

運輸省港湾技術研究所

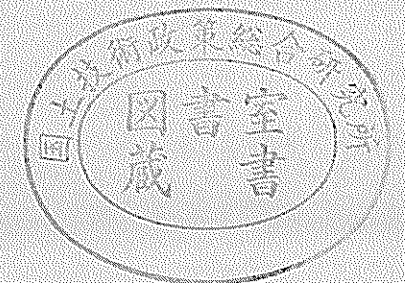
港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 17 NO. 1 MAR. 1978

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第17巻 第1号 (Vol. 17, No. 1), 1978年3月 (Mar. 1978)

目 次 (CONTENTS)

1. 徳島空港延長に関する漂砂模型実験
..... 佐藤昭二・小笹博昭・永井紀彦..... 3
(Model Experiment on Branch Profile Change due to the Runway Extension of Tokushima AirportShoji SATO, Hiroaki OZASA and Toshihiko NAGAI)
2. 砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例
..... 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.....57
(Methods and the System of Field Observation of Phenomena in Surf Zone and some Aspect of the Surf ZoneNorio TANAKA, Hiroaki OZASA, Kazumasa KATO, Shin-ichi YANAGISHIMA, Akira OGASAWARA and Hideo OSANAI)
3. 沿岸波浪推算法についての考察——港湾における実施上の問題点——
..... 高橋智晴・広瀬宗一・佐々木徹也.....89
(Consideration on the Coastal Wave Hindcasts—Problems in Executing Wave Hindcasting—Tomoharu TAKAHASHI, Munekazu HIROSE and Tetsuya SASAKI)
4. 海上航行船舶挙動に関する研究 (第3報)
——広域水域における実態調査手法——
..... 奥山育英・早藤能伸・吉田行秀・中辻 隆... 119
(A Study on Marine Traffic Behaviors (3rd Report)—Marine Traffic Survey in the Broad Expanse of Water Area—Yasuhide OKUYAMA, Yoshinobu HAYAFUJI, Yukihide YOSHIDA and Takashi NAKATSUJI)

砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

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***

要 旨

漂砂あるいは沿岸における諸々の拡散現象において、砕波帯は最も重要な場である。しかし、荒天時の砕波帯内の激しい現象は、容易には調査観測の手を近付けないし、その複雑さは、単独事象の観測のみによつては現象の機構の理解を許さない。したがって、砕波帯内の機構の研究の第一段階は、荒天時の使用に耐え、総合性を持った観測方法とそのシステムの開発であろう。著者等はこのような研究意図に基づいて昭和47年度より研究に着手し、4度にわたる現地観測の実施を経て、一応実用性のある観測システムに達することが出来た。同時にこの間の観測によつて、砕波帯内の波浪、海浜流および浮遊砂濃度に関し興味ある観測成果を得た。

本報は、これらの成果について述べるものであり、第2章において、砕波帯内における波浪、水面勾配、海浜流および浮遊砂濃度等の観測方法と、現地観測実施上の問題点が詳細に述べられ、第3章において仙台海岸および大洗海岸における観測例が述べられている。

過去の観測結果において明らかにされた事実のうち主要なものは次の通りである。

- 1) 砕波帯内においては高周波成分から低周波成分への波浪エネルギーの移行が起こる。沖波が高くなつても高周波成分はほとんど変化せず、エネルギーは低周波成分にのみ蓄えられる。
- 2) 砕波帯内には、周期数分程度の振動が生じているが、この振動は定常的なものではなく、間欠的に生じており、これと密接な関係をもちながら間欠的な離岸流が発生する。
- 3) 離岸流は砕波帯幅の2倍強の間隔を生じているが、その位置は相当に安定している。この位置においても離岸流は定常的に流れるのではなく、前述したように水面の長周期の振動の非定常性に依つて間欠的に流れている。
- 4) 汀線付近の水位を比べると、離岸流発生位置の水位がその内側より高い時に離岸流は発生する。
- 5) 砕波帯内の浮遊砂濃度は、時間的および場所的な連続性に強く左右される。したがって、ある地点のある瞬間における流れ等の特性のみでは濃度の高低を説明出来ない。
- 6) 荒天後1日程度までは一般に浮遊砂濃度は高く、また、砕波点近傍や離岸流の中では濃度が高く、沿岸砂州のトラフ中では低い。

* 水工部 漂砂研究室長

** 水工部 海岸地形解析主任研究官

*** 水工部 漂砂研究室

**** 前水工部 漂砂研究室

Methods and the System of Field Observation of Phenomena in the Surf Zone, and Some Aspects of the Surf Zone

Norio TANAKA*
Hiroaki OZASA**
Kazumasa KATO***
Shin-ichi YANAGISHIMA****
Akira OGASAWARA***
Hideo OSANAI***

Synopsis

The surf is the active zone of littoral drift and other diffusion phenomena. But, phenomena in surf zone are so violent under stormy condition that it is very difficult to know enough the true aspects of it. In the surf zone, many important phenomena, waves, long period waves such as surf beat, currents, change of the bottom topography and so on, keep complex and deep mutual relationship among each other. Therefore, real aspects of those phenomena in the surf zone can be made clear not only by knowing the real pictures of those phenomena individually but by revealing the relationship among them. That is, on the investigation of surf zone, it is important that many phenomena are observed synthetically.

Since few years ago, authors have made effort to develop methods of observations and measurements of those each phenomena, and the synthetic system of field observation in surf zone. Main technics of observation developed in this study are as follows;

- 1) Measurement of waves and long period variation of sea level using the electric capacity type wave gauge and memo motion cine camera.
- 2) Observation of currents pattern by airophotograph technic using a helicopter or a balloon.
- 3) Apparatus of water sampling in order to measure the concentration of suspended load. details of those methods are mentioned in the Chapter 2 of this paper.

Field observations were conducted since 1973. Some results of the those field works are reported in Chapter 3. The main conclusions obtained through these works are as follows;

- 1) In the surf zone, wave energies are shifted to lower frequency elements from higher frequency ones. Significant wave heights in the surf zone do not become obviously higher due to increase of offshore wave height, but the wave energies of lower frequency elements are clearly charged.
- 2) The water surface in surf zone show a oscillation of few minutes in period by about ten minutes of time intervals, and the time durations are four of five minutes.
- 3) Lip currents are found in nearly same alongshore intervals.
- 4) Lip currents become obviously in the same time with the appearance of oscillation of sea level having the deep relationship with the variation of the sea level.
- 5) Near the shore line, the water level at just behind of a location of lip current is higher than the levels in the middle of lip currents.
- 6) The concentrations of suspended load are deeply depended to the continuity of space and time. That is, the instantinius values of concentration and waves condition at some point have only weak colleration. But, the average level of concentration in stormy day is higher than that in calm day, and in the some special places such as the wave breaker point or the inside of lip current, concentration become higher than that in other places.

* Head of Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division

** Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division

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

**** Ex-member of Littoral Drift Laboratory, Hydraulic Engineering Division

目 次

1. ま え が き	62
2. 観測方法と観測システムの開発	63
2.1 観測項目とシステムの概要	63
2.2 観測方法	64
2.2.1 観測計画の策定と事前準備	64
2.2.2 沖波の観測	67
2.2.3 碎波帯内の波の観測	67
2.2.4 海浜流の観測	69
2.2.5 浮遊砂濃度分布の測定	71
3. 観 測 例	73
3.1 仙台港南海岸における碎波帯内の波と沿岸流の観測結果	73
3.1.1 観測の内容および観測期間中の波浪状況	73
3.1.2 海 浜 流	75
3.1.3 碎波帯内の波浪	77
3.1.4 離岸流の発生と水位変動	79
3.2 碎波帯内における浮遊砂濃度分布の観測結果	82
3.2.1 大洗海岸における結果（昭和48年11月実施）	82
3.2.2 仙台港南海岸における観測結果	84
4. 結 論	86
5. 謝 辞	87
参 考 文 献	87

