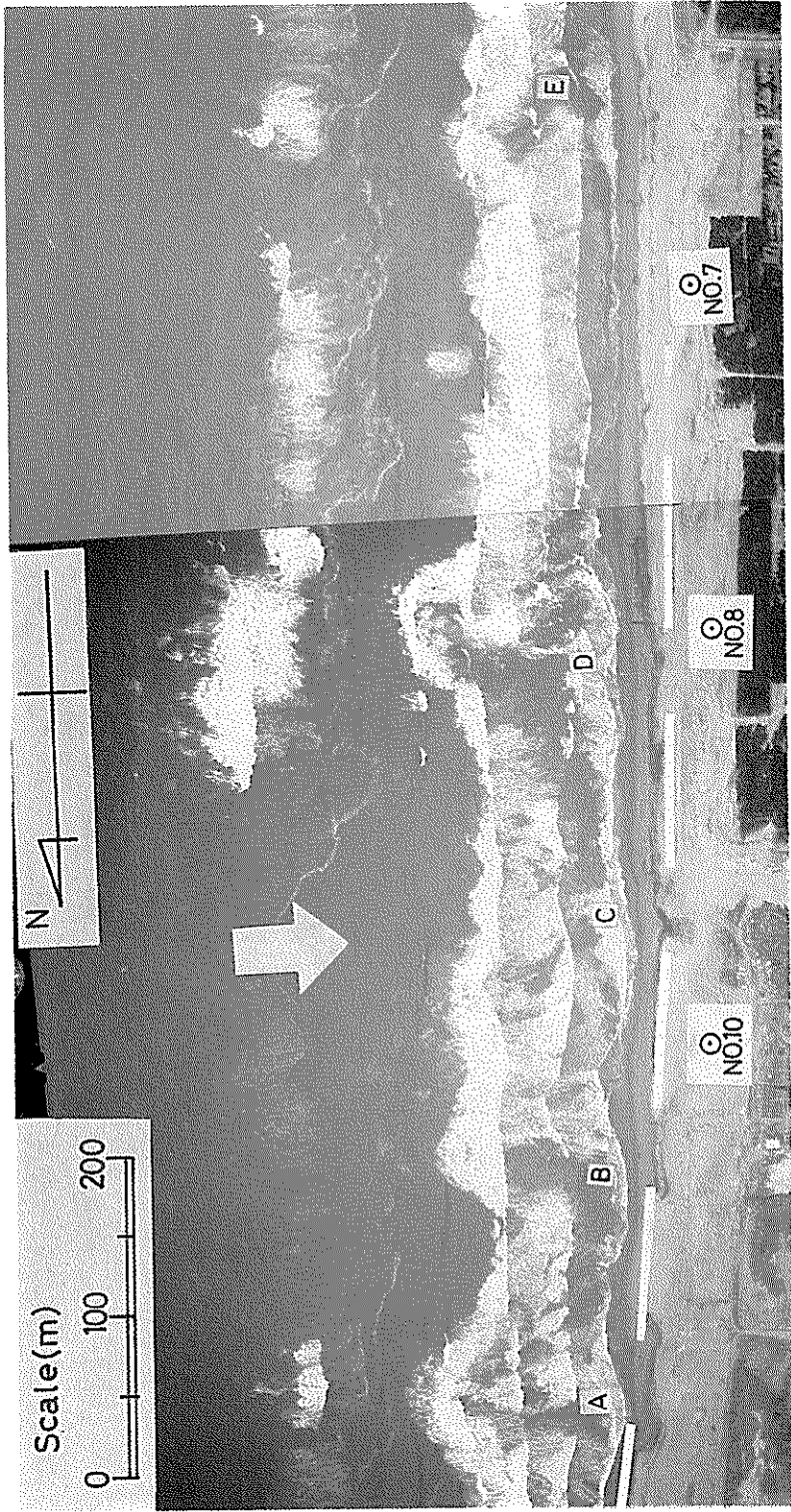
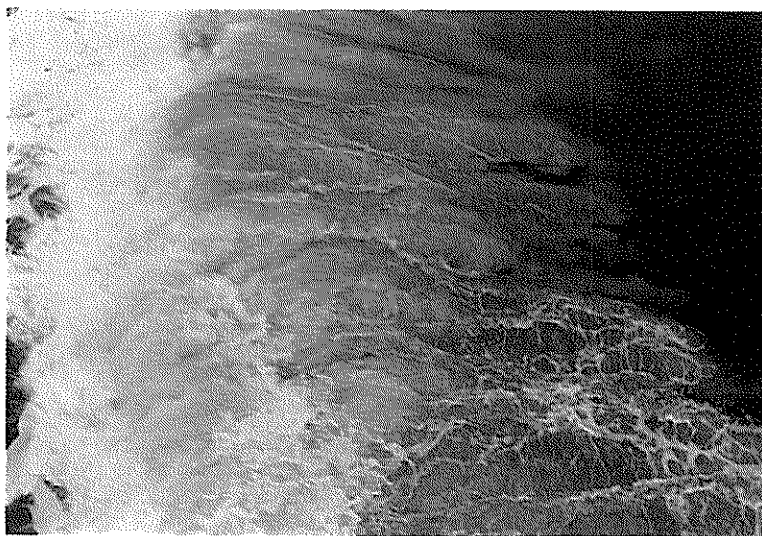
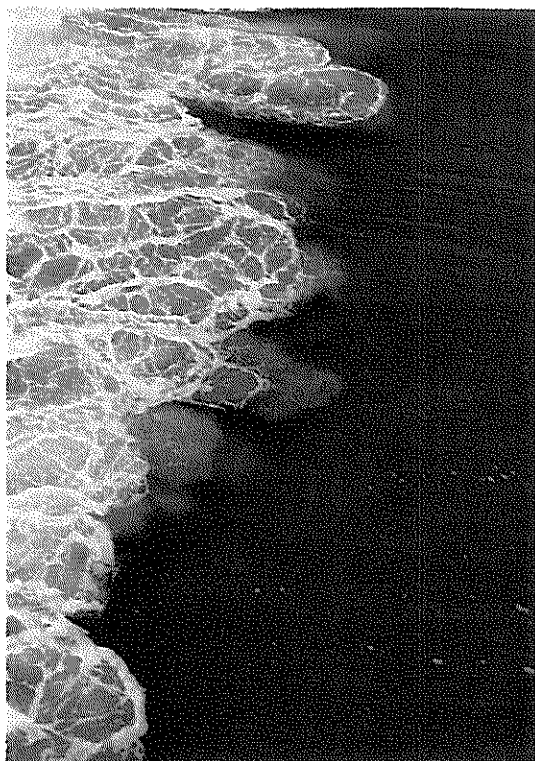


写真-1 現地観測地域の航空写真(合成)

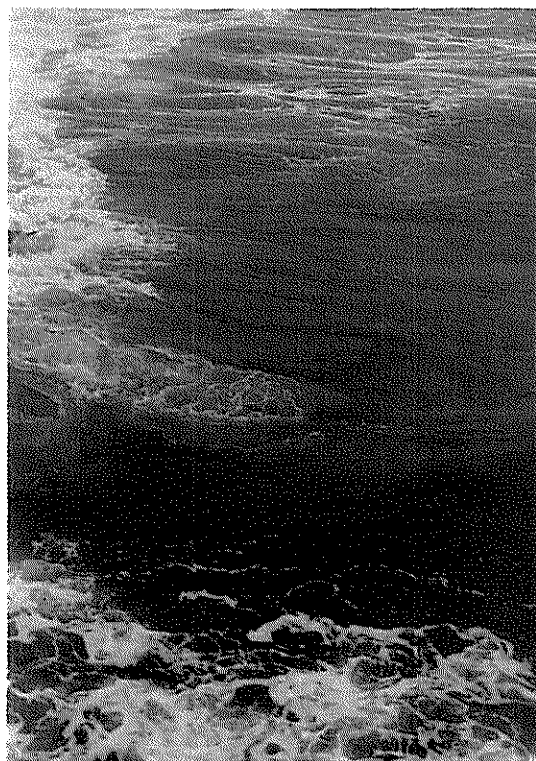




a



b



c

写真-2 a, b, c 波の峰通過直後の表面のにごり (波の進行は右から左)

1. まえがき

砕波帯内は、漂砂あるいは沿岸におけるさまざまな拡散現象にとって重要な地域として従来から認識されてきた。そこには、波浪の急激な変形・砕波に伴う激しい乱れ、これらと強い関連を有し『海浜流』と総称される流れ等きわめて不規則な種々の水理現象が存在する。しかしながら、砕波帯内はこのような不規則性のみによって特徴づけられているわけではなく、砂れんやリズムミク地形と呼ばれる大型海底地形のように、驚くほど規則的な一面をも併せ持っているのである。

砕波帯内の持つこのような相異なった二つの性格の中に、関連性を求めて行くことは、沿岸における地形変化の予測や効果的な海岸侵食対策の実施といった工学的立場からもきわめて重要な作業である。この作業は radiation stress の概念<sup>9)</sup>の導入による水理現象の理論的取り扱いおよび現地観測<sup>10)~12)</sup>や実験結果<sup>9)</sup>の蓄積などによって、その手掛りを得たと行って良い段階に達しているものと思われる。

著者らは、このような認識のもとに、ここ数年来砕波帯内の水理現象の現地観測を実施して来た<sup>9),10),11)</sup>。本報告は、このうち1977年10月15日~10月18日の間、茨城県大洗海岸で実施した現地観測の結果について述べるものである。

観測地点は、図-1に示すとおり、延長70kmに及ぶ鹿

島灘の北端部に位置する大洗港の南約3kmの地点である。この地域では大洗港の建設に関連して、過去多くの観測がなされている<sup>9),10),11),12)</sup>。本海岸へ来襲する波の波向はENEが最も多く50%を占め、周期については8~12sの波が全体の58%を占めている。波高の出現率は、3.0m以上が約1%、1.5m以下0.5m以上が76%である。かつては大洗岬を回って南下する漂砂と、鹿島灘を北上する漂砂がこの地点の北側で会合し、旧磯浜港が竣工をまたずして埋没してしまったことは衆知のとおりである<sup>10)</sup>。しかし1964年と1969年の航空写真からてい(汀)線を比較すると、大洗港から観測地点を含む南へ約4kmの範囲で、汀線の10~20m後退が認められる<sup>12)</sup>。

大洗港から南へ3kmの観測地点にいたる汀線形状は図-1に示されているようにゆるやかな曲線を描いているのに対し、観測地点以南はほぼ直線的になる。したがって、観測地点は汀線形状の変曲点に位置しており、また大洗港の主防波堤の卓越波向ENEに対する遮へい域の南限の1km南にあたる。観測地点を中心にして、1.1kmの範囲は海岸護岸が切れており、昭和47年(1972年)~48年(1973年)に延長100m・開口幅50mの不連続消波堤群が六脚ブロックによって後浜に建設されている。この不連続消波堤は写真-1(口絵)の陸上部に白く示されている。付近の底質の平均粒径は水深5mまでが0.2~0.15mm、水深5m以深で0.13mm程度であり、海底勾配は水深6mまでが1/75、6m~9mで1/170、9m~15mで1/250となっている。

2. 観測項目と観測概況

2.1 観測項目と方法

4日間にわたる観測の実施項目は、沖波・砕波帯内の波浪・海浜流・浮遊砂採取・海底地形測量・波の遡上・風向・風速および潮位であり、その観測方法は次のとおりである。

(1) 波浪

沖波は水深22m(図-1)に既設のU.S.W.(超音波式波高計)によって期間中9時から16時までの連続観測を実施した。砕波帯内においては、6台の波高測標を、沿岸方向約100m間隔で5台、残り1台は離岸流の発生している地点の波高計の約15m沖にそれぞれ配置した。そのうち3台には容量式波高計を併置した。すべての波高測標を陸上部から8mmメモモーションカメラで1コマ/1秒のスピードで撮影する予定であった。しかし、2台の波高計が転倒しヘッドアンプに海水が浸入したため容量式波高計による測定が不可能になり、かつメモモーションカメラも1台が故障したため、結局4台の波高

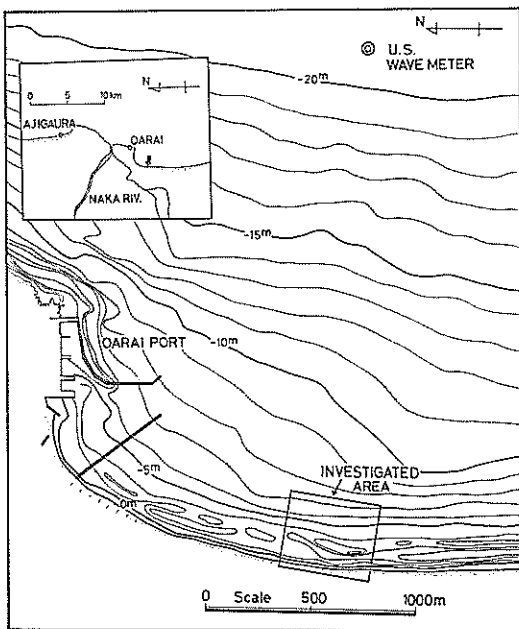


図-1 現地観測地域および沖波波高設置位置



計を8mmメモモーションカメラで撮影した。1回の連続撮影は約1時間である。

## (2) 海浜流

観測に先だって現地を踏査し、沿岸流の方向および離岸流の発生位置を確認した後に、種々の測定器の配置およびフロートの投入位置を決定した。観測期間中の海浜流の観測は10月17日の11時56分から13時18分の間でヘリコプターから航空写真を撮影してフロートを追跡した。使用したフロートの形状は図-3に示すようにキャンパス地の布で作られた被撮影面積1m×1mのほぼ立方体であり、ダイバーが投入地点まで運んだ後ジッパーを開き中に海水を入れたものである。このフロートはサーフゾーンの流れの測定にはきわめて有効であり、流れ以外の要因たとえば波乗りによる移動はほとんど生じない。

航空写真は、ヘリコプターが上空を施回しながら観測地域を2枚のフィルムでカバーするように撮影した。ヘリコプターは、施回するのに1~2分程度かかる。したがって撮影時間間隔は一定せず1分あまりとなる。ただし、2枚のフィルムは連続して撮影するため重なる地域については数秒間隔で撮影される。

フロートの位置を後の解析で決定するため、陸上部に対空標識を設置しているけれども、それらは浜に沿っているためほぼ直線状をなしており、不完全なものである。同時にヘリコプター自身のローリング・ピッチングのため、流況の解析はやや定性的にならざるを得ない。

使用したフロートは20個、撮影したカラー写真は120枚である。

## (3) 浮遊砂採取

碎波帯内で浮遊砂濃度分布を測定する目的で開発した採水装置<sup>4),6)</sup>を使用した。これによると、同時に水深方向6点で採水できる。採水孔の底面からの高さはそれぞれ25, 50, 100, 150, 250, 350cmの位置に固定しているため、水深が3.5mより深いときは6点から採水できるけれども、水深がそれより浅くなるとそのときの水深に応じて採水される点が少なくなる。文献4)で詳述してあるように、サンプリング時間は、採水孔の水頭によって異なるがおおむね3~5秒であり、一般に波の一周より短い。したがって、採水された点数がそのときの平均水位から計算される点数より多いときは、採水中に波の峰が採水地点を通過したと見なせる。

この採水装置はその上に載せたえい走式であり、陸上からブルドーザー、海上で船がそれぞれ交互に引き合せて移動するため、前もって測線を決めておく。本調査では4本の測線を設定し、1測線上の採水地点を5点とした。観測期間中4日間、毎日のべ2~5測線、計49点

で採水した。このうち17日に実施した中の5点については、採水装置を移動させず同じ地点でくり返し採水したものであり、また18日の中の4点は、採水地点の位置測量が障害物のため不可能であった。位置測量は陸上部から2台のトランシットにより測角した。この他に水深があまりにも浅すぎて、全採水孔で採水できなかった地点が2点含まれている。

## (4) 海底地形測量

海底地形の測量は採水装置に取り付けたスケールと波高計に取り付けたスケールを陸上部からレベルで測量することによっておこなった。したがって波高計4地点、採水装置41地点(5点は同じ位置、4点は位置不明)の計45点の水深データが得られた。