碎波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

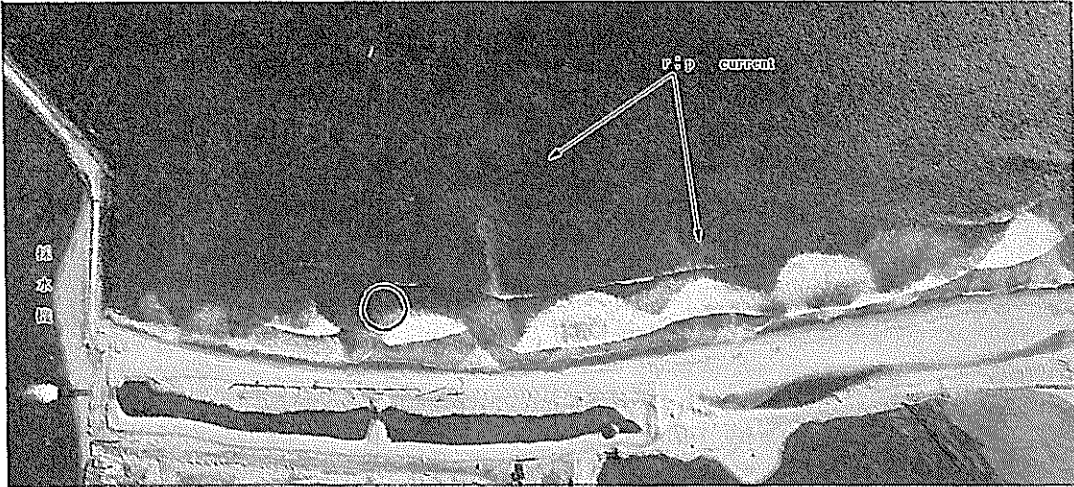


写真-1 1975年11月22日11時51分撮影；矢印部に離岸流が確認される



写真-2 1975年11月22日11時57分撮影；51分撮影の写真に見た離岸流は消滅している

1. まえがき

漂砂現象あるいは沿岸における諸々の拡散現象（漂砂もある種の拡散現象であろうが）において、砕波帯が最も重要な場であることは衆知の事実である。長い距離を伝わって水深の浅い沿岸部に到達した波は、海底にその影響を強く及ぼすと同時に、海底の影響を受けて変形し、ついにはその巨大なエネルギーを強い乱れと流れとに変えて砕波する。したがって水理学的に見ると砕波帯はこの強い乱れと強い流れとによって特徴づけられると言って良い。

砕波帯において、波浪によって引き起される流れを海浜流（Nearshore currents）と呼ぶ。海岸工学に関する著名な古典である *Shore processes and shoreline development* (Johnson, 1919)¹⁾ の中には、波によって沿岸に水塊が集積し、これによって沖方向あるいは海岸沿いに流れが形成されることが記述されており、漂砂現象における海浜流の重要性はすでに認識されている。海浜流の定性的特性に関して、最初の理論的見解と情報を我々に与えたのは、おそらく、Putnam, Munk および Traylor (1949)²⁾ による研究であり、また海浜流の定性的パターンに関して現在我々の持っている概念を最初に示した功績は、Shepard (1950)³⁾ に帰することが出来る。

その後約 25 年間、海浜流は Putnam, Munk および Traylor に始まる砕波によって砕波帯内へ持ち込まれる運動量の保存を基本とした海岸に平行な方向の流れ、すなわち沿岸流（Alongshore currents）として主に取り扱われ、Inman & Quinn⁴⁾, Eaglson & Galvin⁵⁾, Eaglson⁶⁾ および佐藤、田中⁷⁾等によって各々流速の算定式が提案されて来た。しかしこの間にあって、Bruun⁸⁾ に代表されるように、沿岸流の発生を前述の運動量と共に砕波帯中持ち込まれる水容積に伴う傾斜流の効果の複合されたものとする認識のあったことは見逃せない。

1970 年代に入ると海浜流の研究はにわかに活況を呈するようになる。これは 1960 年代における Radiation stress の概念の導入⁹⁾ および edge wave への注目¹⁰⁾等によって、その理論的な取り扱いが飛躍的に発達したことに起因している。それと同時に環境としての沿岸部の評価の向上や前述の理論的取り扱いの発展に刺激されて、従来困難視されて来た砕波帯内の諸現象の現地観測の成果が次第に積み上げられて来たことが、海浜流の研究の活況に自動的な効果を持っているように思える。これらの現地観測例として代表的なものは堀川、佐々木等

による気球に登載したカメラによる観測¹¹⁾や Huntley および Bowen¹²⁾ による電磁流速計による観測などがある。

一方、砕波帯内における乱れと拡散現象に関しては、Harris et al.¹³⁾ や Inman et al.¹⁴⁾ の先駆的研究を基礎として、極く最近始まったと言って良く、拡散のパターンの把握や水平拡散係数の定式化等に関して現地観測および実験的研究が行なわれている。

このような段階にあって、港湾の建設に伴う沿岸地形あるいは沿岸の諸海象の変化を常に問題としている著者等にとって、砕波帯における流れと乱れに関するそれらの新しい知見と認識を、海岸侵食あるいは港湾建設の影響予測といった現実的諸問題にどのように生かして行くかが重要な問題である。防波堤等の沿岸構造物は、沿岸における諸現象にとって明瞭な境界としての意味を持つばかりでなく、現象の不均一性を生む強烈な impact であるはずである。したがって、その周辺には防波堤の存在によって誘起される一様海浜とは異なった特殊な現象が存在しているであろう。

著者等は以上のような問題意識に基づいて現地観測あるいは模型実験等によって、構造物の周辺における海浜流の研究を進めようとしている。砕波帯内においては、波浪、それに伴う水位の上昇と流れ、さらには底質の移動と海底地形等が相互に複雑な相互関係を持った循環系を形成している。したがってその現象を正しく理解するには、これら各々の要因の特性を同時に把握し、その相互関係を追究する総合性が必要である。

しかしながら、砕波帯の諸現象はあまりにも激しく、容易に人々の接近を許さない。とくに荒天時において砕波帯内の諸現象を観測することは多くの危険性を含んだ挑戦的な作業である。過去において多くの先達がこの作業に挑み、藤木¹⁵⁾や井島¹⁶⁾等による荒天時の海浜断面形の測定や前述の海浜流の観測等において貴重な成果を上げている。しかし、これらの成果も砕波帯内の複雑な現象の一部を調査の対象とし総合性に欠け、あるいは、対象とした海況が比較的穏やかであった等の問題点を有している。

したがって、砕波帯内の現象を総合的に把握しようとする意図を持ったとき、第一に行なわなくてはならないのは各種の現象の測定方法とそのシステムの開発であった。著者等がその作業に着手したのは昭和 46 年度である。以来昭和 48 年大洗海岸における調査を皮切りに、

砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

50年高知, 51年仙台と調査を試み, 52年度は再び大洗海岸において調査を実施した。勿論, 最初の調査から観測意図が十分満される成果を得たわけではなく, むしろ失敗の方が多かったと言って良い。しかし, これらの失敗を通じて, 一年一年と観測方法を改良し, システムの充実をはかって来た。

本報告は, こうした観測方法とシステムの開発の成果と昭和51年11月, 仙台海岸において実施した観測を中心に若干の観測例について述べるものである。我々の観測システムは, それなりに相当充実したものであると信じている。しかし, それをもってしても, 盲人が象を撫る類の情報しか得ることが出来ないほどに現地現象は複雑である。したがって, 現在までの観測成果によって現象の実態を明らかにするには至っていない。しかしながら, 今後の調査あるいは研究に極めて示唆的な2~3の成果が得られているものと考えている。

2. 観測方法と観測システムの開発

2.1 観測項目とシステムの概要

前述したように, 砕波帯は主として波浪の砕波によって誘起される強烈な乱れと流れの場として特徴付けられる。この強い現象は, 境界をなす地形, 地形を構成する底質等と複雑な相互関係を及ぼし合い図-1に示すような一つの循環系を形成している。

すなわち, 現象は海水の運動, 海底地形, 海底物質の3つの基本要素間の循環系として構成され, その間にお

ける底質粒子の動態として漂砂現象が存在している。基本3要素は, 種々な形あるいは種々な側面で現象に関与する。例えば, 海水運動は水面の振動, すなわち風浪・うねり等の比較的短周期振動と潮汐等の長周期振動として, また当然種々の形の流れとして現象に関与しているし, 海底地形は, リップルのような小スケールのものから, リズミックパターンのように km 程度のスケールのもので, 各々が独特な水理的な機構を反映し, かつそれに影響しつつ存在している。

したがって, 砕波帯内の現象を見ようとする場合には波とか流れとかあるいは地形等を単独なものとしてのみとらえたのでは, 現象を十分に理解し得ず, 観測の総合性が非常に重要な要素となる。したがって個々の現象の観測方法の開発と同時に, 種々の項目を包含した観測システムの確立が重要であろうと思われる。