## (5) 波の遡上

swash zone (堀川<sup>20)</sup>らは波打帯と称している)の波のrun-up (遡上)およびrun-downの現象は、浜漂砂と密接な関連があり、海浜地形変形予測モデルを将来開発する際、特に汀線付近の取り扱上考慮しなければならぬものである。ところが、この地域における浮遊砂濃度は10万ppmのオーダーであり、流れ自体もいわゆるシートフロー(sheet flow)でかつ砂面への透水も顕著であるため、従来の流速計では測定が困難である。そこで新たに、まず波のrun upの前面位相速度だけを測定する装置を試作し使用した。

測定原理は、海水に触れるとonになり離れるとoffの状態になるセンサーを岸沖方向に複数個、砂面すれすれに設置したものである。いわゆるステップ式波高計を浜に寝かせたものと考えればよいが、沖波と現象的に異なる点は、波が斜めに遡上したとき複数個のセンサーのうち陸側のセンサーが先にonの状態になる可能性が大きいことである。そこで各センサーには電気的な重みを沖から順番に1, 2, 4, …,  $2^{n-1}$ と付け、onの状態になっているセンサーを区別することを可能にしている。

今回試験的に使用したセンサーの個数は岸沖方向4個ずつ2組の計8個である。しかし個数が少ないため設置間隔が2.5mとなり、スペクトル解析の精度が低下するため7.で述べる結果は、同時に1コマ/1秒で撮影した8mmメモモーションの読み取りデータに基づいている。

## (6) 風向・風速・潮位

これらについては、大洗港に既設の風向・風速計・検潮儀を利用した。

これらの各観測項目の実施時刻を図-2に示す。なお各観測項目の詳細は参考文献6)を参照されたい。

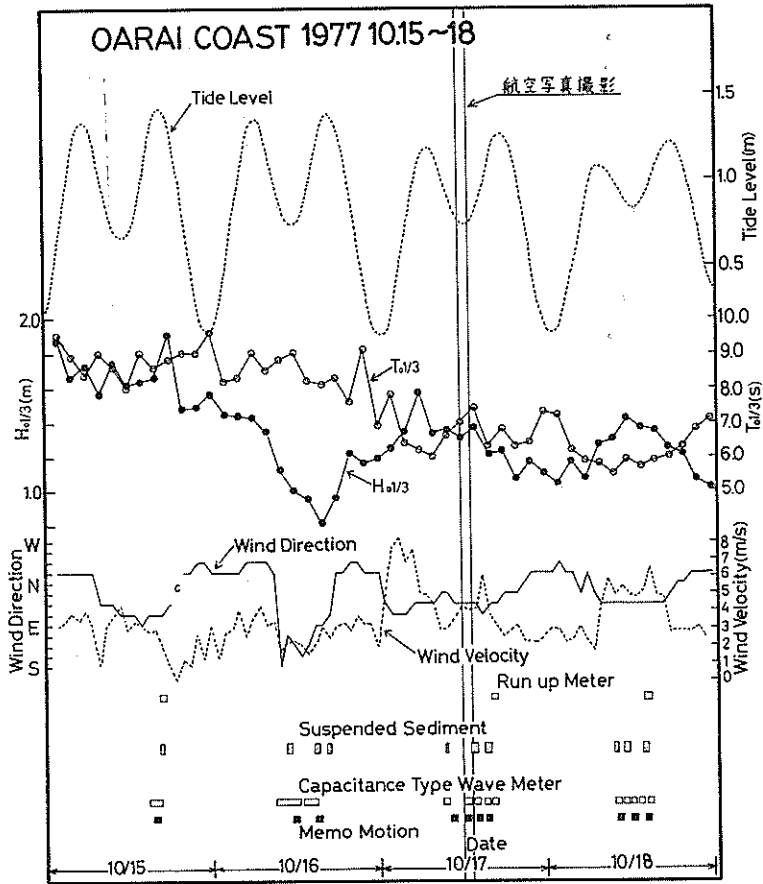


図-2 観測期間の  $H_{0.1/3}$ ,  $T_{0.1/3}$ , 風向, 風速, 観測実施時刻

## 2.2 観測概況

図-2に、期間中の沖波波高  $H_{0.1/3}$ ,  $T_{0.1/3}$ , 潮位, 風向, 風速の変化が示されている。沖波有義波高は15日の  $H_{0.1/3} = 1.8\text{m}$  から16日正午すぎに  $0.9\text{m}$  まで減少した後, 17日, 18日に  $H_{0.1/3} = 1.2 \sim 1.4\text{m}$  となる。一方周期は, 15日から18日正午にかけて  $T_{0.1/3} = 9.0\text{s}$  から  $5.5\text{s}$  まで減少したのち, 18日の午後若干長くなる。

4日間の観測期間のうち, 初めの2日間は測定器の走行および同時測定のリハーサルをおこない, 第3日目の航空写真撮影時に最も密度の高い観測を実施してある。最後の日は補足データの収集および次回の現地観測の検討を実施した。したがって, 以下に述べるデータ解析の結果は, 主に第3日目の観測に基づいたものであり, 特に航空写真撮影実施時刻の潮位は図-2に示されるように高低潮時であるため, この間の潮位変化は無視することができる。

写真-1(口絵)は, 120枚撮影した航空写真の一部を合成したものである。同写真中に示されている縮尺は,

正確なものではない。というのは高度の異なる2枚の写真を合成したものであり, またそれぞれの写真には光軸の傾きによる誤差が含まれているからである。この海域に写真中矢印で示された方向から入射してくる波は, 沖合200mから250mの位置に存在する沿岸砂州上でまず第1次の砕波をした後新たな波となり, 沖合約100mで再び砕波した後は段波状となってサーフゾーンを形成している。したがって, 写真でも認められるように, 第1砕波帯とサーフゾーンの間には幅約100m程度の白くあわ(泡)立っていない海域が沿岸方向に帯状に存在する。サーフゾーン内の波峰線を見ると明らかなように, 汀線が曲線を描いているため, サーフゾーン内の入射波と汀線のなす角度は, No. 8基準点の北側で  $85^\circ$ , 南側で  $90^\circ$  程度となる。

写真から読み取れるサーフゾーン幅は平均にみて約150mであるけれども, サーフゾーン幅が部分的に広がり, その岸側の泡立っていない箇所にA~Eの5つの離岸流が存在しその沿岸方向の間隔はA~Dではほぼ150m,

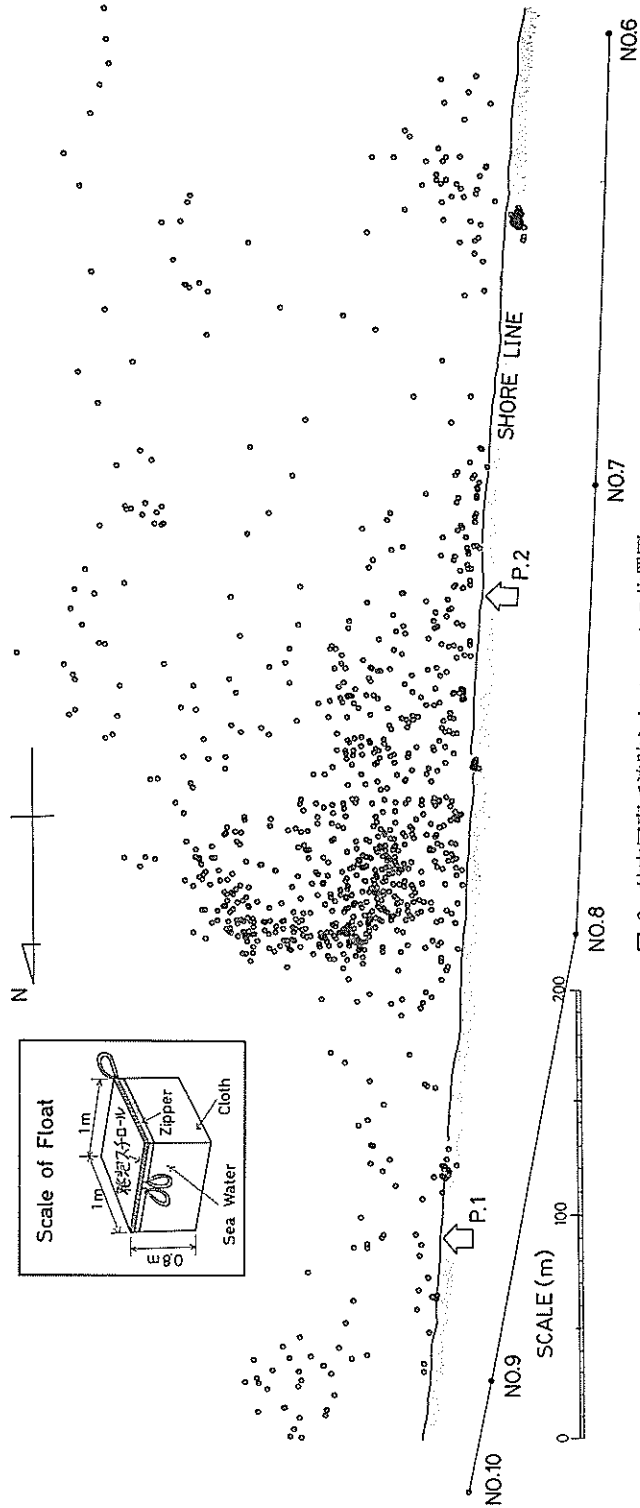


図-3 航空写真で追跡したフロートの位置図

D～Eで370mである。1時間あまりにわたる航空写真を調べると、B、Cの離岸流の規模は小さく、しばしば互いに寄り添うように発生しサーフゾーン端では1つになる。最も規模の大きな離岸流はNo. 8基準点前面のDであり、波浪観測、フロートによる海浜流観測および浮遊砂濃度測定は主にNo. 8基準点前面で実施した。これらの離岸流発生位置は、潮位変動のない航空写真撮影時だけでなく、4日間の観測期間中も変動せず、常に同じ位置であった。

写真中、基準点No. 7以北の後浜部に白い線で示された位置に、六脚ブロックによる長さ100m開口幅50mの不連続消波堤が建設されている。No. 7基準点のすぐ北側にある消波堤長は30mである。そして消波堤前面の浜幅は北側ほど狭くなっている。上述の離岸流A～Dの発生位置は不連続消波堤の開口部に一致し、不連続消波堤の存在しないD～E間ではその間隔が長くなっている。

サーフゾーン内の海底地形は、波峰線のパターンから考えて、離岸流の発生位置では水深が深く護岸前面では浅くなっていることが想像される。特にDの離岸流発生位置における波の変形の複雑さは、海底地形の複雑さを暗示している。No. 8基準点より南側の海底は比較的単純な地形であろう。

### 3. 海浜流

#### 3.1 沿岸流と離岸流を伴う循環流

航空写真による20個のフロート追跡は、17日11時56分～13時18分の間で実施した。写真撮影時の潮位変動は図2に示されるとおりほとんどない。図-3は120枚の写真から読み取れるのべ1,046個のフロートの位置をプロットしたものである。使用したフロートの形状は図-3に示すとおりであり、色調は赤および黄の2種類である。フロートは航空写真撮影に先立ち、図中P1、P2の2地点からそれぞれ10個ずつダイバーが海上に運び投入したが、撮影開始時にはそれらの大部分はNo. 8基準点前面の海域に集中した。撮影中は、No. 8基準点前面の沖に延びる狭い帯状地域にフロートが特に集中している。

各航空写真には高度変化および光軸の傾きの影響（一般にヘリコプター撮影の場合は飛行機より大きい）が含まれており、さらに対空標識が浜に沿って一直線に設置されているためその補正が困難である。またNo. 8基準点前面には、大きな循環が存在しその周期が、数分であるのに対し撮影時間間隔が1分程度である。したがって、図-3のフロートの位置を直線で結んだり、あるいは2地点の移動距離を所要時間で割った速度をベクトル表示した場合、沿岸流況はジグザグとなり循環流は循環の

円周上をめぐる流況とはならず円の弦を示すように描かれ誤解を生じる恐れがある。そこで、観測期間中に実施した目視観測の結果と航空写真のすべてのフロートの移動状況を考慮してなめらかな流跡線を描いたのが図-4である。図において、南下する沿岸流と時計回りの循環の流跡線は実線で、反時計回りの循環は破線で区別されている。また図中にはサーフゾーンの幅と第1砕波帯の位置も一点鎖線で示されており、さらに上段には第1砕波帯において航空写真に砕波が認められる確率を示してある。第1砕波帯の砕波は、写真中に白いあわ立ちが生じている（写真-1参照）のを判断基準に決定した。

この地域の手前北側の循環およびその手前北側の反時計回りのより小さな循環によって特徴付けられる。第1砕波帯の砕波発生確率が、No. 8基準点を境に北側では0.2～0.4、南側では0.6～0.7となっていることおよび前述したNo. 8基準点を境にした段波の入射角の相異から考えて、この大きな循環は波浪条件の急激な変化点に位置していると言える。

大きな時計回りの循環は、南下する沿岸流の影響を受けて、南側にふくらんだ形状をなし、そのスケールは時間とともに変化しているようである。したがって、循環内の流れは、沖に向うとき（離岸流）は10～20mの狭い幅から流出するのに対し、陸に向うときは100m程の幅をもって流入する。離岸流の位置は固定しており、図-3で認められるようにフロートは離岸流の位置に集中している。発生頻度の大きい循環流のスケールは図-4中ほぼ円状に示されたもので、直径が約60mであり、このときの周期が陸上からの目視観測で3～5分であることから推定して平均流速は0.6m～1m/s程度である。

この循環から流出するフロートをF1～F7とナンバリングし、各軌跡上の数字によってその位置にフロートが到達した時刻を示している。時刻のうち12時から13時の間に限って“分”だけを示してあり、47は12時47分に対応する。フロートF1、F2、F3、F6は同時刻にほぼ同じ位置から流出しながら、流出地点の微妙な差によってその後の軌跡が異なる。すなわちF1、F3はサーフゾーンの外側で第1砕波帯の内側を南下し、それらの流速は0.15～0.2m/sである。途中F1は12時54分～13時4分まで滞留する。F2は、サーフゾーン端のすぐ内側を南下しその流速は0.2m/sであるが、途中12時57分頃滞留した後時計回りの曲線を描いてサーフゾーンの中央へ流入してくる。F6は0.22m/sの流速で汀線に対し約30°の入射角をもつ大きな時計回りの曲線を描きながら移動する。この軌跡は循環の一番成長したときの南側影響限

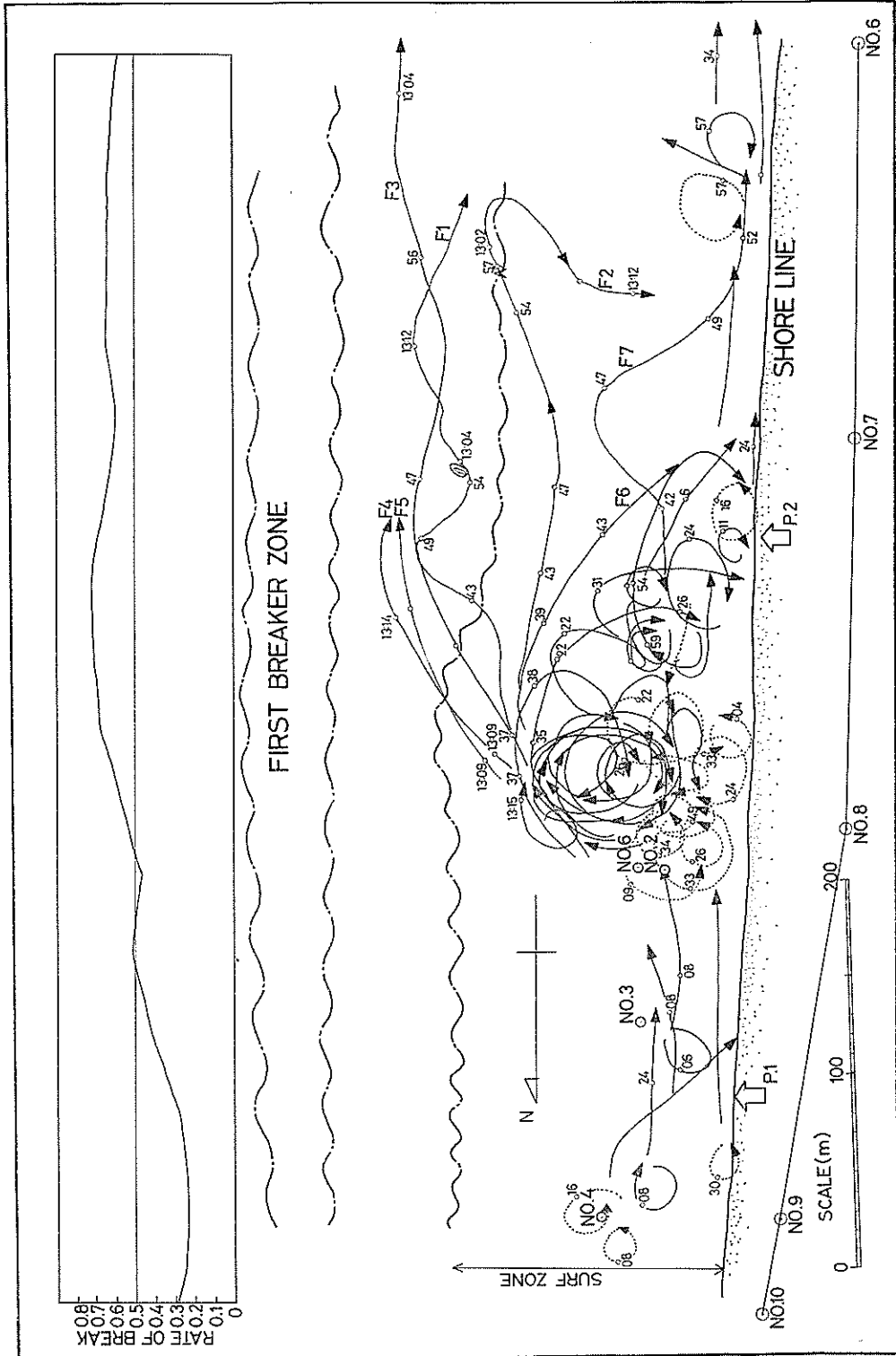


図-4 航空写真で観測された波浪流およびサーフゾーン, 第1砕波帯, 第1砕波帯, 第1砕波帯発生確率 (17日11時56分~13時18分)

界を示すものと考えられる。同時刻に流出するフロントとして F7 があるが、これはその流出地点が前述の 4 個とは異なる。F1, F2 のフロントが滞留している 13 時前後には大きな循環からの放出は観測されなかった。その後 13 時 9 分に F4, F5 がほぼ同一軌道を通してサーフゾーンと第 1 砕波帯の間に流出し南下した。

これら第 1 砕波帯とサーフゾーンの間から流出したフロントも含めてすべてのフロントは南下したが、第 1 砕波帯の沖へ流出することなく、観測地点以南約 1 km 以内の陸上から回収された。

大きな時計回りの循環の北側に陸に近い海域には、規模の小さな反時計回りの循環が認められ、その直径は 30 ~ 40 m である。この循環の存在する時刻はほぼ 12 時 40 分までであり、それ以後は認められない。

なお No. 8 と No. 9 基準点の間の前面海域で図中方位を書いてある海域へは、1 個のフロントも流入しなかった。

4. で後述するように、この循環流の発生地点の海底地形は特異なものであり、特に離岸流の位置にはそれに沿って溝が形成されている。同様な海底地形について、Birkemier と Dalrymple<sup>14)</sup> は波と流れの干渉をエネルギー式の中で考慮した海浜流の数値計算を行っているので、その結果の一部を図-5 に示す。点線は等深線を示しており、図中に矢印で示した沖波波向を入力したときの海浜流のパターンである。沿岸流および循環流の方向は、大洗海岸のそれと鏡像関係にあり反対であるが、海底の溝に沿った沖向きの流れ（離岸流）を伴った循環流が認められる。このことから、海底の溝が形成されるに到った過程の議論はともかく、現時点の大洗海岸の No. 8 基準点前面の循環流は、海底地形によって誘起さ

れ位置が固定されていると考えられる。

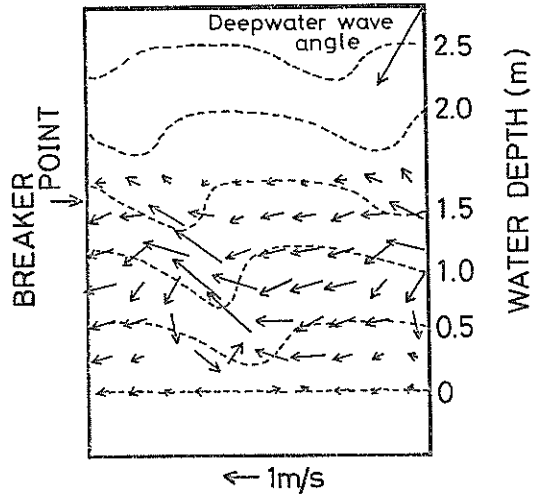


図-5 数値計算で得られた循環流 (Birkemier & Dalrymple, 1975<sup>14)</sup>)

### 3.2 離岸流発生位置と後浜の不連続消波堤の関連性

航空写真から読み取れる離岸流発生位置の概略と、数枚の航空写真を用いて陸上部を立体視して得られた等高線および不連続消波堤の設置位置を図-6 に示す。A ~ D の離岸流の発生位置は、後浜の不連続消波堤の開口部に一致している。航空写真撮影時（口絵写真-1）は、高低潮時であり、波が直接この六脚ブロック消波堤まで到達していないけれども、この範囲の消波堤前面の浜幅が狭いため、満潮時あるいは時化時の波は消波堤まで十分に達し、したがって消波堤は前面海域の海浜流や海底地形

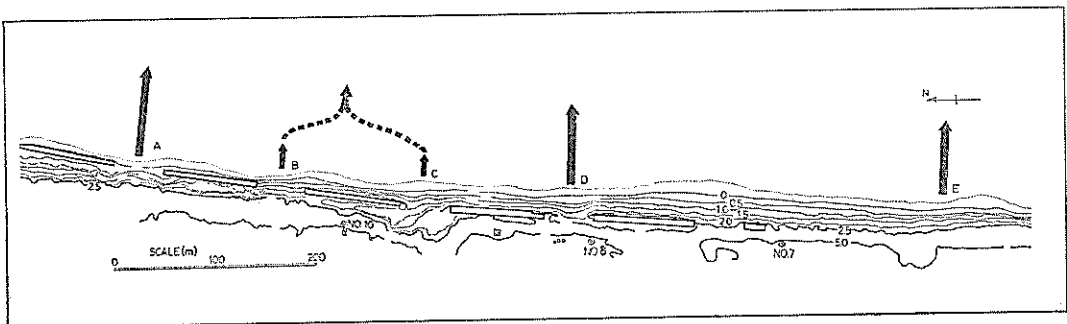


図-6 離岸流発生位置および後浜の等高線図



に対し、有意な影響を与えると考えられる。すなわち、特に時化時の波は相当の高さまで遡上するから、遡上流れとそのもどり流れは消波堤開口部で顕著になり、汀線付近の地形がそれに応じて変化し溝が形成される。その結果図-5で説明されるように、離岸流がそこに固定して発生する。時化後、波が直接消波堤に到達しなくてもこの地形は残されるので、離岸流は存続する。図-6に示されるように、開口部の等高線は陸上部に入り込み、いくぶん欠壊された跡がある。

観測期間中、A～Dの離岸流の発生位置が開口部に一致していたことは、上記の現象が過去において生じたものと考えられる。この海底の海底地形は、このように後浜の構造物との関連で生じたものであるから、沿岸方向

に移動する<sup>13)</sup>ことは考えられない。D～E間では、後浜に設置された不連続消波堤の規模が小さく(No. 7基準点近くの消波堤延長30m)かつ浜幅も広がっているため、150m間隔の離岸流は発生しておらず、D～E間が370mとなっている。

一方、後浜に消波堤等の人工構造物がないとき、離岸流発生間隔は砕波帯内の流体力学的特性によって決定される。Battjes<sup>12)</sup>は、砕波限界、砕波型式、砕波波高と砕波水深の比、砕波帯内の波数、反射率、set-up, run-up等のサーフゾーンの現象を一義的に説明する砕波帯相似パラメーター(surf similarity parameter)

$$\xi = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H/L}}$$

Nondimensional spacing of rip current,  $Y_r/X_b$

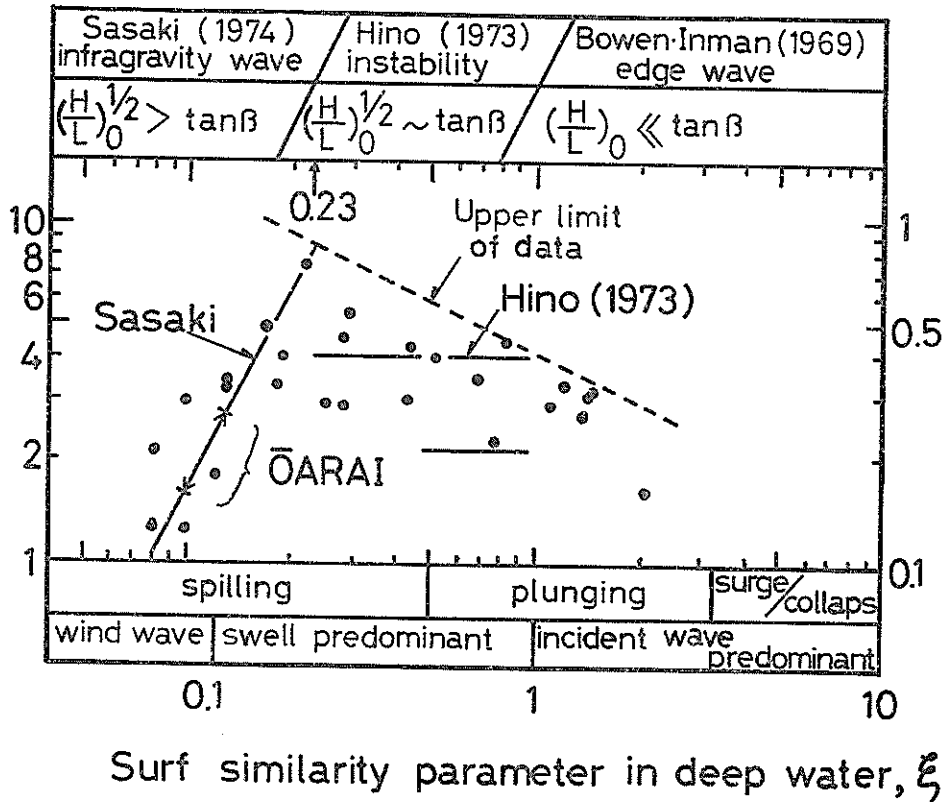


図-7 無次元離岸流間隔 ( $Y_r/X_b$ ) と砕波帯相似パラメータ ( $\xi_0$ ) (佐々木, 1974<sup>13)</sup>)

を提案した。ここに、 $\tan \beta$ : 海底こう配,  $H/L$ : 波形こう配である。さらに佐々木<sup>17)</sup>, 堀川・佐々木・堀田・桜本<sup>18)</sup>らは、このパラメーターを用いると離岸流発生間隔をサーフゾーン幅で割った無次元離岸流間隔も説明できることを示した。

航空写真撮影時および観測期間中の沖波(水深-22m)の諸元は、それぞれ  $H_{1/3}=1.19\text{m}$ ・ $T_{1/3}=6.9\text{s}$ ,  $H_{1/10}=1.0\sim 1.8\text{m}$ ・ $T_{1/10}=5.0\sim 9.0\text{s}$  であり、サーフゾーンの平均海底こう配は  $1/60$  であるから、波高を浅水係数を用いて深海波高に換算して砕波帯相似パラメーターを計算すると、

$$\xi_0=0.128 \quad (\text{航空写真撮影時})$$

$$\xi_0=0.103\sim 0.133 \quad (\text{観測期間中})$$

となる。ただし、 $\xi$ の添字“0”は沖波の諸元を用いたことを示す。したがって、本海岸の離岸流の流体力学的発生機構は、佐々木<sup>17)</sup>の提案する「INFRAGRAVITY」領域 ( $0.08<\xi_0<0.23$ ) に属する。この領域では、図-7に示すように砕波帯相似パラメーターと無次元離岸流間隔の間に、

$$Y_r^*=157\xi_0$$

$$Y_r^*=Y_r/X_0$$

$$Y_r: \text{離岸流間隔}$$

$$X_0: \text{サーフゾーン幅}$$

$$\xi_0: \text{砕波帯相似パラメーター}$$

が成立する。サーフゾーン幅として前述の  $X_0=150\text{m}$  を用いると、離岸流間隔はそれぞれ

$$Y_r=385\text{m} \quad (\text{航空写真撮影時})$$

$$Y_r=250\sim 417\text{m} \quad (\text{観測期間中})$$

となる。

A~D間の離岸流間隔は  $150\text{m}$  であり、これは砕波帯内の流体力学的特性から計算される間隔  $Y_r$  より短いものである。しかしながら、A~Dの離岸流のうちAとDは規模が大きく離岸流頭(rip head)がサーフゾーン外に突出しているのに対し、BとCは時には航空写真で確認できないほど規模が小さく離岸流頭が互いに寄り添うように発生する傾向がある。規模の大きいAとDの離岸流間隔は  $450\text{m}$ 、あるいはBとCがサーフゾーン端で一つになるものと見なせば、A-BC-D間はそれぞれ  $225\text{m}$  となり、観測期間中の計算される間隔  $Y_r$  の最大・最小値とはほぼ一致する。このことは、汀線近くで不連続消波堤の影響を強く受けている離岸流は、沖方向へ汀線から遠ざかるにつれ、消波堤の影響が弱くなり砕波帯内の流体力学的特性の影響を受けるようになることと見なせる。

DとE間の距離  $370\text{m}$  は、航空写真撮影時の波の諸元を用いて計算される間隔  $Y_r=385\text{m}$  とよく一致する。現

在の知識では、砕波帯相似パラメーター(あるいは他の適当なパラメーター)を用いて、離岸流の発生位置を予測することはできないけれども、Dの離岸流発生位置が消波堤の開口部によって固定されているため、必然的にEの離岸流は固定されることになる。言い換えると、間接的ではあるがEの離岸流も不連続消波堤の影響を受けていることになる。

離岸流発生位置の海底に深い溝が存在するような沿岸地形が砂浜海岸に形成される過程では、海底地形と流れの干渉が生じる。すなわち、何らかの原因で離岸流が発生すると海底が侵食されて溝ができ、さらに強い離岸流を誘引し、その結果ますます溝は深くなる。あるいは、何らかの原因で地形に変化が生じるとそれに応じて流れが生じ、同じ結果になる。したがって、「流れが先か地形形成が先か」の議論は「にわとりが先か卵が先か」に類似したものになるけれども、本海岸の地形形成については、上述したように「不連続消波堤による地形形成が先」と考えるほうが優勢である。

このように、後浜の構造物も海浜流・沿岸海底地形にその影響をおよぼす可能性があるため、既設あるいは将来建設する同様な構造物前面の沿岸現象に、注意深い目を向ける必要がある。というのは、浜をレジャーに利用する人々は消波堤をさけて開口部を通り、離岸流の発生している浜に出ることが多く、一般の人々は、「離岸流の発生位置においてしばしば水難事故が生じる」という認識が十分とは言えないからである。

#### 4. 海底地形

##### 4.1 航空写真撮影時および浮遊砂採取時の実水深

調査海域の深浅測量を、浮遊砂採水装置に取り付けてあるスケールを陸上からレベルで測量することにより実施した。測定は、採水している約5分程度の間に行い、そのときの位置は陸上部の2地点からトランシットにより測角する。したがって、測定位置は採水地点と同じ地点である。ただし、海底地形の傾斜によるスケールの傾きと採水装置のめり込みによる測定誤差の補正はしていないけれども、それらの複合誤差はせいぜい数cmと考えられる。

航空写真撮影時の実水深の算定においては、4台の波高測標設置位置におけるそれぞれの水位の1時間平均値の総平均を対象とする全域にわたって適用した。図-8より波高計設置位置は、測定海域の最も陸側に位置する(No.2~No.6)ため、1時間平均レベルにはwave-setupの効果が含まれている。したがって、この地点の平均水深を用いて実水深を計算すると、沖の測点ほど実水深