著者等は, 昭和48年来それを始めているが, 現在に至るまでの観測システムの整備されて来た過程は表-1に示したとおりであった。表中において気付かれるように, 波の観測にメモモーションカメラと容量式波高計を, また沿岸流観測にボールフロートのトランシットによる追跡, ヘリコプターによるフロートの追跡さらにフロートの気球搭載カメラによる追跡を併用しているのは, 2つの理由がある。その第1は, 各々の方法が, それぞれ特色を持っていることであり, 第2は不測のトラブルに対処して, 重要項目については, 常に2重, 3重の備えをすることが必要であるからである。後者は, 野外研

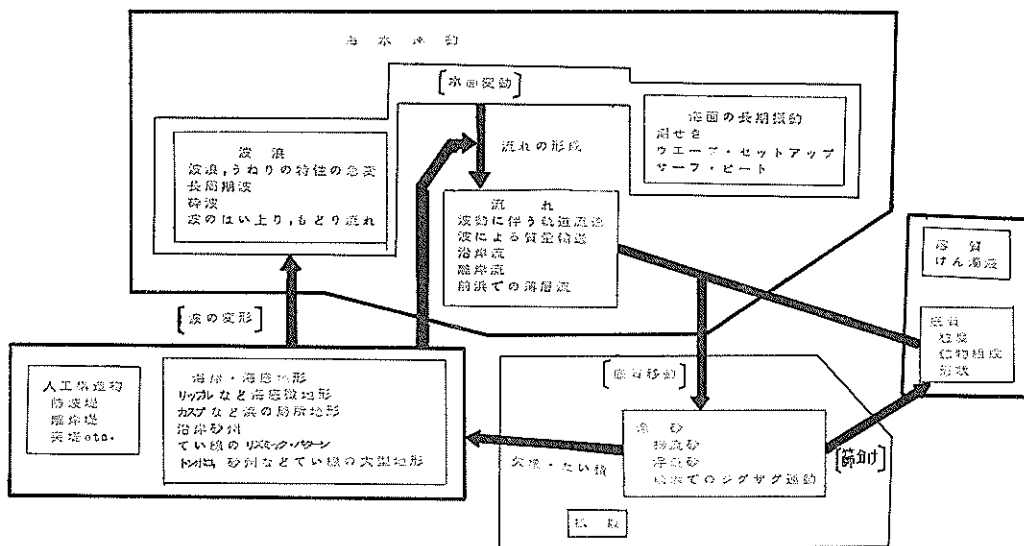


図-1 砕波帯内の諸現象とその相互関係

表-1 観測項目と

観測項目		48年の観測	50年の観測
波 浪	砕波帯外の波浪	波浪の定常観測記録の利用	同 左
	砕波帯内の波浪	斜め実体写真による	メモ・モーション・カメラ
	砕波帯外波浪の特殊観測	な し	直記型水圧式波高計による波浪分布観測
	前浜の波のはい上り	な し	な し
海面の長周期変動	潮 汐	検潮記録の利用	同 左
	砕波帯内の長周期変動	な し	メモ・モーション・カメラ
流 れ	沿岸流・離岸流	航空写真によるフロートの追跡 (ヘリコプター利用) ボール・フロートの追跡	同 左
	前浜での薄層流	な し	な し
漂 砂	砕波帯内での浮遊砂濃度	けん引式採水式による	同 左
	砕波帯内での底質移動の追跡	蛍光砂による	な し
地 形	調査地域の地形の測定	深浅測量による(事前)	同 左
	調査期間中の地形変化の測定	な し	な し
底 質	調査地域の底質の測定	全域の底質調査(事前)	
備 考		大洗夏海海岸 昭和48年11月	高知港種崎海岸 昭和50年3月 海象条件に恵まれず十分な測定は出来なかった

究の鉄則であり著者等も何度もこれに救われて来た経験を持っている。とくにシステムの開発期にあっては、重要項目について2重3重の備えをすることの意味は大きい。

2.2 観測方法

2.2.1 観測計画の策定と事前準備

事前準備

本報告に述べるような、主として研究を目的とした現地観測の準備は、実際に現地を観測する数か月前の観測場所選定から始まる。観測場所としては、比較的単純で現象を把握しやすい地形および構造物のある砂浜海岸が望ましいのであるが、現地においてはそのような海岸はむしろまれであり、その場所に固有の特殊条件が加わっているのが普通である。そこで著者らは、その研究意図に照して現地観測場所選定の基準として

- 1) 沿岸の地形変化が現在生じているか、あるいは構造物の建設により将来生じると予想される所、
- 2) 観測作業に十分な浜幅がある所、
- 3) 防波堤等の構造物が近くにある所、
- 4) 深浅図・波等のデータ蓄積が十分な所、
- 5) 既設の測定器(沖波波高・波向、風向風速、検潮器等)の利用可能な所、
- 6) 電源が比較的容易に確保できる所、
- 7) 海象・気象状況が我々の観測システムに適する所等、

いろいろの項目を設定し、それらを総合的に考慮した後で決定している。

観測は3~4日継続される。第1日目は、測定器機の稼動状態や観測者相互の連絡系統のリハーサルをかねて

砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

方法の一覧

51年の観測	52年の観測	今後の問題点と課題
同左	同左	
メモ・モーション・カメラ 容量型波高計	メモ・モーション・カメラ 容量型波高計	砕波帯内の波浪特性の測定方法としては問題なく有効である。観測密度を高くしていく必要あり
直記型超音波波高計による反射波の測定	なし	
なし	はい上り計	はい上り高およびボアー・エッジの進行速度と方向は測れる
同左	同左	
メモ・モーション・カメラ 容量型波高計	メモ・モーション・カメラ 容量型波高計	観測密度を高くして行く必要あり
同左	航空写真によるフロート跡追 (ヘリコプター利用) * (気球の利用) ボールフロートの追跡	沿岸流等平均流的な流れは測られている。流れのより微細構造の測定のため電磁流速計の利用を検討中
なし	波のはい上り計	
同左	同左	掃流砂量の測定が出来ない。測定方法の開発が必要
なし	なし	
同左	同左	砕波帯内の地形の迅速な測定方法の開発が是非必要である
汀線測量	なし	
仙台港南海岸 昭和51年11月	大洗夏海海岸 昭和52年12月	

おり、データの取得はあまり期待しないほうがよく、観測の標準は第2・3日目にあわせる。最終日は、補足観測と次回の現地観測項目およびその方法あるいは現在の観測システムの検討日とする。観測者相互の連絡システムの事前検討は、ともすれば見過されがちであるけれども、観測成功の1つのキーポイントであるから、昼食の手配に至るまで細かく実施しておく必要がある。

現地観測において、我々がどうすることもできない障害は気象の変化である。現在の天気予報は、狭い地域のものまで十分に予測できるものではないため、ときには天候が予報に反して観測に不向きなものへと急変することがある。海が荒れ始めると、砕波帯というきわめて激しい海象内の観測であることからその危険性は、直接人命にかかわるものとなり、やむなく中止せざるを得なくなる。現在の観測システムでは、沖波波高1.5~2.0m程

度が限度であると考えられる。逆に、すこぶる晴天でも無風状態で凪になると観測の意味がなくなる。これ以外に雨も精密測定器にとってはやっかいなものである。

観測期日を定め、一度現地に入ってしまうえば、天候が多少好ましくないからと言って、容易に予定を変更し得るものではない。調査計画が大きくなり、多数の人々がこれに関与するようになればなるほど、それは困難になる。したがって、観測に好都合な日を予測して決定することが事前の最も重要な作業になる。このためには、過去の気象資料によって、月単位までを決定し、現地の気象の推移を十分に把握しつつ、次第に実施日をしばって行くことが必要である。