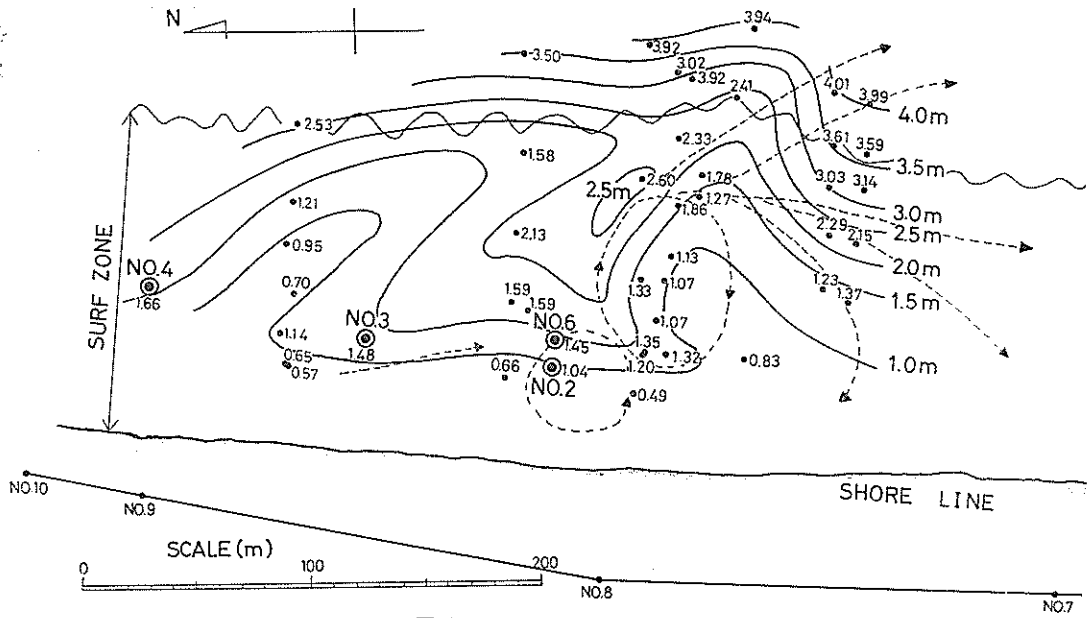


図-8 サーフゾーンの深浅図

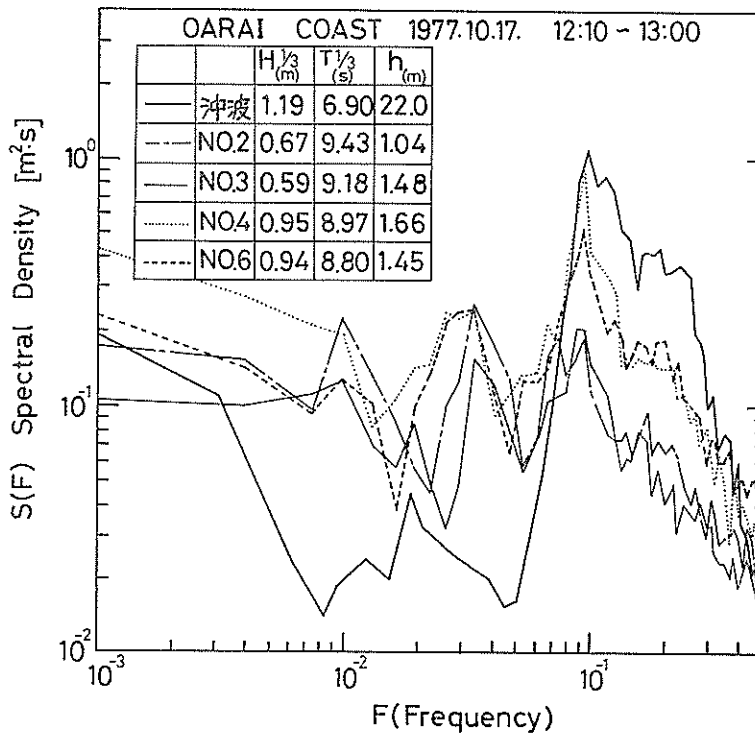


図-9 沖波, サーフゾーンの波のスペクトル

が過大に評価される傾向にあるが、その補正は行っていない。一般に set-up 量の最大（汀線位置）は波高の10%程度と言われているので、実水深換算の誤差はサーフゾーン端で最大であり、3~5cm程度と考えられる。なお航空写真撮影時は図-2からも明らかのように、高低潮時であるため約1時間の潮位変動はほとんどないと考えてよい。

採水は4日間にわたって実施しているので、それぞれの時刻によって、潮位が大きく異なり、航空写真撮影時の実水深のように単一データに基づく補正はできない。そこで、航空写真撮影時の実水深とそのときの大洗港の潮位を一致させ、各時刻における実水深は潮位データを用いて補正した。したがって、採水時の採水地点における換算実水深には、上記と同様の誤差が含まれている。このように計算される採水時の実水深データは、6. 浮遊砂の章で解析に使用する。

#### 4.2 循環流下の海底地形

前節で述べた換算をした航空写真撮影時の実水深を図-8に示す。図中には、流れの主要パターンを点線で同時に示している。

海底地形は全体に南下する沿岸流の影響を受けて、斜め南方向に等深線が張り出している。さらに欠壊・堆積地域は、図-4に示される流れのパターンとよく対応している。すなわち、大きな循環の発生位置には離岸流に沿って洗掘された深い溝が形成されており、サーフゾーン端の手前約20mの位置で最大水深2.6mになっている。一方、循環流の岸へもどる流れの生じている海域と溝に沿ったサーフゾーンの沖側には、等深線の沖への張り出しが認められる。前者の堆積地形の形成は、南にふくらんだ循環流の影響で岸方向にもどる流れが広い幅で生じているため流速が低下することに、後者はサーフゾーン外で乱れが減少しかつ離岸流速も低下することにそれぞれ起因する土砂輸送能力の低下によるものである。また、No. 9 基準点前面の波高測標設置位置 No. 3 と No. 4 の間から沖南方向に張り出した浅瀬が存在するが、この海域には図-4で示されるようにフロートが流入しておらず、したがって流況の詳細は不明である。フロートが流入しなかったことと、南下する沿岸流が循環流と出合う前面に対応していることから、一樣流れに障害物を入れたとき生じる障害物の上流側の流速の遅い地帯のような、いわば死水域的なものになっているのかも知れない。もしそうだとすれば、この浅瀬は、先に述べた堆積地形と同様に流速の低下に伴う土砂輸送能力の低下によってその成因の説明がなされる。

このような海底地形は、「離岸流の発生している位置

では海底が洗掘され (rip-scoured channel)、離岸流がサーフゾーンの沖に流出する (離岸流頭—rip head) ところでは堆積地形が形成される。」という一般的状況と一致しながら、さらに海底の溝が離岸流の流れに沿った円弧を描いていることや No. 9 基準点前面から斜めに浅瀬が突出しているという特殊性を兼ね備えている。これは観測を実施した地域が、前述したように沖の砕波状況や波の入射角等の沿岸方向分布の物理的変曲点であることとも関連しているのであろう。なお rip-scoured channel 内の sand wave<sup>12)</sup> は確認されていない。

図-8によって示される海底地形は、航空写真（口絵写真-1）に写された No. 8 基準点前面の海表面の状況とよく一致しており、このことはサーフゾーン内の海底地形を航空写真を用いて定性的にかなりの精度で推定することが可能であることを示す。

## 5. 波浪

### 5.1 波浪エネルギーの低周波数成分への移行と海底地形

サーフゾーンの波は図-4, 8に示される No. 2~No. 6の4地点で観測された。海浜流観測期間中の17日12時10分から13時まで50分間のデータに基づいてFFTにより計算したスペクトルを、同時刻の沖波(水深-22m, 図-1)とともに図-9に示す。波が沖波観測地点からサーフゾーンまで進行するのに時間を要するから図-9には、若干タイムラグ(時間遅れ)が含まれるけれども、波の諸元の短時間の変化は問題ないと考えられるから、その補正をしていない。サンプリング間隔は1sである。

沖波スペクトルのピークは周波数0.1Hz(周期10s)に存在し、ゼロアップクロス法で求めた $T_{1/10}=6.9s$ と異なる。この差は、さらに高周波数側に存在する少し幅の広い小さなピークの影響と考えられる。また低周波数側は全体にエネルギーレベルが低い。

これに対しサーフゾーンの波のスペクトルには0.1Hzを境に全体に低周波数側へのエネルギー移行が認められる。低周波数側で認められる負のピークは、汀線のような境界の近くで測定したとき常に現われる<sup>6), 20)</sup>もので、反射定常波のうち波高測標設置位置と節が一致する定常波の周波数に対応する。高周波数側では、No. 2, No. 3のエネルギー減少が大きく、No. 4, No. 6の減少はそのほぼ半分である。No. 4では沖の第1砕波帯における砕波発生確率が低く(図-4)、また波高測標設置水深が他の3地点と比較して最も深いため、0.1Hzにあるピークエネルギーの減少はほとんどない。このため高周波数側のエネルギー減少も少ない。No. 6は前面の第1砕波帯での

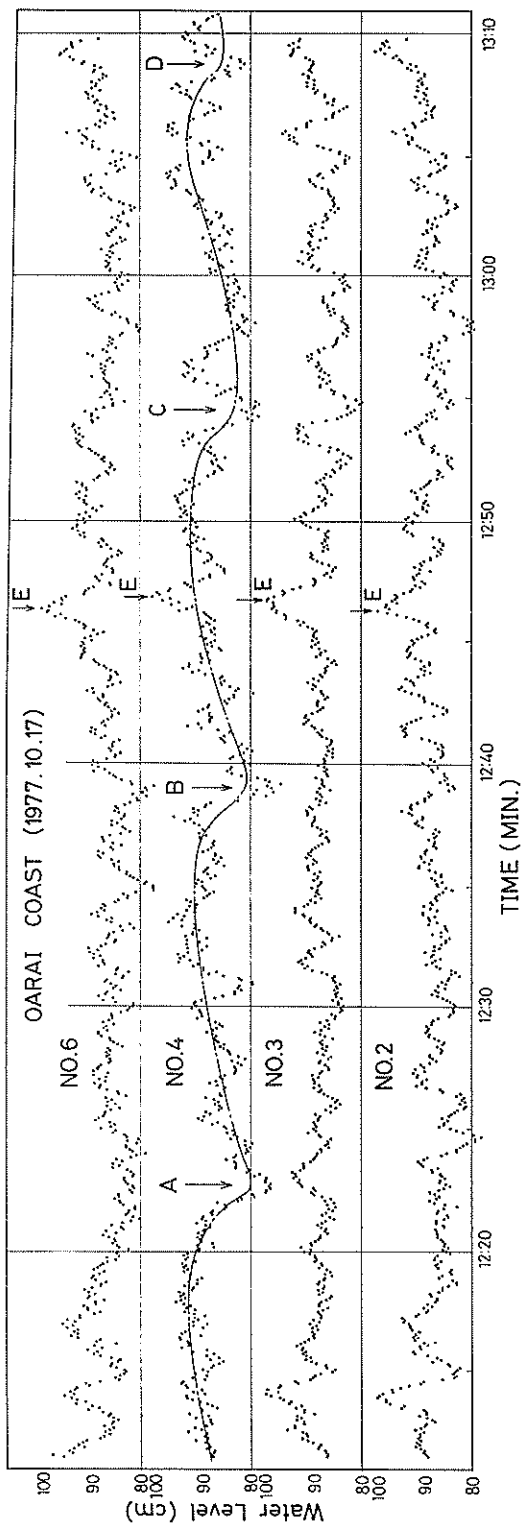


図-10 砕波帯内の水位変動

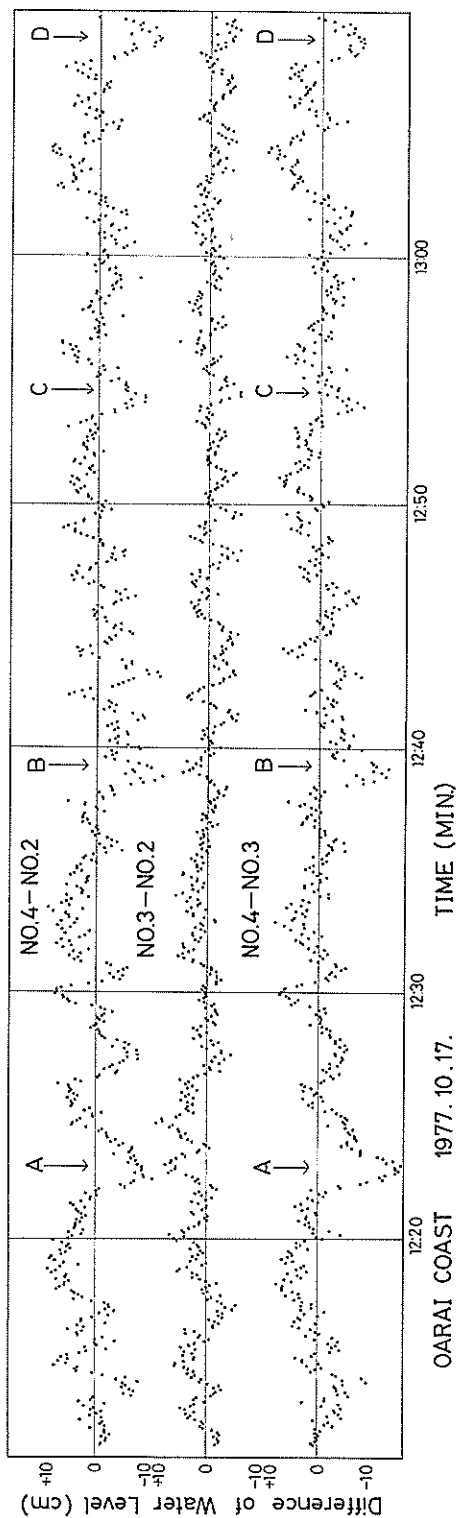


図-11 砕波帯内の水位差変動

砕波発生確率が No. 4 に比較して大きいいため、ピークエネルギーの減少は No. 4 のそれに対しやや大きい。しかし、前面海域の水深が深いため高周波数側のエネルギー減少は No. 4 と同じ程度である。No. 3 は No. 6 とほぼ同じ水深でありながら前面海域に浅瀬があるためピークエネルギーおよび高周波数側のエネルギーともに減少が大きく、ゼロアップクロス法で求めた有義波高は水深の一番浅い No. 2 よりさらに小さい。No. 2 は No. 6 のすぐ近くにあるにもかかわらず、この間で急激に水深が減じ約 40cm 浅くなっているため、有義波高も小さく高周波数側のエネルギー減少も大きい。一方、0.1Hz より低周波数側ではどの地点でも 0.035Hz と 0.01Hz にピークが認められるけれども、各地点のピークエネルギーの差は海底地形とは対応せず、長周期波の沿岸方向の変動によるものと考えられる。

このように高周波数側におけるサーフゾーン内の波のエネルギー減少は海底の微地形に大きく左右されるようである。したがって、数値計算による海浜流シミュレーションモデルでは radiation stress をサーフゾーンの波高分布から計算するため、波高分布と密接な関連があると考えられる海底の微地形を忠実に入力データとして与えておくことが精度の向上に役立つと考えられる。

なお、ここではサーフゾーン内の有義波高をゼロアップクロス法で計算した結果を示してあるけれども、このようにして定義される代表波高がサーフゾーン内の現象を把握するのに適したものであるかどうかの検討はおこなっていない。

## 5.2 沿岸方向水位差と海浜流

No. 2～No. 6 の地点の 1 秒間隔の波形データを 60 秒移動平均して得られる水位を 5 秒間隔でプロットしたものを図-10 に示す。ただし、縦軸のレベルは、各波高測標の基準面からの水位であり、各基準面の高さの差については未調整である。