観測二週間ほど前に、これまでの準備の進行状況、気象予報等を見合せて最終的な日程を決定し、観測項目の確認、観測時間、担当者等の決定をおこなう。同時に観

表-2 現地観測に必要な雑機器の一覧

品名	備考	品名	備考
テント	宿泊, 測定器設置用	カケヤ	杭打ち用
マジック・インク	赤, 黒色	双眼鏡	2台
筆記用具	鉛筆, ボールペン, サインペン, 色鉛筆	ラジオ	天気予報, 時間確認
軍手	人数+5	長ぐつ	
寝袋		カッパ	雨天用
エアーマット		帽子	メガネ使用者は雨天時に必要, 防雨, 防砂, 防日用
電池	単一, 単二, 単三, 使用後はマジックで印をつける。早めにとりかえる	貸薬品	救急医薬品
ビニール袋	1000枚程度, 利用度はきわめて高い	カメラ式	広角
野帳	A4ノートが一番使い易い。データ覧を前もって作っておく, その際十分スペースをとっておく。観測後全員のノートからコピーをとって一冊にする	トランシーバー	同じ周波数 6台
輪ゴム	1箱	電卓	人数分, 夜に簡単なデータ整理
ビニールテープ	数種類の色, 30個, 透明テープ 30個	ウエス	雑用
カタール	人数分	懐中電燈	2~3個
ナップサック	人数分, 各自の区別をしておく	ヒモ	
杭 1	基準点用 50本. 木製	ハサミ	
杭 2	鉄製長さ 70cm, 砂地におけるテント用, 測定器のアース	電球	テント用, 夜間作業用
		ハンダゴテ	
		テスター	
		ガムテープ	観測後の荷作りも考慮しておく

測作業を円滑に遂行するため、観測当日の人の動きに重点をおいて綿密な打ち合せをする。この後は、関係各機関、航空写真撮影担当者、ダイバー、ブルドーザ、船等の関係者に連絡しつつ、観測器機および資材の再点検を実施し現地への搬出準備をおこなう。梱包は、現地における混乱をさけるため、観測者全員で確認しながらおこない、必要と思われる以上に詳しい梱包リストを作成する。消耗品、工具類は余分に用意したほうがよい。観測器材以外の必要物品を表-2に示す。

この時点までの作業は繁雑なものであるけれども、よほど特別な事情がない限りは順調に進むものである。また、たとえトラブルが生じて、この段階では延期・中止が比較的容易におこなえる。

現地準備

現地における観測準備は、電源整備、測定機器の組み立て配置、観測場所の踏査等が主な作業内容であり、おおむね2日程度かかる。これらの作業は分担し、順序よくおこなう。第1日目に完了しておかねばならない必要最低作業は、機材の搬入整頓、電源の確保およびテント設営である。採水器の組み立て調整等の時間のかかる作業は初日にスタートしなくてはならない。波高計の組み立ては第2日目に実施する。第2日目のもう一つの重要

な作業は、踏査である。この目的は、沿岸方向1~2kmにわたる広い海域の諸現象を限られた数の測定器では高密度に測定できないため、各測定器の配置および測線を効果的に決定することである。したがって、踏査は沿岸流・離岸流の位置を確認することを第1目的とし、海面のニゴリ、泡の流れ状況等を観察しさらに必要に応じて簡単なフロートを投入する。沿岸流は汀線に沿った流れであるから比較的見つけやすいけれども、離岸流は沿岸方向100~300m間隔で発生しており、その幅も狭くかつ定常的でないこともあるため誤から確認することが容易でない。波高計の配置・測線は、この離岸流発生位置を基準に決定する。

現地における準備あるいは観測作業は机上で考えるより、はるかに時間を費すし、担当者の動きが錯綜して意外とトラブルを生ずるものである。そのためには、期間中毎日、綿密なミーティングを行ない、すべての担当者に、全体の作業内容を熟知させておくことが必要であり、分刻みの詳細な行動計画を作成していくことが必要であり、また、作業期間中は命令系統を明確にしておくことも必要である。

作業中、作業の進行の状況を全作業員が知っていることは、作業を円滑に進めるためにきわめて有効である。

このため、出来れば、すべての作業員が、同一周波数のトランシーバーを携帯することが好ましく、これは、広い地域に作業員が分散するような作業では、作業の安全性を確保するためにも有効である。

ダイバー、観測船の作業員、空中写真の撮影者等、外部の関係者に対しては、事前に十分作業内容を説明し、手順の詳細を打ち合わせておかななくてはならない。

2.2.2 沖波の観測

一時的な、現地観測だけのために、水深 -15m~20m 付近の海域に波高計を設置することは出来ない。しかし幸いなことに大部分の港湾では定期的に沖波を観測するための波高計が設置されているので、観測期間中は、これを利用し時間連続観測を行なう。

2.2.3 砕波帯内の波の観測

波高計設置架台

砕波帯内の波形測定のための波高計は、海水中の設置作業が困難であるため、陸上部で組み立てられた波高計架台に取り付け、その後海底に置くだけのものとなる。

波高計架台は、現場用足場パイプ(φ50mm) 50cm 1本、180cm 10本を用いて底面 180cm×180cm の四角錐を組み立てその中央に同径の長さ 4.5m パイプのセンターポールを取り付ける(写真-1)。これの組み立てはジョイントでねじ止めするが、その際出来る限り直交ジョイントを使用し自在ジョイントはさける。組み立て消費時間は、2人1組で1台 40分程度である。センターポールに、リボンテープと称する測量用簡易スタッフ(写真-1、中央)を透明ビニールテープですきまなく取り付



写真-1 容量型波高計組立図

ける。これは後述する波高計設置レベルの測量に使用するものであり、得られた結果は各地点の平均水面変動の相互関係、水面勾配等を解析する際の基準データになる。架台の総重量は、後で説明する波形測定用の装備を加えて、4人で底面の頂点を持って海中の設置地点まで運べる程度である。海底への設置は単に置くだけであるから、水深 -1.5m 前後の観測地点までの運搬は干潮時に安全に行なえる。

設置後しばらくは、いくぶん不安定であるけれども、1時間もすると底面のパイプが砂地に埋まり波に対して十分な強度を有するようになる。したがって、波高計の設置レベルの測量は設置後1時間以上経過してから陸上より mm 単位の精度でおこなう。波高計レベルの精度は mm のオーダーを要求されるので、観測期間中定期的にあるいは最少限度1日1回は計測しなければならず、かつ複数個の波高計レベルは同じ基準点を使用する。一方トランシットによる設置位置の測量は、測定精度 10cm のオーダーでよいため、観測期間中の都合のよい時間帯に1回実施すればよいが、場合によっては途中で波高計が転倒する(これまでに一度経験している。)こともあるのでなるべく早めに終了しておくのがよい。波高計の傾きは、ウェットスーツを装備したダイバーが毎日波高計設置位置まで行って、傾いているセンターポールの背の部分へハンドレベルをあてて計測する。砕波後の段波がほぼ 10秒間隔で通過するような地点において要求されるハンドレベルの傾き測定精度は $\pm 1^\circ$ 以内である。というのは、陸上から見て相当傾いていると感じられるときでも傾きは鉛直よりせいぜい 20° くらいであるため、今仮に傾きが 15° としたときの測定誤差 $\pm 1^\circ$ の波形に及ぼす誤差は $\pm 1\sim 2$ mm 程度である。

波高計架台の回収は先にも述べたように架台が砂に埋まっていることもあるので、ウェット・スーツを装備した者がおこなう。埋まりの程度は、場所・状況によって異なるけれども、設置数日後ではある程度の水中作業が避けられないものとなっている。さらにひどく埋まっているときは、ロープを使用して陸上からジブで引くとよい。観測期間が一週間を超えると、50cm 以上埋まることがあるから、前もって波高計架台に水中分解できる配慮をするか、あるいは観測途中で一度引き出すことが必要である。後者の場合には、位置・レベル・傾き測量を新たに実施する。ここまでのことは、以下に述べる 8mm メモモーションカメラや容量式波高計で波形測定する際、いずれにも共通していることである。

メモーション・カメラによる観測

8mmメモーションカメラによる波形測定の方法は、波高計架台のセンターポール地点の水位を陸上から1コマ/1秒の時間間隔で撮影するものである。このときセンターポールに固定してあるリボンテープの目盛りでは、距離が遠くなると鮮明に写らなくなるし、また近くても一日中の撮影では、海面のハレーションや朝日・夕日によって逆光になる時間帯があって後の水位読み取りが困難になる。そこでリボンテープの目盛りとは別に、センターポールのサイド(8mmメモーションカメラの光軸に対し直角方向)に1m間隔で $\phi 1\text{cm}$ 長さ10cmの赤く塗った鉄棒を突起させておく。この突起鉄棒の取り付けは、ボルト締めし、その位置はリボンテープの目盛りで読み取る。こうしておけば、約80mくらい離れて撮影しても後の読み取りができる。