各地点において、周期 1～2 分程度、振幅 5～10cm の変動が認められ、それらの時系列は No. 2, No. 3, No. 6 で非常によく類似している。ところが No. 4 では、図中一点鎖線で示されるようにさらに長い約 15 分周期の変動が存在しており、図-9 のスペクトルでも、No. 4 は 0.001 Hz のエネルギー密度が他の 3 地点より高くなっている。さらにこの水位の長周期変動は特異であり、徐々に水位が上昇した後図中 A, B, C, D で示した時刻に急激に水位低下が生じる。

各地点での水位上昇の最大は、図中 E で示される 12 時 47 分頃に生じる。No. 2～No. 6 で同時にかつ測定期間中に 1 度しか生じないということは、この現象が空間的・

時間的に非常に大きなものであることを示す。さらに詳しく E の時刻に注目すると No. 2, 6 が No. 3, 4 より 20～30 秒程度早く生じており、これは No. 2, 6 から No. 3, 4 に向って水位変動が伝播したことを意味する。

図-10 の各地点間の水位の差を求めて図-11 に示す。各地点間の距離は、それぞれ No. 2～No. 3 が 82m, No. 3～No. 4 が 96m である。図中 No. 4～No. 2 とあるのは No. 4 の水位から No. 2 の水位をさし引いたことを意味する。したがって差が正のときは No. 4 の水位が高い。

各地点間の水位差の変動周期は、それぞれの地点における水位変動周期とほぼ同じ 1～2 分程度である。ところが水位差は、前述したように変動のパターンが似ている No. 3～No. 2 で ±5 cm と小さいのに対し、No. 4 では特異な長周期の水位変動が生じているため No. 4～No. 2 および No. 4～No. 3 ではほぼ同様な水位差変動を示すとともにほぼ 15 分ごとに図中 A, B, C, D で示した時刻に短時間であるけれども No. 4 の水位が 10cm 以上低くなることが認められる。これを距離で割った平均水面こう配は No. 4～No. 3 間で 1/1,000 程度となる。

前述したフロートの循環からの流出はこのうち図中 B, D の矢印の時刻にほぼ対応している。循環からフロートが流出するのは離岸流の流速が速くなることに起因すると考えられる。したがって、離岸流が強くなるとき離岸流発生位置 No. 2 の水位より No. 4 の水位は 10cm 以上低くなっているといえる。しかもそれは急激に低くなるようである。このことは、我々が先に仙台南港南海岸で観測した「非定常の離岸流が発生しているときその背後の水位は両側より高い<sup>5),6)</sup>」事実と基本的に類似した現象が生じていることを示す。

図-11 には同様に C の矢印で示した時刻でも、No. 4 の水位が急激に低下している。しかし、このときは、循環からのフロートの流出は生じておらず、むしろ逆の現象であるフロートの滞留が生じている。これは、図-10 で述べたように、B の時刻と C の時刻の間で 12 時 47 分頃全域で水位が上昇し、しかもこの現象が南下する沿岸流と逆方向に伝播したことに起因すると考えられる。いずれにしても、本海岸の非定常な海浜流、特に離岸流は 15 分程度で変動しているようであり、流れは 10 数分以前の間の沿岸方向水位差と密接な関連がある。

波形を周波数スペクトルで表現する方法は、不規則な現象を多数の成分波に分解し各成分のエネルギーと周波数の関係を示すものであり、波の性質を把握するのにきわめて有効なものとなっている。それは、エネルギーすなわち振幅の 2 乗が各成分の位相に関係なく定義されるため、スペクトル解析するとき位相が消去され、現象を



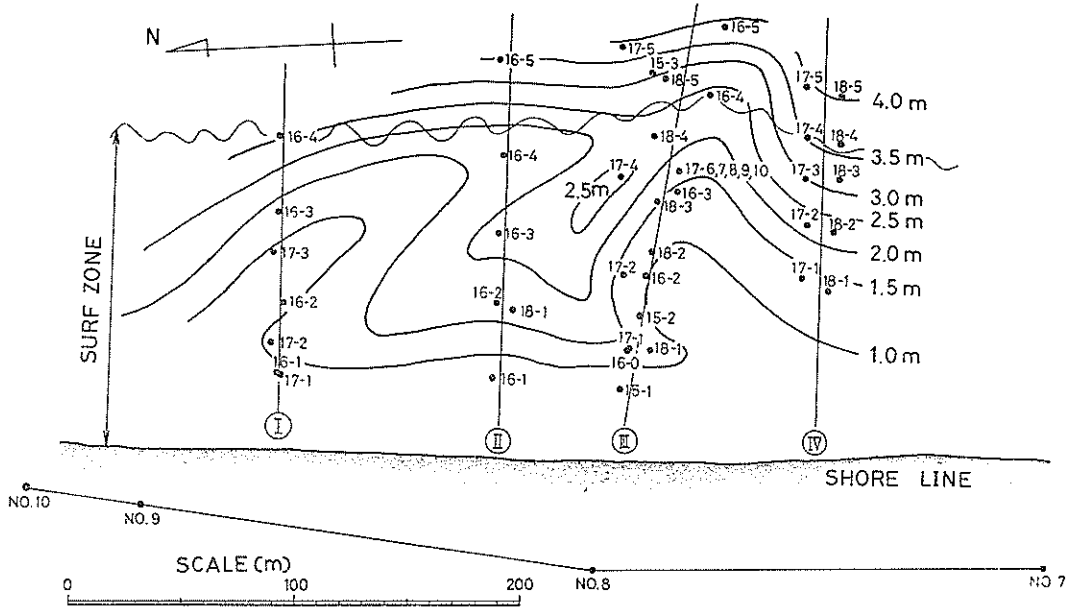


図-12 浮遊砂採取測線および採取地点

さらに1次元単純化してとらえることが出来るという点においてである。ところが、著者らは本海岸の離岸流の非定常性を図-9に示されるスペクトルよりもむしろ図-10,11の平均水位、平均水位差の変動と関連付けた。サーフゾーンにおける流れは、平均水位変動の位相とも関連していると考えられ、したがって波形データの処理はスペクトル解析の一手手前の段階でとどめる必要があろう。その方法として、現在のところ60秒移動平均という初歩的な統計処理に頼っているけれども、将来検討していきたい。

## 6. 浮遊砂

### 6.1 浮遊砂濃度の鉛直分布

浮遊砂採水機を用いた浮遊砂採取は、図-12に示すI~IVの4測線の各点で実施した。各採取地点に示された数字の最初の2けたは観測日である。例えば16-3は、10月16日を意味する。また採取時刻は、図中に示されていないので付録を参照されたい。測線IIにおける18日の浮遊砂採取のうち、18-2~5はその位置の測量が実施されていないので図中には描かれていない。各地点では鉛直方向、底面から25,50,100,150,250,350cmの高さの6地点で採取した。これらの高さは、観測期間中を通じて一定に固定されている(図-15参照)。

各地点の浮遊砂の鉛直分布を図-13,14に示す。図-13の10ケースの図には、それぞれ大洗港の検潮データを

用いて4.1で述べた方法により推定した浮遊砂採取時の平均水位が示されている。全体の図面のレイアウトは縦の列が左から測線I~IVの順になっており、横の行は上から下へ10月15日~18日の順に考慮されている。日別の測定測線数は、15日が1,16日が3,17日が3,18日が3である。さらに17日は、測線III上の一点で固定して5回くり返し測定している。この結果が図-14である。

図-13より、いずれの結果も底面近くで浮遊砂濃度が最大となっており、一部の例外を除いて観測日・測定点にかかわらずほぼ同じ1,000ppm~数千ppm程度となっている。しかし、鉛直分布は観測日によって異なっている。すなわち、一般に考えられる浮遊砂の濃度分布が海底に近いほど高く、水面に向かって急激に低くなる分布を示しているのは16日に限られる。17日はかなり分布が立って来ており、18日に到ると中層に低濃度が現われ表面近くでは逆に濃度が高くなっている。観測期間中、沖波有義波高は図-2あるいは図-13の右上に示されているように変化した。浮遊砂の採取は毎日朝から夕方まで実施しているので、各日の平均的代表波として正午の波を記すと、16日が $H_{0.115}=1.0m$ 、17日が $H_{0.115}=1.20m$ 、18日が $H_{0.115}=1.40m$ である。すなわち、波高が大きくなるにつれて上層の濃度が高くなり中間層で最低濃度を示すようになる。しかも、このように波高が高くなり上層濃度が高くなりながらも、底面付近では顕著な変化が現われずほぼ一定である。したがって、波高の増大に伴う

大洗海岸における砕波帯内の総合観測

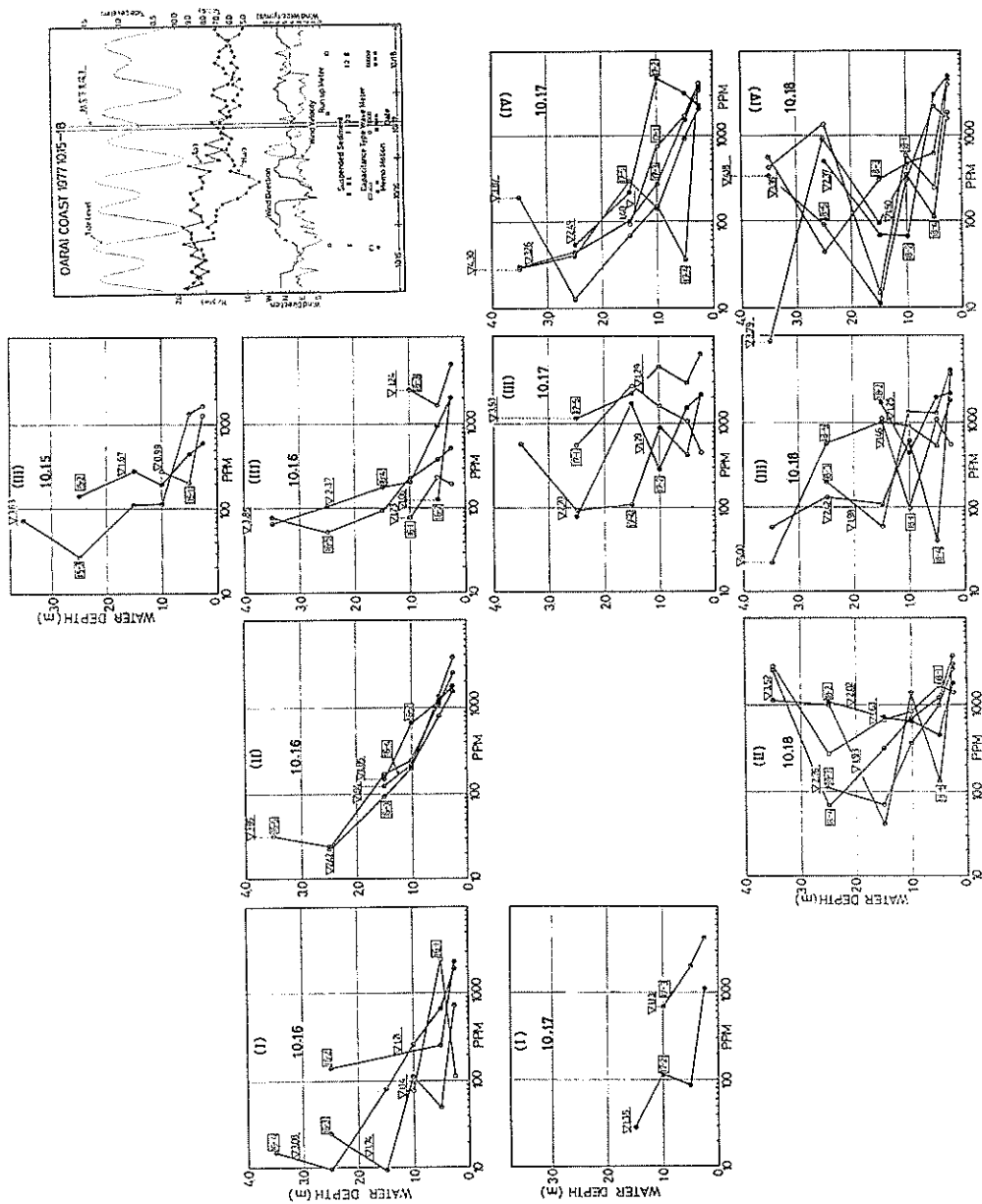


図-13 浮遊砂濃度の鉛直分布

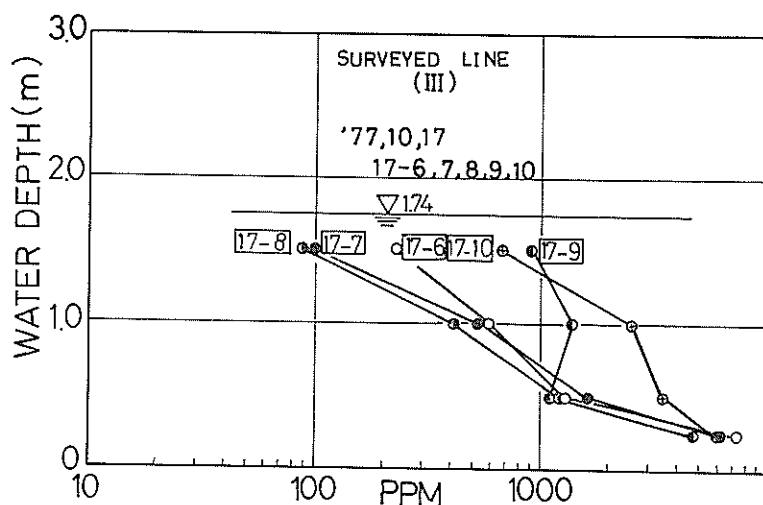


図-14 固定地点で繰り返し採取した浮遊砂の鉛直濃度分布

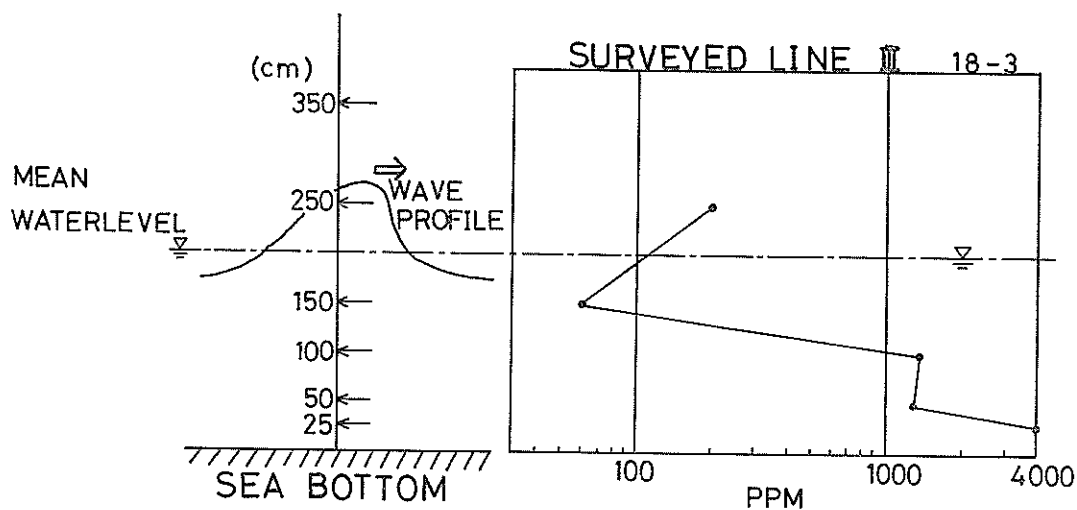


図-15 表層濃度が高い一例 (Ⅲ, 18-3)

浮遊砂濃度の増大は上層に現われると言える。

図-14は、測線Ⅲ上の一点(図-12の17-6,7,8,9,10)で繰り返し採水した結果である。採水地点がちょうどサーフゾーンの内側の離岸流の中に位置しているため全体に濃度が高い。底面近くの濃度は、5回ともほぼ同じ、5,000ppm~7,000ppm程度であるのに対し、上層に向うにつれ濃度のバラツキが大きくなり、一番上層に近いところで90ppmからその10倍の900ppmまで広がる。このバラツキは、採水時間がそれぞれ3~5秒りで波の周期より短いものであるため、採水が波の位相のそれぞれ異なる状態でおこなわれたことによる。言い換えると、浮遊砂濃度は表面近くで波の位相と関連して変化す