カメラは汀線近くのなるべく高い位置か、入射波を横からながめる位置に設置し、まず観測場所、日、時、波高計番号等の必要事項を記入した表題を100コマ撮影する(コマ数が少ないと写らないことがある)。その後、1コマ/1秒で連続1時間の波形撮影を開始する。一旦撮影を始めると1時間はカメラに手を触れることができないので、途中でハレーションが直接カメラに入らない位置にしておく。また夕方の撮影では若干露出オーバーにしておくとうい。撮影中はカメラに目が届く範囲内で波高計のレベル・位置測量等の作業をする。ただし次のことは忘れてはならない。それは、カメラを何度か使用していると、1秒/1コマのフィルム送り機構がトラブルを起し1度に2コマずつ送るようになることがあるので、撮影開始後40分付近でフィルムのカウンターと経過時間の確認することである。

4台のカメラを2台のコントロールボックスを用いて2人で操作するとき、カメラ間の距離がそれぞれ50~80mとして、1時間撮影後のフィルムの取り出しおよび次の撮影準備(100コマ表題撮影を含む)に1時間程度見ておく必要がある。4台のカメラの同調は、手旗等で定められたサインを送っておこなうのが簡単でかつ1秒と狂うものではない。トランシーバーは別の測定者間のもっと複雑な連絡に使用し、このような簡単な合図には避けたほうが無難である。

8mmフィルムデータの読み取りは、フィルム現像後映写機で投影しておこなう。このとき、リボンテープの目盛りはよほど条件がよくない限りは読み取り不可能であるから先に述べた1m間隔でセンターポールサイド

に取り付けた突起を基準に副尺を作り内挿してcmの単位まで読む。電子計算機処理のためのコーディングには、1データ5カラムを使用し、後づめ3カラムにこの読み取り値を記入する。前づめ残り2カラムには、峰で波高計がかくれていることや碎波状況を分類してAタイプ文字で記入しておく、データ解析の際役に立つ。

このような、8mmメモーションカメラによる波形の測定は、バッテリーが使用できるので交流100V電源のないところで、短期間の観測に適している。測定原理は電氣的に複雑な回路がなくきわめて単純であるため、ドリフト等の誤差は生じない。また波高計だけでなく、周辺の波および碎波状況も同時に写し込まれるため、予期せぬ現象が見つかることもあるし、後での解析の基礎資料となる。しかし、フィルム1本(約3600コマ)のデータ読み取り作業が、3人1組でほぼ1日(6~8時間)かかるため、観測期間が長くなると適さない。例えば4台のカメラで1日4時間のペースで4日間撮影したときのフィルム総数は64本となりその読み取り作業だけでも3人で3か月もかかることになる。また陸上部からの撮影であるため、波高が大きくなると波の峰で波高計が隠れ、その結果峰通過後の波形を過大に測定することになる。さらには、撮影時のモニターが出来ない、天候状態が撮影に影響を与える等の問題点を含んでいる。

容量式波高計

容量式波高計による測定の場合は、陸上において波高計架台のセンターポールに平行に20cm離して電極を取り付ける(写真-1)。この際、電極にターンバックルで張力をかけ、そのときの0点位置をリボンテープの目盛りで読み取る。電極は、径7mmでSUS30 ϕ ポリプロピレン被覆、有効測定長2.6mのロープ状である。上端のヘッド・アンプには、ケーブル($\phi 16\text{mm}$, 4芯各芯シールド, 200m)を通じて交流100Vを入力し、直流0~10mVの信号を出す。またここでは、有効測定部の長さに応じて出力の調整ができる。ケーブルは、センターポールと四角錐の台の数箇所にビニールテープで固定し、同時に陸上端も杭を打ちそれに固定する。出力された信号は、数台の波高計を同時に記録するとき生じる相互干渉の防止機能と電源部を備えた増幅器を通じてデータレコーダに接続される。

この容量式波高計は、タンク内の水位および河川水位のようなどちらかと言えば静的な水位の計測を目的に開発されたものである。これを波形すなわち動的な水位計測用に転用するに先だち、2次元水路で電極を水平に張

り、急激に水中に出し入れする実験を繰り返した結果、ペン書きレコーダーの記録用紙上にほぼ矩形のパルスとして記録された。また現地波形を 8mm メモモーションカメラで同時測定し、前もって実験水槽で調べた静的検定曲線に従って校正した容量式波高計のデータを 8mm フィルムの読み取りデータと比較（相互の同調を後に述べる方法でおこなってあれば 2つのデータを対応させるのは容易である。）した結果、水位低下時における 1秒程度の変動まで記録しており、また 1時間にわたって電氣的なドリフトは認められなかった。したがって、この容量式波高計は周期 5秒以上の現地の波あるいはそれより短い変動と考えられる砕波後の波形計測用として十分の応答精度を有し、さらにあらかじめ作成する検定曲線は現地データに適用できると考えられる。

次章で述べる仙台南海岸の現地観測では、8mm メモモーションカメラと容量式波高計で同時測定した。潮位が低いときのそれぞれの波形記録はよく一致する。ところが潮位が高くなり波高計設置付近で砕波し始めると、容量式波高計の記録はある時点で急激に 60cm 程 0点 がシフト（水位上昇）しその後は放物曲線を描きながら 1~2 分でもとの 0点 に復帰する。このときの波の状況を 8mm フィルムで調べると、砕波波高が大きくて上端のヘッドアンプに海水がかかっているとき発生していることが明らかになった。そこで、実験水槽にこの波高計を設置し、ヘッドアンプにバケツで水をかけたところ、まったく同様のシフトが 60cm 程度生じ 1~2 分で復帰した。すなわち、ヘッドアンプに付いた水が、容量式波高計の電極コードを伝わって下に流れ落ちていたため、実際的水位より大きめの値を示すのである。このような現象は、雨天時にも生じると予想される。この対策として、ヘッドアンプ直下に鉄製のロートを逆にしたスカート状のものを取り付け（写真-1）、上部に付着する海水あるいは雨水が電極コードに流れない工夫をした。この状態での室内実験では、もはや先に述べたシフトは発生しなかった。

データレコードによる記録は、まず最初に一定電圧を記録した後、4cm/s の速度で連続 6時間おこなう。この際、数 10 分間隔でテブカウンターと経過時間をメモするか、あるいは空チャンネルがあれば時刻を録音しておくとの後の解析が能率よくおこなえるし、また先に述べた 8mm メモモーションカメラと併用するときは、撮影開始時のテブカウンターを記録しておく。このようにして得られたアナログデータは、テープ速度を整数倍

にし、1秒間隔で A・D 変換をおこなう。

容量式波高計による波形測定方法の長所・短所は、8mm メモモーションカメラ使用のときの、ちょうど逆である。したがって、どちらの方法にするかは、そのときの状況によって適宜決定しなければならない。ただし、8mm フィルムには、回りの状況も同時に記録されるので、後者の容量式波高計によるときは、併用する方が良い。

2.2.4 海浜流の観測

沿岸流・離岸流等の海浜流の観測は、2つの方法によるフロート追跡によっておこなう。

ボール・フロートによる観測

その 1つは、フロートとしてボールを使用し（図-8 の凡例参照）陸上から 2 台のトランシットで同時測角しその位置の時間変化を測定するものである。フロートの形状は、図-8 の凡例に示すように $\phi 15\sim 20\text{cm}$ と $\phi 5\text{cm}$ 程度の 2 個のボールを魚網でくるみ、長さ 150cm の釣糸で結んだものである。大きなボールの内部には海水を注入し、海中に沈むようにする。ボールへの海水の注入は考えているよりもはるかに時間を要するものであるから早めに用意を始めたほうがよい。また海面上に浮ぶ小さなボールの色は、砕波帯の白く泡立った所でよく見える赤色がよい。この様なフロートは、砕波帯外への流出を考慮して、余分に 5~6 個用意しておく。

このフロートを用いた海浜流の観測はダイバーを含む 4 人で実施し、そのうちの 2 人が測角・記帳を担当する。他の 1 人がボールの投入・回収の指示および時間測定を担当しつつ観測をコントロールする。フロート投入はウェットスーツを着用したダイバーによっておこなう。汀線近くでおこなうこの作業には危険がともなうから、常に海に向って立ち、波のはい上りには十分注意しなければならない。フロート位置測定の間隔は、あまり短いと波の軌動流速の影響が大きくなるしまたトランシットによる測角作業も十分に追従しないので、周期の 5~6 倍程度すなわち 1 分間隔にするのが適当である。指示者がこの時間計測をストップウォッチでおこない、測角者に合図する。その方法は、1 日程度の観測では声で十分であるが数日にわたるときは 3 台のトランシーバを用意したほうがよい。沿岸流だけの存在する箇所では砕波後の波の影響が徐々に陸上に近づき打ち上げられるが、それ以前に水中の大きなボールが海底に接するようになると測角は中止する。一方ボールフロートが離岸流の存在するところへ投入されたときは、沖へ向かって流れ砕波