るのに対し、底面近くでは位相に関係なくほぼ一定となっている。

図-13によると、浮遊砂の採水が大洗検潮記録より推定される平均水面より高い位置にある採水孔より、しばしばおこなわれている。これは図-15の左図に示すように、波の峰が通過するとき一時的に水面が上昇するためと考えられる。このように峰の通過時に採水された地点を図-16に白丸で示す。サーフゾーン内においては、白丸の頻度が60%程度であり、採水時間が3~5秒から考えてもっともらしい割合となっている。また図-13では、表面近くの濃度がしばしば急激に高くなることが認められ、その代表例として図-15の右図に測線Ⅲの18-3(図

大洗海岸における砕波帯内の総合観測

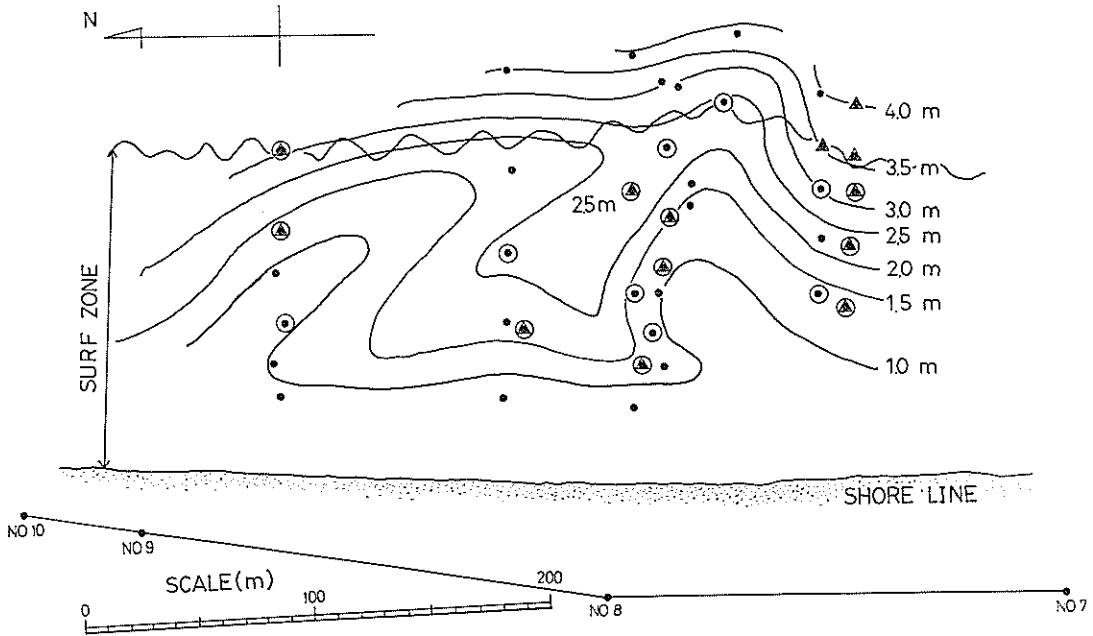


図-16 波の峰の通過時の採取地点および表層濃度の高い地点

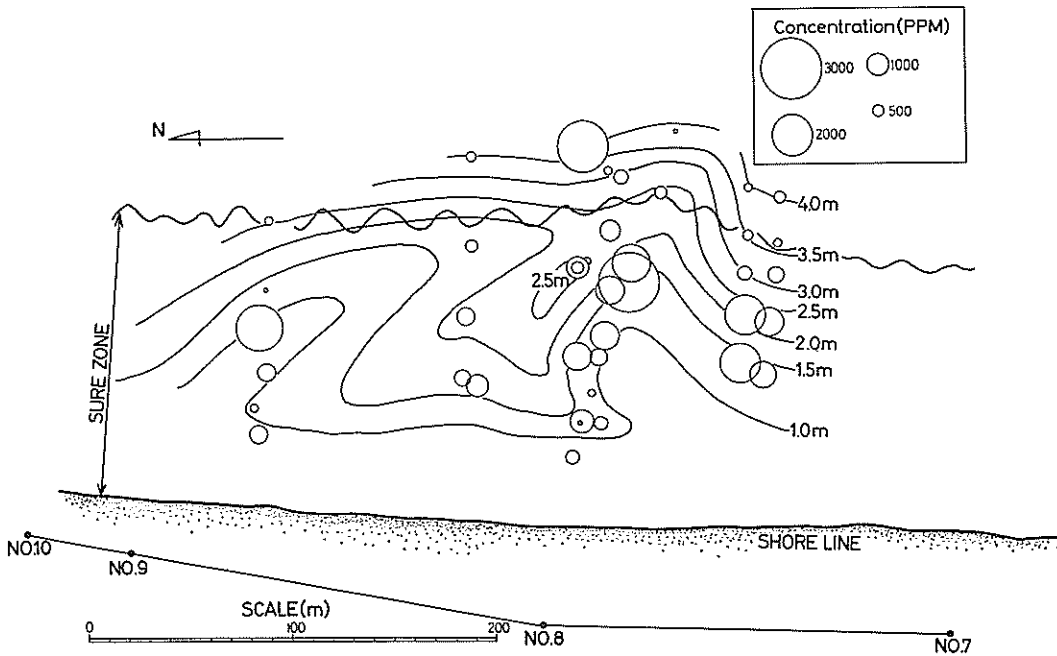


図-17 浮遊砂の鉛直方向平均濃度

-12) における鉛直濃度分布を示す。この傾向がある地点を図-16の中に三角形で示すと、サーフゾーン内においては、三角形はすべて白丸の中に位置している。すな

わち、表面近くの濃度が急激に高くなるのは、すべて波の峰が通過したときである。同じ現象は、茨城県阿字ヶ浦にある建設省の漂砂観測用さん橋上から足下の波の峰

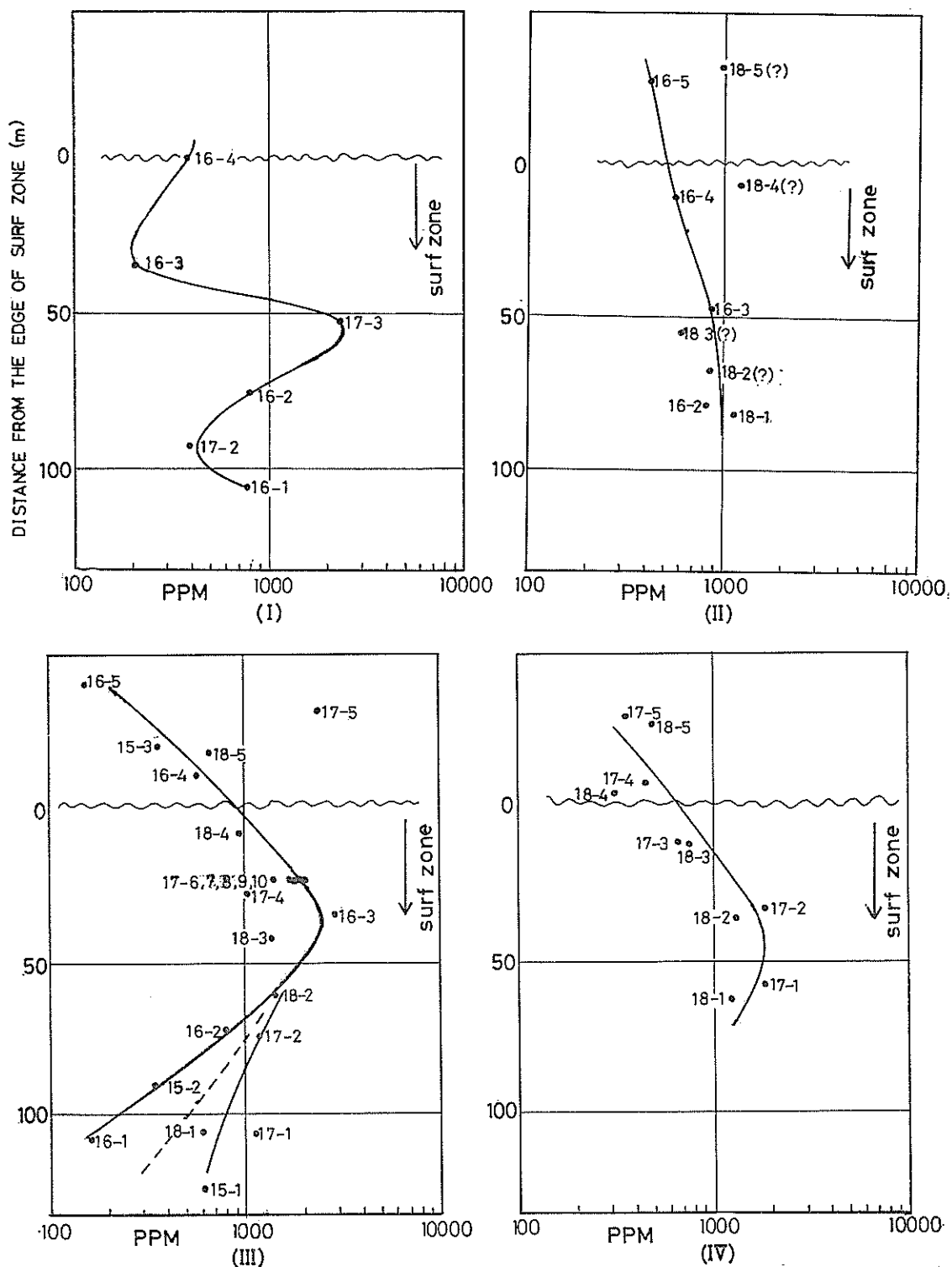


図-18 測線別の平均濃度の岸沖方向分布

の通過を目視したとき観察される(口絵写真-2, a, b, c)。これらのことより、サーフゾーン内の底質の巻き上げは、峰が通過するとき底面近くから峰に向かって強い補償流が生じるときに発生するものと推察される。なお、図-16の測線IVのサーフゾーン外に三角形だけの地点があるけれども、これは水深が深く平均水面が一番高い採水孔よりさらに高いため波の峰の通過の判別ができない地点である。

### 6.2 浮遊砂濃度の岸沖分布と海浜流・海底地形

各地点の浮遊砂濃度の鉛直分布を積分し、水深で割ると平均濃度が求まる。この際、前述したように、峰の通過時に採水した濃度は表面付近で急激に高くなる傾向があるので積分範囲を底面から平均水面までに限定した。

図-17に各地点、の平均濃度を円の大ききで区別して示す。測線Iでは斜めに張り出した浅瀬上で高くその沖と陸側の深いところではともに低くなっている。測線IIでは一様に水深が深く、濃度が低い。測線IIIに沿った断面は沖から水深が浅くなるにつれ濃度が高くなり、その陸側で水深が再び深くなるにつれ低くなる。測線IVは沖から単調に水深が浅くなり、濃度もそれにつれて高くなる。一般に水深が浅くなると浮遊砂濃度は高くなる傾向があるため、各地点の平均濃度と水深の積、言い換えると、水柱に含まれる浮遊砂の絶対量を求めるとある程度一様化されるけれども、依然として水深の浅いところは浮遊砂の絶対量も大きい。

各測線の平均濃度を横軸にとり、サーフゾーンの端からの距離を縦軸にとって図-18に示すと、各測線ごとの浮遊砂の岸沖方向分布の特徴が明瞭になる。測線Iではデータ数が少ないので、曲線はすべての点を通るように描かれている。したがって分布曲線の信頼度は他の測線に較べていくぶん低いけれども、傾向としては、17-3すなわち浅瀬上に極端に高濃度の地点が存在し、しかも、サーフゾーン内に、高濃度の地点をはさんで濃度が極小になる地点が2か所存在する。測線IIでは、18日の採水地点が18-1を除いて測定されていないので、概略地点にプロットしてあり、その横に(?)印を示している。分布曲線は16日のデータに基づいて描いてある。16日、18日ともに、濃度は位置に関係なくほぼ一様で1000ppm以下である。この測線が含まれる地域は図-4の流況パターンを見てもわかるように、フロートが流入しておらず流速は小さいと考えられる。測線III上では、最も数多くの地点で浮遊砂濃度の測定がおこなわれており、分布曲線の信頼度はもっとも高い。濃度の最高地点はサーフゾーン端から陸側約35mのところであり、3000ppmに達する。濃度最高点を中心に、沖と陸へ向って濃度はほぼ同

じ割合で減少する。ただし沖側では17-5を除いて濃度のバラツキが少ないのに対し、陸側では観測日によって濃度が変化している。これは、汀線に近いほど潮位変動の影響が顕著に現われるためと考えられる。なお、沖の17-5で異状に高濃度になっているのは、採水量が極端に少なく正常に採水されなかったことによる(付録、浮遊砂データ参照)。測線IVでは、17, 18日ともに同じ傾向を示す濃度分布となっており、濃度のピークはサーフゾーン端から約50m陸側になっている。測線IIIと測線IVで濃度のピーク位置が異なるのは、3.で述べたように測線IIIが循環流の沖向き流れ(離岸流)の地域に、測線IVが陸向きにもどる流れの地域にそれぞれ位置しているため、流れの影響を受けて前者では沖側へ後者では陸側へピークがシフトした結果である。測線IIIではサーフゾーンが広がっているため、実海域における測線III, IVのピーク地点間距離はさらに遠のく。また測線IIIより流速の遅い測線IVでは、濃度のピーク値が1700ppmであり測線IIIのピークの約半分強である。

浮遊砂採取をおこなった地域は沿岸方向にわずか約300mの範囲であるけれども、図-18 I~IVに示されるように、その傾向は測線によって非常に異なり、主に海底地形と海浜流の影響を受けている。したがって、このような観測データ(付録にすべて収録)は、海浜変形あるいは汀線変化の数値予測シミュレーションモデルにおいて、サーフゾーン内の浮遊砂濃度分布を考慮する際に、きわめて重要な基礎データとなるであろう。

## 7. Swash zone における遡上波の特性と入射波との相互関係

### 7.1 遡上波の統計的特性

遡上波観測地点は、No. 2 地点の手前の汀線付近にある(図-8)。図-19に、No. 2 地点と観測地点を結ぶ方向の断面図を示す。前浜勾配は1/10、砂の中央粒径は0.27mmである。

図-20は、10月18日に約50分間に1コマ/1秒で撮影した8mmメーションフィルムから読み取って得られた遡上波とNo. 2 地点の波形データの一部である。ただ

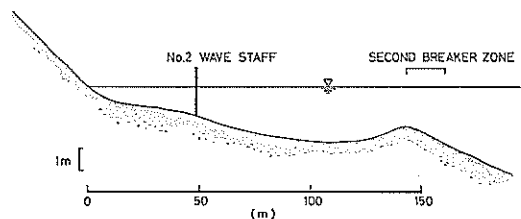


図-19 遡上波観測地点の断面図



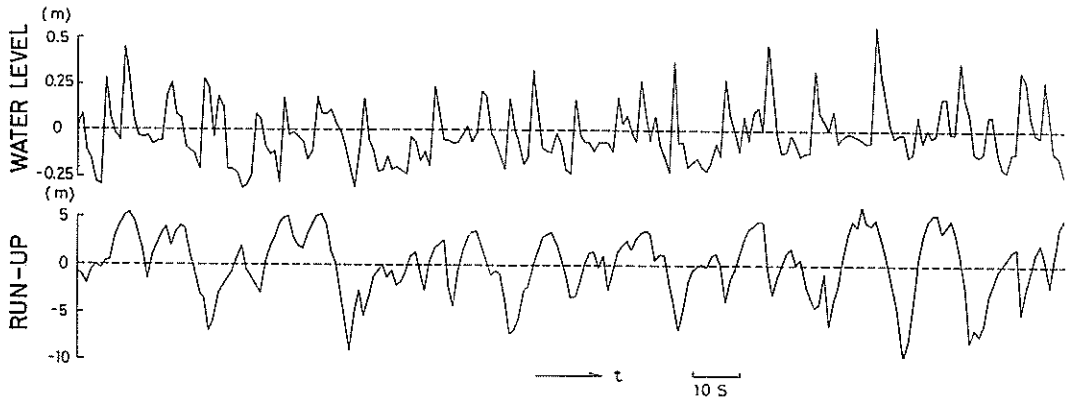


図-20 遡上波形と No.2 地点の波形

表-1 入射波と遡上波の統計処理結果

	$H_{1/13}$ (m)	$T_{1/13}$ (s)	$H_{1/16}/H_{1/13}$	$H_{1/16}/\bar{H}$	$H_{1/13}/\bar{H}$	skewness	波数
沖波	1.25	5.94	1.22	1.86	1.52	-0.0556	391
No.2 地点の波形	0.62	8.61	1.23	1.86	1.51	0.9963	474
遡上高さ $R$	5.44	11.71	1.22	2.03	1.66	-0.3455	269
遡上波高 $R_H$	11.53	16.20	1.24	1.89	1.52	-0.3455	269