帯外へ流出する。流出したフロートは再度砕波帯内に流入してくることがあることを考慮に入れて測角中止の決定をおこなう。指示者は時間計測の合間にボールフロートの軌跡を目視観測し、その概略図を記録しておくとしておこなうフロート投入地点の決定に際し参考になるし、後で大きな測定誤差発見に役立つ。

ボールフロートによる方法は、手軽に実施できる。しかし常に1個のフロートしか追跡できないため観測対象海域全体の同時観測といった意味においては不十分である。特に非定常性が強く、離岸流が間欠的に発生しているときの離岸流と沿岸流および離岸流との関係は、十分測定できない。しかし、海を観察しながら作業するため、沿岸流・離岸流の存在を確認しつつ効果的に投入観測が可能であるという利点をもつ。

空中写真による方法

空中写真を用いた海浜流の観測のポイントは、適正なフロートを用い、これをすばやく安全に砕波帯内にばらまくことである。先ずフロートの製作に際して考慮されなくてはならない項目は以下の通りである。

イ) 砕波に伴うボアー等に打たれ、容易に海岸に打ち上げられる等のことがなく、海浜流を正しくとらえること。

ロ) 撮影された写真上で正しく識別される被撮影面積を有すること。写真原版中に $\phi=0.2\text{mm}$ 以上の大きさで撮し込まれていれば識別が可能であると考えて良く、写真原版の縮尺 s は、カメラの焦点距離を f 、撮影高度を h とすると $s=f/h$ で定まるから、フロートの大きさ D は、 $D=0.0002(h/f)\text{m}$ 以上となる。240mm フィルムによる空中写真で地上の 750m の範囲を撮影する場合、フロートの最少被撮影面の径は 62.5cm となる。またフロートの識別のためには、フロートの被撮影面の色彩にも十分注意しなくてはならない。砕波帯外では、白色なども識別されやすい色に属するが、砕波帯内ではオレンジ、赤等の色が見分けやすい。

ハ) 多量のフロートを取り扱うために、運搬・投入・回収の作業の便を考え、出来るだけコンパクトな形状が良い。

ニ) 投入方法に伴う制約を十分に考慮に入れること。例えば、投入にダイバーを用いる場合には、ダイバーの安全を考慮し、角張ったエッジ等をさけ、ダイバーを傷付ける危険性のないものとする。

このように考えて著者等が試みたフロートには図-2に示すようなものがある。Aタイプフロートは、ヘリ

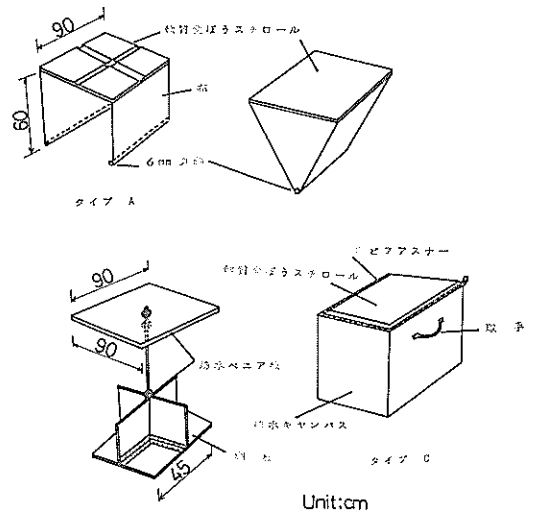


図-2 航空写真を用いた沿岸流観測用のフロート

コプターから海面に投下することを考えて作成したものであり、上部の軟質発泡スチロール部を折りたたんだり、巻いたりしてヘリコプター中に搭載し、空中から投下すると、海上でこれが開いて非撮影部をなすようになっている。タイプ(B)は上部に90cm四角のベニヤ板のフロートをもつ、一般的なフロートであるが、抵抗板の底面に重りを兼ねて鋼板が当てられ、フロートが波乗りすることを防ごうとしている。Cタイプは海面に浮んだダイバーが、波乗りすることなくフロートとして役立つことにヒントを得たもので、防水キャンバスの袋を作り、上部のファスナーを開いて現場でこの中に海水を入れるものである。

これらの各タイプのうち、A型では、後述するように波乗りが防げず、Bタイプは、取り扱いが困難な場合が多かった。結局(C)タイプが最も有効であったように思われる。このタイプにおいては2人組のダイバーが一箇のフロートを扱い、ファスナーを開いて、砕波の打ち込みを受けるとして容易に海水を充填していた。なお、個々のフロートを区別するため、数種類の色分けをしておくこと、沖へ流出したものを船上から回収するための配慮等が必要である。

フロート投入は、汀線に直角な線上でダイバーがおこなうとよい。測線はあらかじめ、海岸を踏査したり、ボールフロートを目視観測したりして、沿岸流・離岸流の概要を把握した後、3か所くらい設置する。各測線の投入点は、水深70~100cmから砕波点までの間で、陸上か

らダイバーに合図をして決定する。航空写真撮影時間内で陸上に接近したあるいは打ち上げられたフロートは、その付近の沖に改めて投入する。フロートの回収は、砕波帯内にあるものについては、徐々に陸へ近づき打ち上げられるから待っておればよい。離岸流によって砕波帯外へ流出したフロートは、再度砕波帯内へ流入し浜へ打ち上げられることもあるが、必ずしも再流入しないので、船上から回収する。

撮影時間間隔は、先のボールフロート同様1分くらいが適当である。このときのヘリコプターは、上空旋回しているため、撮影位置に到達する間隔がまちまちであり正確に1分間隔という訳にはいかない。また、対象海域が沿岸方向1km以上になると、1枚のフィルムではカバーしきれなくて区域に分割して交互に撮影する必要がある。このときは、それぞれの撮影位置に到達する時間間隔は、2分程度と長くなる。

航空写真による方法は、多数のフロートを写真解析で同時に追跡するものであるから、海域における非定常な流況の測定にその効力を十分発揮する。しかし、撮影実施までの手続きがめんどうであり、前もって飛行計画を立てなければならず、したがってその時その時に応じて適宜撮影することができない。また航空写真撮影の諸経費が大きいので、撮影時間も短時間にならざるを得ない。これらの欠点のため、流れの解析だけを目的とした場合にはあまりにも高価で適さない。しかし、この方法には副産物がありしかもそれらが砕波帯内水理現象の総合観測にきわめて重要なデータとなっている。すなわち、同時にカラーフィルム上に写される海況から、砕波状況(海底地形の概略がわかる)、砕波帯幅、海水のニゴリ、離岸流の発生とその規模、入射波向等が一枚の写真から読み取れ、さらに時系列的に並んだ複数枚の写真から上記各現象の時間変化が明らかになる。

流れの測定には、以上で述べたフロートを追跡する方法、すなわち時間とともに測定地点が移動しその流跡線を観測する方法(ラグランジュ流速)と、もう一つは、固定点における流速変化を測定する方法(オイラー流速)がある。この後者については、砕波帯内の流速測定として、電磁流速計がよく用いられているようである。現在のところ、我々は電磁流速計等による固定点の流速測定を実施していないけれども、将来の観測システムの一環として拡充していく予定である。

2.2.5 浮遊砂濃度分布の測定

砕波帯中での浮遊砂濃度分布を測定する目的で、新し

い採水装置を開発した。その採水原理は極めて簡易なものであり図-3に示すとおりである。すなわち、水中に図に示すような容量1lのサンプルタンクを置き、出水バルブ(c)を閉じたまま入水バルブを開くと水圧によって採水口から海水がタンク内に侵入し、タンク中の空気は吸排水管(f)から排気される。タンク中に水が充満するとストップボール(e)が吸排水管を閉塞し、採水が止まる。一方入水バルブを閉じて出水バルブを開くと採水タンク中の水は重力によって下方の採水瓶中に落下して行き、吸排水管から、代りに空気が採水タンク中に侵入して来る。一回採水が終わった後、次の採水点に移っても採水口と採水タンクの間のパイプ中には、前の採水点における水が残されている。そのため、次の採水点では、先ず仮採水してその水をサンプルタンク(B)の中に捨て、改めてその地点での本採水を実施している。