し、相互相関の計算から得られる12秒の時間遅れだけ波形データをずらしてある。図より遡上波は、一般的に最高遡上地点付近でゆるやかな弧を描く放物線型となり、逆に最下地点付近では下向きにとがった形を示す。これに対応して skewness も表-1に示すように -0.345 と負の値を示している。また、遡上波形と No.2 地点の波を対比して見ると、No.2 地点の連続した波がしばしば相互にカップリングしたような形で遡上波形に現われることが認められる。このため、これらの波形からゼロアップクロス法で有義周期を計算すると、No.2 地点では  $T_{1/13}=8.6\text{s}$  であるのに対し、遡上波は  $T_{1/13}=16.2\text{s}$  と約2倍になる。したがってこのような場合には、引続く遡上波間で非線型相互干渉<sup>21)</sup>が生じていることが推察される。ただし、今回のように、遡上波を斜面に沿う方向で測定した場合には、現象が物理的に全く線形であっても(すなわち、上述の非線形相互干渉が存在しなくても)、固定点で鉛直変位を測定する場合とは異なって見かけの非線形性が現われるから、実際的非線型相互作用以上に非線型効果を強く記録するという事に留意せねばならない。

通常、構造物のような非透過性の斜面への遡上波の統計的分布特性を解析する際には、入射波および遡上波の双方に関して Rayleigh 分布を基準にして議論すること

が多い<sup>22), 23), 24)</sup>。そこで、ここでも遡上高さの Rayleigh 分布への適合性について調べてみた。ただし、測定上の困難から、遡上高さは遡上波形データの平均値を基準としており、それからゼロアップクロス法で各遡上波の遡上高さを求めた。

図-21は、サンプル数 269 から得られる遡上高さの出現確率分布曲線である。図中に点線で示した Rayleigh 分布の理論曲線と比べると、そのピーク位置が右側へずれて、理論上のピーク位置ではむしろ値が小さくなるというかなり歪んだ形となっていることがわかる。このとき、図中に示すように、 $\chi^2$  検定値(10階級分割)が40.3 となることから、Rayleigh 分布の仮説は 99.9% 以上の確率で棄却される。一方、Rayleigh 分布への適合性は、次のような代表波高値の間の関係と比較することによって検討することもできる。すなわち、波高分布が Rayleigh 分布するときには、 $H_{1/16}, H_{1/13}, \bar{H}$  の間で、理論的に

$$H_{1/16}=1.27H_{1/13}=2.03\bar{H}$$

$$H_{1/13}=1.6\bar{H}$$

の関係が成り立つ。これらの値と表-1に示した値とを比べると、かなり良く一致していると言える。このような結果は、図-21で出現確率分布曲線がそのピーク位置から右側ではかなり Rayleigh 分布に近くなっていること

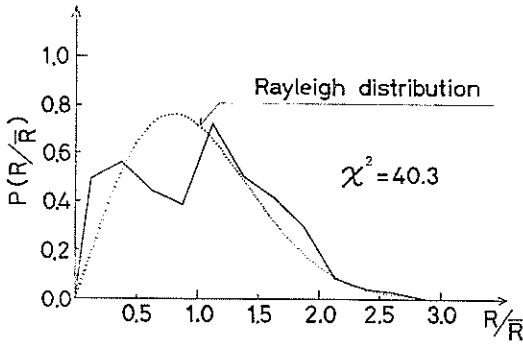


図-21 遡上高の発生確率分布

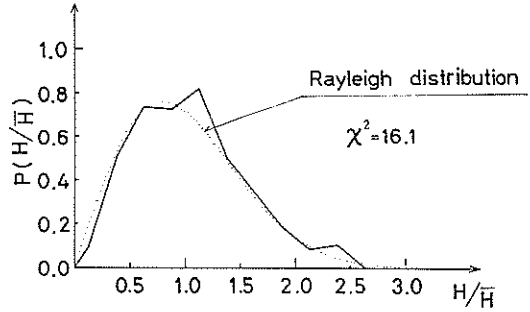


図-24 沖波波高の発生確率分布

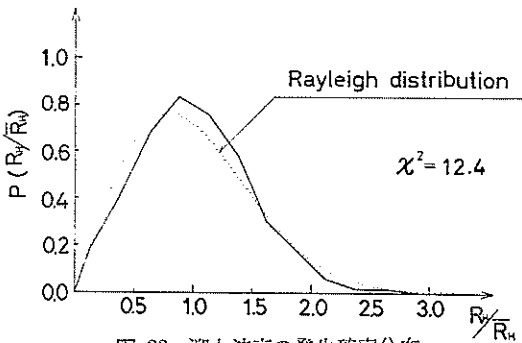


図-22 遡上波高の発生確率分布

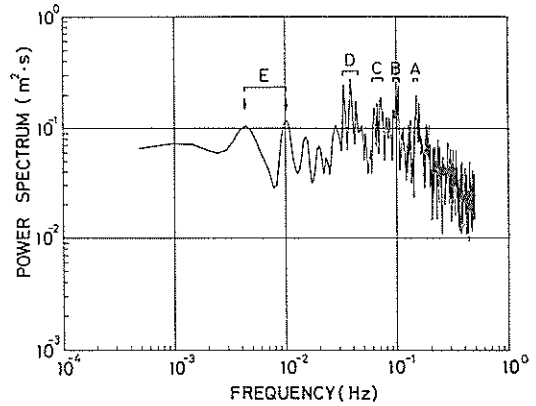


図-25 No. 2 地点の波のパワースペクトル

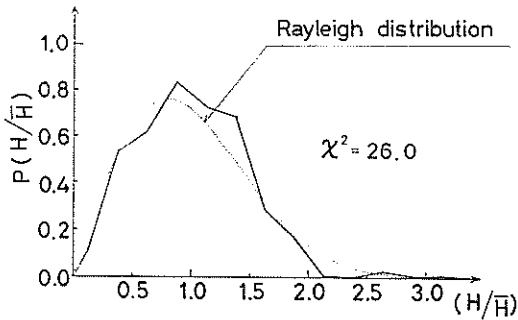


図-23 No. 2 地点の波高の発生確率分布

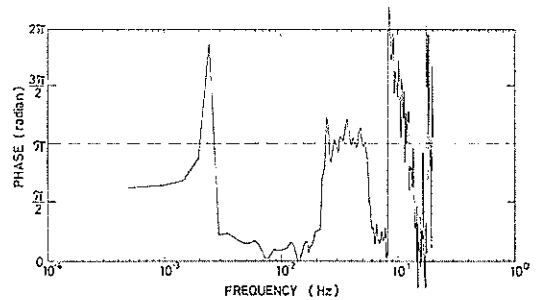


図-26 No. 2 地点の波と遡上波の位相差

と対応していると考えられる。

図-22は、遡上波高  $R_H$  についての出現確率分布を示している。この場合には、 $\chi^2=12.4$  となり、有意水準 5%としたときの  $\chi^2_{0.05, 16.92}$  の値から考えて、Rayleigh 分布に十分近くなっていると言える。したがって、全体の分布形状に関しては、遡上高よりも遡上波高の方が Rayleigh 分布に近いという結果になる。

図-23, 24は、それぞれ、No. 2 地点及び沖波波高の出現確率分布曲線である。このうち沖波に関しては、 $\chi^2=16.1$  であり Rayleigh 分布にかなり近いと判断できるが、No. 2 地点での波高では、 $\chi^2=26.0$  であり、99%の

確率で Rayleigh 分布からはずれていると言える。

図-21~24を通して見ると、遡上高、遡上波高及び入射波の分布特性はすべてそのピーク位置が理論値に比べて右側にシフトした形になっていることが分かる。特に、No. 2 地点と遡上波の波高の分布特性がかなり似通っているのは興味深い結果である。

### 7.2 遡上波と入射波の相互関係

No. 2 地点の波浪と遡上波の同時測定で得られた 1 秒間隔、2,048 個の波形データに基づくパワースペクトル、位相差、コヒーレンスの計算結果について述べる。

図-25は、No. 2 地点のパワースペクトルである。ス

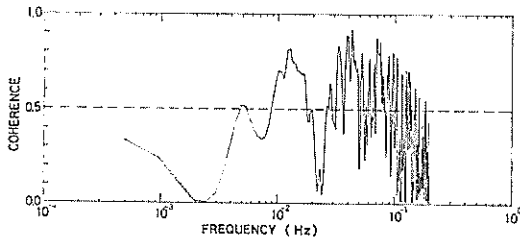


図-27 No.2 地点の波と遡上波のコヒーレンス

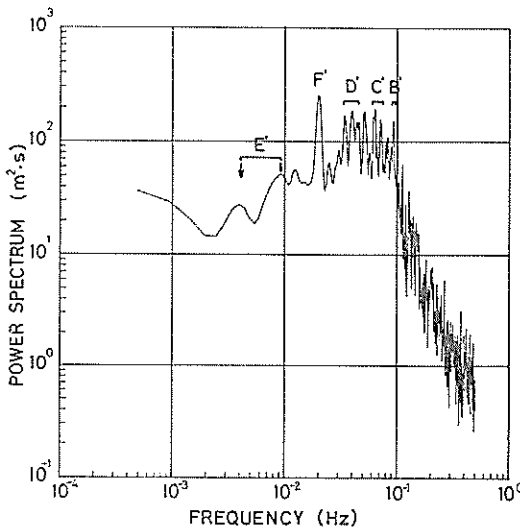


図-28 遡上波のパワースペクトル

ベクトル中のピークは、多少の凹凸を無視すれば数か所(図中A~E)に存在することがわかる。

図-26は、遡上波とNo.2地点の波の位相差であるが、これによると、全体をほぼ二つの領域に分けることができる。すなわち

- (a) 定常波領域…… $[4 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-2} \text{ Hz}]$  の位相差が、 $0$  か  $\pi$  のどちらかをとる領域。
- (b) 進行波領域…… $[8 \times 10^{-2} \text{ Hz 以上}]$  の位相差が連続的に変化する領域。

である。このような分割は、進行波の場合、波の分散性によって各成分波ごとの波速が連続的に変化するため、任意の2点間のデータの位相差もそれに応じて連続的に変化するのに対し、定常波の場合には、位相差は $0$  か  $\pi$  のどちらかの値をとるということに基づいている。ここで進行波領域の低周波数側に定常波領域がくるのは、長周期波の場合、波形勾配が小さくなるため、斜面での反射率が高くなるということによっている。

図-25中のA、Bの2つのピークは、上述の分類から言えば(b)の進行波領域に入り、これらのピークが入射波

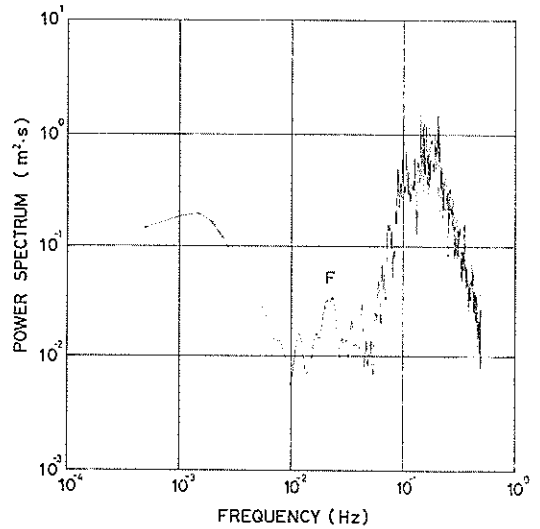


図-29 沖波のパワースペクトル

に直接関連したものであることが分かる。定常波領域内のEのピークは、その周期(3.7分、1.5分)から考えて、surf beatのような長周期変動によるものと考えられる。

図-27は、二地点間のデータの coherence をとったものである。 coherence は、各周波数成分ごとの相関の程度を示すと同時に、線形性の程度も表わしている。すなわち、線形性が強くなるほど coherence は1に近くなる。図-27によると、 coherence が低くなるのは次の4つの領域である。

- ① 0.01Hz より低周波数側
- ② 0.02~0.025Hz 付近
- ③ 0.055~0.06Hz 付近
- ④ 0.1Hz より高周波数側

これらの中で、②と③の部分は、図-26と対応させると明らかなように、丁度位相差が $0$  から  $\pi$  へ(あるいはその逆)と飛躍している部分と対応しており、No.2の位置がこれらの周波数の定常波の節に一致している状態となっていることが分かる。このような場合には、No.2の位置での波のパワースペクトルのレベルが低下する(図-25)ので、相対的にノイズのレベルが大きくなり、従って coherence が低下するものと考えられる。同様なことは、乱れによるエネルギー逸散によって高周波数成分のエネルギーレベルが低下した場合にも起こり得る。④の領域中の高周波数側の部分で coherence が低下しているのは、おそらくこのような原因によっているものと考えられる。しかしながら、④の領域中の低周波数部分(0.1Hzに近い部分)及び①の領域では、非線形性の

増大によるコヒーレンスの低下の可能性が強い。

図-28に示す結果は、遡上波のパワースペクトルであり、図中のB', C', D', E'は、図-25中のピークに対応するものである。この中で、B', C', D'のピークは比較的高い値を示しているが、これは、波のB, C, Dのピーク値自体が大きいこと、及び各々の点でのコヒーレンスの値が高いということによっている。E'のピーク値は、コヒーレンスが若干低いことに対応して小さくなっている。

遡上波のパワースペクトルにおいては、進行波領域中のA, Bの2つのピークは減少傾向にある。特に、高周波数側のAのピークはほとんど消滅しており、遡上波には寄与していない。事実、その付近のコヒーレンスはかなり低くなっている。これは、7.1で述べたような遡上波の代表周期( $T_{1/3}=16.2s$ )より短い周期をもつ入射波に生ずる非線形的な相互干渉によるものと考えられる。

最後に、遡上波のパワースペクトル中のF'で示される最大のピークについて述べる。これに対応するピークは、No.2地点での波のパワースペクトル(図-25)においては明確には現われてきていない。これは、F'のピーク周波数に対応する定常波がちょうどNo.2地点に節を持つようになっているためと考えられる。このことを裏づけるように、図-29に示した沖波のパワースペクトルには、図中にFで示す位置に、F'に対応するピークがかなり明瞭な形で現われている。

以上のように、遡上波のスペクトル上では、定常波領域内のF, Dで示される二つの明瞭な定常波がかなり大きな値を示しており、これらの定常波が波の遡上に比較的大きな役割を有していることが理解された。なお、全体に遡上波のエネルギーレベルが非常に高いのは、遡上波形データとして斜面に沿って測定した値をそのまま使用したことによる。

## 8. むすび

本報告で述べられている。現地観測の成果を取りまとめると以下のとおりである。

### 〔海浜流について〕

(1) 波の入射角、第1砕波帯の砕波発生確率、汀線形状等の沿岸方向分布の物理的変曲点に、離岸流を伴う大きな時計回りの循環が存在する。

(2) この循環は、同時に存在する沿岸流の影響を受けて流下方向にふくらんだ形状をもち、しかもそのスケールは時間とともに変動する。

(3) 循環内のフロートは、2回にわたってその流れから外に放出される。そのとき離岸流発生位置の手前の水

位は、沿岸流の上手側の水位より10cm程度高い。

(4) 全域にわたって、水位が同時に高くなった数分後に沿岸流は消滅する。

(5) 後浜に建設されている不連続消波堤は、前面海浜にその影響を与へず。すなわち、開口部に一致して離岸流が発生し、その位置には深い溝が形成されている。

### 〔海底地形について〕

(6) 海底地形は沿岸流の影響を受けると同時に循環流の影響も受けている。循環流の沖へ向う流れ(離岸流)に沿って溝が形成されているのに対し、離岸流頭下および岸へもどる流れの生じている地域には堆積地形が形成されている。