このような、採水機構6組が、写真-2および図-4に示すようにソリ状の架台に取り付けられ、鉛直方向に6点の採水口が配置され、各々の採水口から同時に採水出来るよう、6基の採水タンクのバルブ操作は安全に連動されている。採水瓶はターンテーブル上に置かれ、一回の採水が終ると順次回転し鉛直方向に6点の採水を5回な行えるよう、計30個の瓶がターンテーブル上に並べ

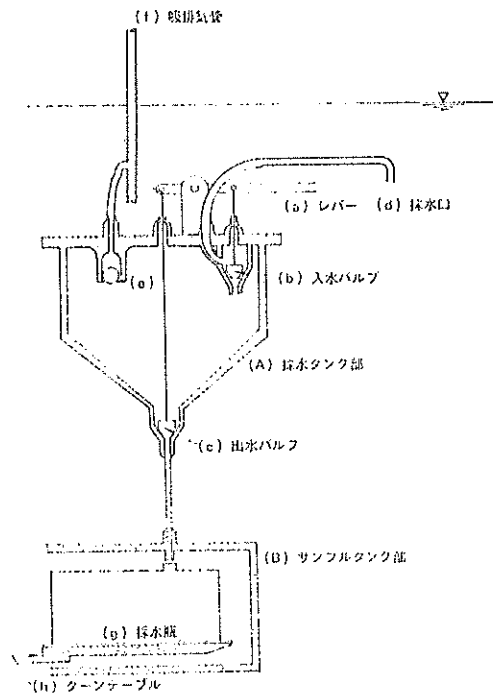


図-3 採水原理図

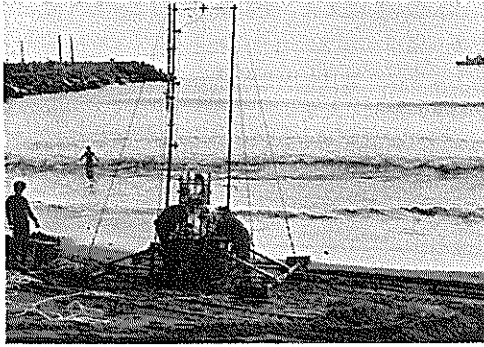


写真-2 採水器外観

られている。

採水器を搭載したソリは後述するように、海上の船と浜上のブルドーザーの間で引き合うことによって碎波帯中に移動するが、採水等のコントロールは、ソリに搭載したバッテリーを動力とし、リモート・コントロールするようになっている。無線送信は、他の電波との混信による誤動作を避けるために、同じ信号を2度受信すると初めて駆動するよう工夫されており、作動の確認は、ソリの塔の先端に取り付けたランプの点滅により行なわれる。また、ソリには先に述べたと同様な容量型波高計(有効測定電極長さ7m)をリボンテープとともに取り付け、採水中の波形を計測し表面波形と浮遊砂濃度の関

係について検討する資料を得ることができる。波形は、そりに気密ボックスを設置しその中でペン書きレコーダに記録される。

重量 800 kg (水中 500 kg) の採水器を碎波帯内で走行させる方法は、 $\phi 20$ mm のロープを結び付け陸上のブルドーザーと海上の船がそれぞれの方向へ牽引するものである。陸方向への牽引はブルドーザーのみでおこない、沖方向へは船で引張りながらその速度調整をブルドーザーがおこなう。ブルドーザーは3t、船は80馬力を必要とする。海上の船は、碎波帯内に入ると危険であるから船に結び付けるロープの長さは少なくとも200m程度必要である。船へのロープの渡しは、まずダイバーが案内ロープを渡し、それを用いておこなう。採水器の移動距離はほぼ碎波帯内であり、したがってブルドーザーも船も同じ距離移動することになる。この作業にとって浜幅が十分ないときは、何回かに分割しブルドーザーが往復するか、滑車を設置し沿岸方向に牽引する必要がある。これらの合図は、浜にいる担当者がそれぞれの操作者にトランシーバーでおこなう。この場合、ロープが切れると危険であるので、担当者は自分の位置に常に注意を払わなければならない。特に滑車を使用して、沿岸方向にロープをL字型に操作しているときはその内側に入ってはならない。採水地点の位置は2台のトランシットによって計測する。

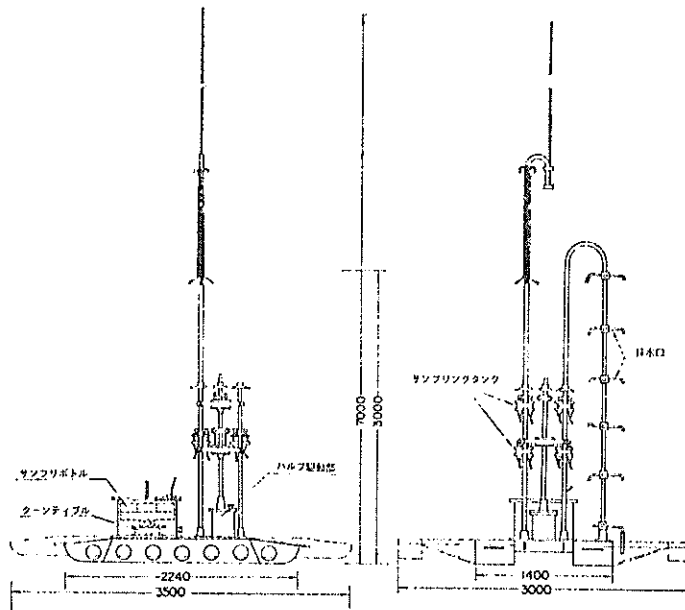


図-4 けん引式採水器外観図

砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

1日の作業能率は、1地点において水深方向6か所、1測線上で5地点を3~4測線実施できるものである。サンプル数は $6 \times 5 \times 3 \sim 4 = 90 \sim 120$ 個となる。採取された海水は測線ごとにまとめて、容積を計量し、その後上澄液を捨て試料ビンに詰める。後で、濾紙を用いて濾過し、濾紙上の残留物へ蒸留水を注いで塩分を洗浄した後、乾燥した浮遊砂の重量を求め、これを採水量で除して浮遊砂濃度とする。さらに必要に応じて粒度分析をおこなう。

この様に流体中に、装置を設置してサンプリングする場合、特に流体の乱れに支配される現象を測定するとき当然その装置を入れたことによって生ずる乱れの影響は避けられない。したがって、測定される浮遊砂濃度は採水器の影響を受けていると考えたほうがよいであろう。事実、航空カラー写真で調べると、採水器のまわりの濁りが若干高いようである。このことは採水方法を根本的に変えない限りは避けられないものであり、かつ採水器の浮遊砂濃度に及ぼす効果を十分に検討していない現段階では、サンプリングした浮遊砂濃度の取り扱いに十分な注意を要する。

3. 観測例

3.1 仙台港南海岸における砕波帯内の波と沿岸流の観測結果

まず、砕波帯内の波と海浜流の観測の一例として、仙台港南海岸における結果を示す。観測地点は図-5に示す通り、港の南側延長0.7kmの範囲である。この海岸は、南端の相馬港から50余kmにわたって続く仙台海岸の北端部に当り、その一般的地形は図-6に示すとおりである。

仙台港南防波堤の延長が伸びるとともに、防波堤からの反射や沿い波がその基部に集中し、防波堤の元付部で著しい局所侵食を受けるようになっている。観測の行なわれた51年11月には、9月から実施された浚渫土砂の投入で回復していた浜が侵食され、写真-3に示すように、3m近い浜墓が形成されていた。