### 〔波浪について〕

(7) サーフゾーン内では、波のエネルギーは低周波数側に移行する。高周波数成分の減少は海底の微地形と関連し、急激に水深が浅くなったり前面に浅瀬があると減少割合が大きくなる。

(8) 平均水面は±5cmの振幅で1~2分周期の変動をしている。しかも、循環流からもっとも離れたNo.4地点の水面はさらに15分程度の大きな周期変動をしており、この長周期変動と海浜流の非定常性は密接な関係がある。

### 〔浮遊砂について〕

(9) 底面近くの濃度は観測地点、海象状況にかかわらずほぼ1,000ppm~数千ppmの範囲であるのに対し、中層から表層近くにかけての濃度は、波高が高くなるにつれ増大する傾向にある。

(10) 同一点における浮遊砂濃度は、底面近くで波の位相に関係なくほぼ一定であるのに対し、上層に向うにつれ波の位相差に起因するバラツキが大きくなり、表面近くの最大濃度は最小濃度の約10倍となる。また波の峰が通過した際、表層濃度は一時的に急激に高くなる。

(11) 浮遊砂平均濃度の岸沖方向分布の形状は、海底地形と海浜流に左右される。すなわち、水深が浅くなるにつれ濃度は高くなり、特に浅瀬上で顕著である。水深が全体に深く流れが弱い地域では概して低濃度でほぼ一様である。循環流の沖向き流れ(離岸流)の発生している地域では高濃度でかつ流れの影響を受け、濃度のピーク地点は沖側にシフトする。一方もどり流れの地域では反対にピーク地点が陸側にシフトしている。

### 〔swash zone での波の遡上について〕

(12) 遡上高に関する出現確率分布の、Rayleigh分布への有意な適合性は得られなかった。

(13) サーフゾーン内の波浪は、周波数空間上で定常波領域と進行波領域の二つに分割され、定常波領域中の波

動成分の遡上波への寄与が大きい。

謝 辞

我々の現地観測では、常に数多くの方々の協力を受けている。本研究においても、茨城県三浜港湾事務所の荒木田所長、鶴川氏をはじめとする皆様および第二港湾建設局横浜調査設計事務所各位には、観測実施時はもちろんのこと、実施前後数か月にわたり心こまかな御協力をいただいた。観測時にはさらに現地において、海水汚染水理研究室市原室長、防波堤研究室大里技官、協和商工株式会社の方々、日本テトラポッド株式会社佐々木氏等の御協力をいただいた。また、本論文のとりまとめに際しては海洋水理部合田部長から有益な助言をいただいたことをここに記し、心からの謝意を表したい。

なお、波の統計処理は波浪研究室開発の電算プログラムを使用した。

参 考 文 献

- 1) たとえば Longuet-Higgins, M.S. and R.W. Stewart: Radiation Stress in Water Waves—a physical discussion with applications, *Deep Sea Res.*, 11, 1964, pp. 529~562,
- 2) 堀川 清司・佐々木民雄・他: 海浜流に関する研究 (第I報~第V報), 第18回, 第21回, 第22回, 第23回, 第24回海岸工学講演会論文集, 1971, 1974, 1975, 1976, 1977.
- 3) 橋本 宏・宇多高明: 阿字ヶ浦の海浜過程 (第1報~第3報), 第23回, 第24回, 第25回海岸工学講演会論文集, 1976, 1977, 1978
- 4) 田中則男: 碎波帯内における浮遊砂分布の一観測例とその観測方法について, 第22回海岸工学講演会論文集, 1975年, pp. 319~324.
- 5) 田中則男・小笹博昭・加藤一正: 防波堤周辺における海浜流の研究—仙台新港南海岸における観測例一, 第24回海岸工学講演会論文集, 1977年, pp.605~609.
- 6) 田中則男・小笹博昭・加藤一正・柳島慎一・小笠原昭・小山内英雄: 碎波帯内諸現象の総合観測システムと観測例, 港湾技術研究所報告, 第17巻, 第1号, 1978年3月, pp. 57~87.
- 7) 田中則男・加藤一正: 大洗海岸における海浜流, 碎波帯内の波の観測, 第25回海岸工学講演会論文集, 1978年, pp. 232~236.
- 8) Bowen, A.J. & Inman, D.L.: Rip Currents, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 74, No. 23, 1969. 10., pp. 5479~5490.
- 9) 井島武士・佐藤昭二・青野 尚・鶴川義郎: 茨城県磯浜港海岸の漂砂について, 第8回海岸工学講演会講演集, 1961, pp. 163~175.
- 10) 東那珂地区建設事務所: 磯浜港調査報告書, 第1号, 1959, 47 p.
- 11) 荒木田哲也・鶴川義郎・水村和正: 防波堤背後の流況と汀線変化(1), 第25回海岸工学講演会講演集, 1978, pp. 199~203
- 12) 茨城県: 大洗港調査報告書, 1978, 175 p.
- 13) 田中則男・小笹博昭・小笠原昭: 海浜変形調査資料 (第1報)—航空写真による汀線変化の解析 (東日本編)一, 港湾技研資料, No. 163, 1973, 95 p.
- 14) Birkemier, W.A. & Dairymple, R.A.: Nearshore Water Circulation by Wind and Waves, Symposium on Modeling Techniques, Vol. II, ASCE, 1975. 9., pp. 1032~1081.
- 15) 田中則男・加藤一正: 阿賀野川東海岸における沿岸砂州の特性について, 第23回海岸工学講演会論文集, 1976, pp. 274~278.
- 16) Battjes, J. A.: Surf Similarity, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., Vol. 1, ASCE, 1974, pp. 466~480.
- 17) 佐々木民雄: 海浜流の構造に関する野外的研究, 東京大学大学院工学系研究科学学位論文, 1974, 240p.
- 18) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・桜本 弘: 海浜流に関する研究 (第3報)—海浜流系の規模一, 第22回海岸工学講演会論文集, 1975, pp. 127~134
- 19) Ingle Jr., J.C.: The Movement of Beach Sand—an Analysis using Fluorescent Grains, developments in sedimentology 5, Elsevier Publishing Co., 1966, p. 79, 221 p.
- 20) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・桜本 弘: 海浜流に関する研究 (第2報)—海浜流の現地観測一, 第21回海岸工学講演会論文集, 1973, pp. 347~354.
- 21) 例えば, Waddell, E.: 自然海浜における打上げ波の特性に関する現地観測, 第20回海岸工学講演会論文集, 1973, pp. 545~551.
- 22) Battjes, J.A.: Run-Up Distribution of Waves Breaking on Slopes, Harbors and Coastal Eng. Div., ASCE, WW1, 1971, pp. 91~114
- 23) 榎木 享・岩田好一朗・森野彰夫: 緩斜面上への波の遡上特性について, 第23回海岸工学講演会論文集, 1976, pp. 164~169.
- 24) Kamphuis, J.W. & Mohamed, N.: Runup of Irregular Waves on Plane Smooth Slope, Jour. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Div., ASCE, WW2, 1978, pp. 135~146.

大洗海岸における砕波帯内の総合観測

付 録

浮遊砂データ

日付 (月日)	測線	測点	採水 孔高 (cm)	採水 量 (cc)	浮遊砂 重量(g)	濃度 (ppm)	時刻 時分	平均 水深 (m)	日付 (月日)	測線	測点	採水 孔高 (cm)	採水 量 (cc)	浮遊砂 重量(g)	濃度 (ppm)	時刻 時分	平均 水深 (m)					
10.15	III	15-1	25	450	0.583	1,296	16: 25	0.99				50	615	0.022*	36							
			50	240	0.05	208						100	600	0.128	213							
			100	125	0.035	280						150	960	0.119	124							
	III	15-2	25	750	0.453	604	16: 40	1.67				II	16-5	25	500			1.209	2,418	15: 13	3.85	
			50	860	0.394	458						50		290	0.015*			52				
			100	780	0.154	197						100		565	0.139			246				
	III	15-3	150	760	0.218	287	16: 52	3.63				III	16-1	25	810			0.161	199	10: 35	1.23	
			250	110	0.016	145						50		900	0.213			237				
			25	730	1.214	1,663						100		970	0.076			78				
	10.16	I	16-1	50	980	1.309	1,386	16: 16				1.14	III	16-2	25			390	0.793	2,033	10: 45	1.06
				100	890	0.1	112						50		55			0.007	127			
				150	740	0.082	111						III		16-3			25	740	3.566	4,819	10: 57
250		865	0.023	27	50	745	1.256	1,686														
350		760	0.055	72	100	520	0.34	2,429														
I		16-2	25	660	1.508	2,285	16: 25	1.21	III	16-4	25	820	1.672	2,039	11: 10	2.37						
			50	150	0.038	253			50		510	0.011*	22									
			250	50	0.007	140			100		825	0.17	206									
I		16-3	25	575	0.419	729	16: 37	1.74	III	16-5	25	855	0.441	516	11: 25	3.85						
			50	435	0.022	51			50		700	0.099*	141									
			100	770	0.088	114			100		860	0.192	223									
I		16-4	150	960	0.009	9	16: 50	3.08	III	17-2	25	710	0.797	1,123	9: 33	1.35						
	250		40	0.001	25	50			820		0.072	88										
	25		560	1.072	1,914	100			615		0.071	115										
II	16-2	50	140	0.093	664	14: 38	1.85	I	17-3	25	375	1.609	4,290	9: 46	1.13							
		100	700	0.182	260			50		240	0.004*	17										
		150	920	0.074	80			100		230	0.158	687										
II	16-3	250	830	0.008	10	14: 50	2.42	III	17-6	25	425	3.099	7,292	12: 05	1.74							
		350	130	0.002	15			50		305	0.389	1,275										
		25	770	1.347	1,749			100		455	0.266	585										
II	16-4	50	420	0.035*	83	15: 03	1.91	III	17-7	25	460	2.822	6,135	12: 08	1.74							
		100	800	0.538	673			150		635	0.144	227										
		150	960	0.142	148			25		530	0.822	1,551										



田中則男・加藤一正・灘岡和夫・小山内英雄・近藤隆道

日付 (月日)	測線	測点	採水 孔高 (cm)	採水 量 (cc)	浮遊砂 重量(g)	濃度 (ppm)	時刻 時分	平均 水深 (m)	日付 (月日)	測線	測点	採水 孔高 (cm)	採水 量 (cc)	浮遊砂 重量(g)	濃度 (ppm)	時刻 時分	平均 水深 (m)				
	III	17-8	50	345	0.552	1,600	12: 10	1.74	10.18	II	17-4	50	750	1.193	1,591	15: 44	2.87				
			100	520	0.278	535						100	495	0.134	271						
			150	485	0.049	99						150	835	0.083	99						
			25	520	2.478	4,765						250	520	0.022	42						
			50	330	0.396	1,200						350	245	0.007	29						
			100	435	0.179	411						25	390	1.511	3,874						
	III	17-9	150	430	0.038	88	50	390				0.014	36								
			25	480	2.202	4,796	100	470				0.071	151	12: 15	1.74						
			50	405	0.452	1,116	150	830				0.057	69								
			100	440	0.613	1,393	250	550				0.007	13								
			150	560	0.513	916	350	610				0.115	189								
			25	80	0.479	5,988	25	440				0.968	2,200					12: 25	1.74		
50	200	0.685	3,425	50	595	0.564	948														
100	140	0.353	2,521	100	355	0.051	144														
150	360	0.244	678	150	700	0.207	295														
25	295	0.137	464	250	440	0.018	41														
50	360	0.387	1,075	350	560	0.016	29														
III	17-1	100	285	0.459	1,611	13: 13	1.29	13: 50	II	18-1	25	370	0.521	1,408	13: 50	1.63					
		150	90	0.244	2,711						50	380	0.631	1,661							
		250	40	0.022	550						100	500	0.42	840							
		25	485	1.032	2,128						150	330	0.225	632							
		50	380	0.591	1,555						250	40	0.011	275							
		100	440	0.125	284						350	100	0.275	2,750							
III	17-2	150	245	0.418	1,705	13: 24	1.29				14: 01	II	18-2	25			505	0.892	1,766	14: 01	2.02
		250	90	0.007	78									50			260	0.118	453		
		25	295	0.623	2,112									100			420	0.277	659		
		50	130	0.055	423									150			390	0.277	710		
		100	465	0.42	903									250			260	0.29	1,115		
		150	385	0.043	112									25			425	1.114	2,621		
III	17-4	250	270	0.025	93	13: 51	2.70	14: 11	II	18-3				50	315	0.314	997	14: 11	2.76		
		350	400	0.229	573									100	460	0.168	365				
		25	40	0.253	6,325									150	350	0.025	71				
		50	45	0.134	2,978									250	280	0.032	114				
		100	55	0.248	4,509									25	320	1.152	3,600				
		150	120	0.268	2,233									50	310	0.373	1,203				
IV	17-5	250	345	0.398	1,154	14: 00	3.93				14: 21	II	18-4	100	380	0.267	703			14: 21	1.93
		25	565	2.335	4,133									150	470	0.15	319				
		50	670	1.189	1,775									250	320	0.022	69				
		100	260	0.197	758									350	70	0.178	2,543				
		150	75	0.007	93									25	130	0.375	2,885				
		25	495	1.13	2,283									50	200	0.027	135				
IV	17-1	50	720	2.335	3,243	15: 11	1.40	14: 34	II	18-5				100	265	0.366	1,381	14: 34	3.52		
		100	505	2.451	4,853									150	335	0.014	42				
		150	830	0.18	217									250	270	0.276	1,022				
		250	295	0.016	54									350	90	0.103	1,144				
		25	430	1.516	3,526									25	450	0.249	553				
		150	830	0.18	217									11: 01	1.46						

大洗海岸における砕波帯内の総合観測

日付 (月日)	測線	測点	採水 孔高 (cm)	採水 量 (cc)	浮遊砂 重量(g)	濃度 (ppm)	時刻 時分	平均 水深 (m)
			50	395	0.427	1,081		
			100	425	0.041	96		
			150	80	0.091	1,138		
	III	18-2	25	230	0.503	2,187	11: 13	1.25
			50	265	0.526	1,985		
			100	110	0.048	436		
			250	80	0.136	1,700		
	III	18-3	25	365	1.482	4,060	11: 24	1.98
			50	280	0.369	1,318		
			100	385	0.52	1,351		
			150	455	0.027	59		
			250	40	0.008	200		
	III	18-4	25	445	1.631	3,665	11: 35	2.42
			50	100	0.004	40		
			100	410	0.255	622		
			150	380	0.041	108		
			250	270	0.036	133		
			350	155	0.009	58		
	III	18-5	25	230	0.42	1,826	11: 47	4.00
			50	140	0.075	536		
			100	305	0.282	925		
			150	420	0.441	1,050		
			250	390	0.223	572		
			350	270	0.006	22		
	IV	18-1	25	415	1.673	4,031	9: 35	1.50
			50	510	0.123	241		
			100	465	0.271	583		

日付 (月日)	測線	測点	採水 孔高 (cm)	採水 量 (cc)	浮遊砂 重量(g)	濃度 (ppm)	時刻 時分	平均 水深 (m)
			150	275	0.004	15		
			250	80	0.109	1,363		
			350	60	0.025	417		
	IV	18-2	25	460	2.321	5,046	9: 43	2.37
			50	575	1.792	3,117		
			100	460	0.031	67		
			150	675	0.047	70		
			250	75	0.038	507		
	IV	18-3	25	430	2.011	4,677	9: 54	3.35
			50	235	0.146	621		
			100	500	0.231	462		
			150	630	0.194	308		
			250	485	0.022	45		
			350	230	0.131	570		
	IV	18-4	25	440	0.817	1,857	10: 06	3.79
			50	560	0.063	113		
			100	555	0.192	346		
			150	675	0.064	95		
			250	475	0.441	928		
			350	480	0.002	4		
	IV	18-5	25	385	0.611	1,587	10: 18	4.18
			50	475	1.062	2,236		
			100	405	0.121	299		
			150	620	0.007	11		
			250	750	0.068	91		
			350	390	0.131	336		

注1) \*印は採水機の機能が正常に作動しなかったと考えられるため、報告中では上下のデータで内そうした。  
 注2) 時刻は採水機の作動開始時刻であり、まず排水してから採水するため実際の採水は、この時刻より若干遅れる。