3.1.1 観測の内容および観測期間中の波浪状況

沖波波浪；調査対象海域に到達する沖波の観測は、平均水深-15.4m地点に既設のステップ式波高計によった。特に11月22日は24時間連続で記録した。

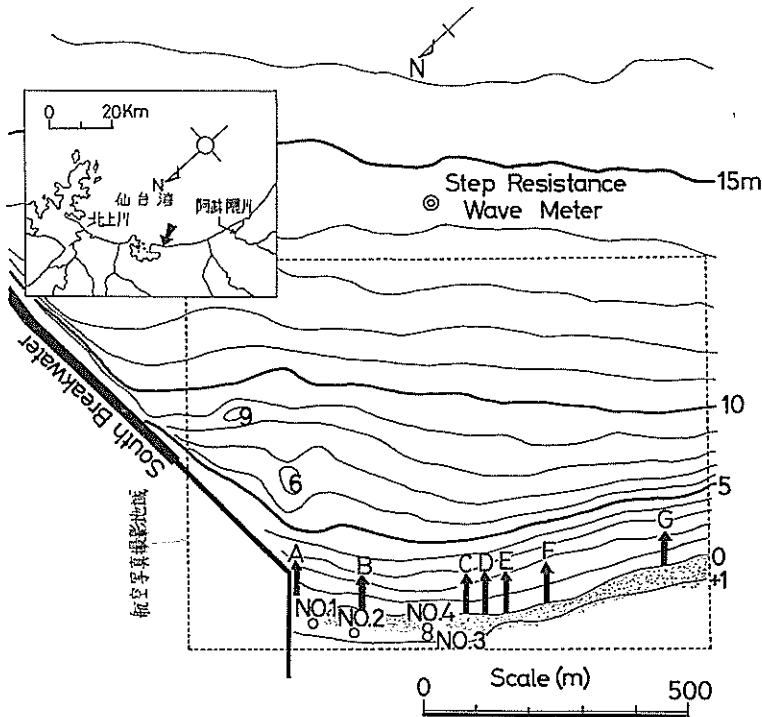


図-5 仙台港南海岸の調査対象地域

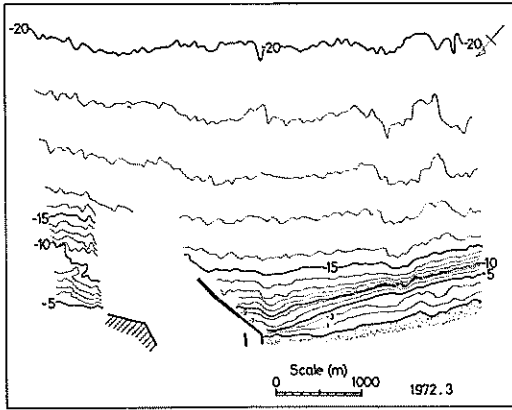


図6 1976年測量の仙台海岸深浅図

砕波帯内の波浪；図-5に示したNo. 1~No. 4の位置に4基の波高計架台を設置し、3台の8mmメモーションカメラによる陸上からの同時撮影と（No. 3, No. 4は1台のカメラで撮影）、4台の容量式波高計の併用による観測を実施した。8mmメモーションカメラによる撮影は1コマ/1秒のスピードでおこない、調査期間中の毎日9時から16時の間で1時間連続撮影後、1時間休止することを繰り返した。一方容量式波高計は、8mmメモーションカメラの観測と同じ時間帯について、途

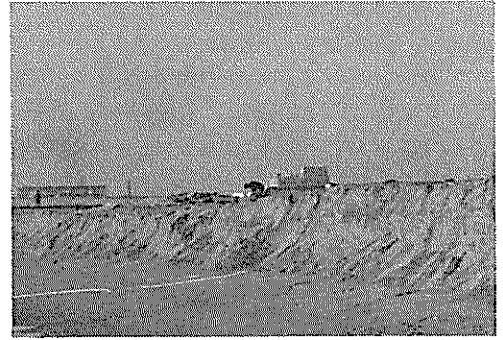


写真-3 仙台港南海岸の浜崖

中データレコーダのテープ取り替えのためのわずかな時間の途絶はあったものの、連続7時間観測を実施した。しかしながら、後者の記録は波が波高計架台近傍で砕波した時先に述べた原因によって、急激な0点のシフトが1~2分継続したため、以後に示す砕波帯内の波のデータとしては、すべて8mmメモーションカメラ撮影によるものが用いられている。

ボールフロートによる海浜流の測定；観測期間中、毎日、図-8の凡例に示すボールフロートを砕波帯内に投入し、その移動を1分間隔で陸上に据えた2台のトランシフトにより追跡した。

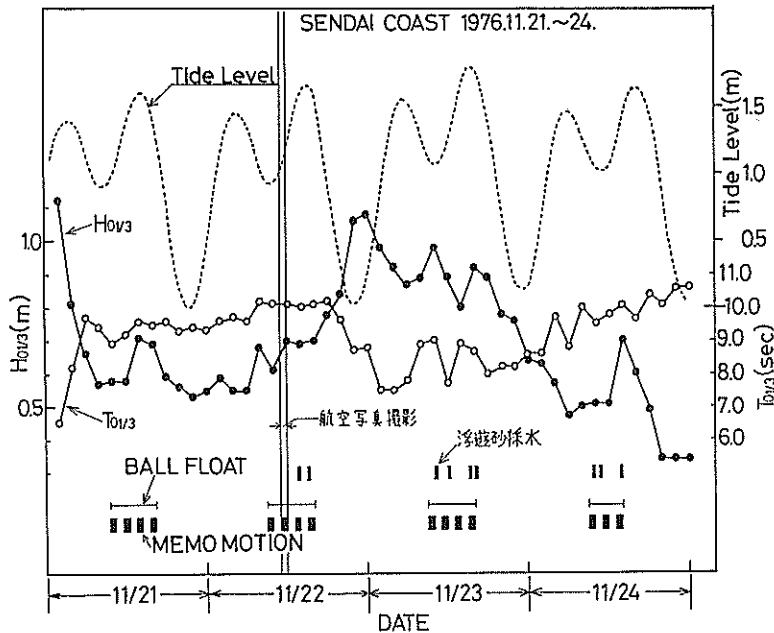


図-7 観測期間の $H_{0.1/3}$, $T_{0.1/3}$, 潮位および観測実施時刻

砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

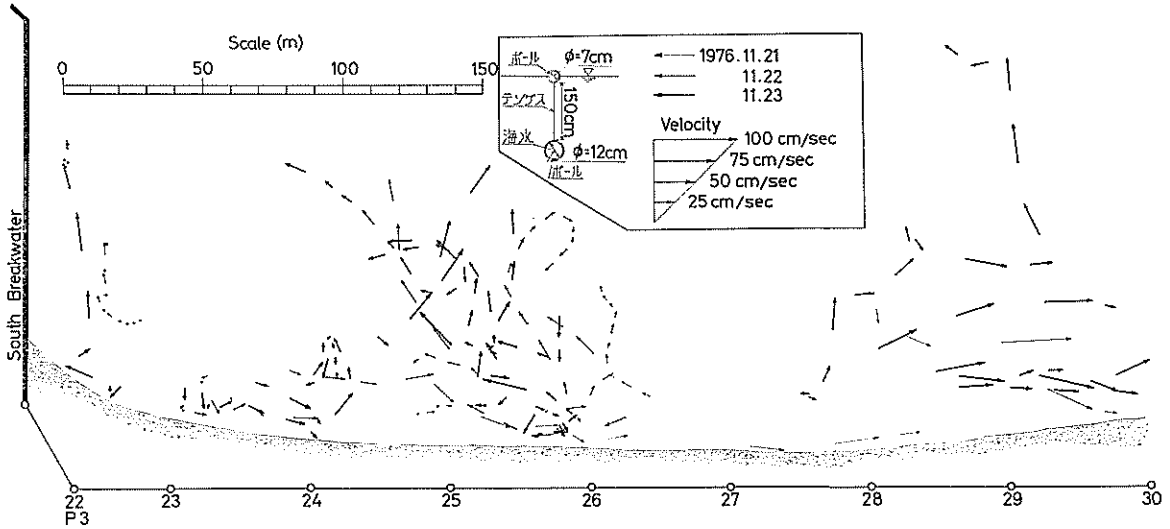


図-8 ボールフロートで観測された海浜流 (1975年11月21日~24日)

航空写真による海浜流の測定; 11月22日11時18分より12時23分までの65分間、ヘリコプターを用いて上空約700mから図-5に示す地域を5秒から60秒間隔で240mmカラーフィルムに撮影し(口絵写真参照)、図-9中の凡例に示したフロートの移動を測定した。なお、観測期間中の深淺測量は実施していない。

これら各観測の実施時刻等は図-7に示す通りである。同図中には、観測期間中の波高、周期および潮位変化(仙台新港潮汐記録による)も示されている。この図によると、4日間の観測はすべて日中の干潮から満潮にむかう上げ潮(日潮不等が大きく、日中の潮位偏差は小さい)に実施されており、その間の潮位変動はほぼ50cm程度である。沖波波高は、11月22日午後から夜にかけて増大し、 $H_{1/3}$ が1.1mに達し23日はほぼ $H_{1/3}=0.7\sim 0.8m$ 、 $T_{1/3}=7\sim 9$ 秒、22日、24日は $H_{1/3}=0.4\sim 0.6m$ 、 $T_{1/3}=9\sim 10$ 秒の波浪条件であった。

3.1.2 海浜流

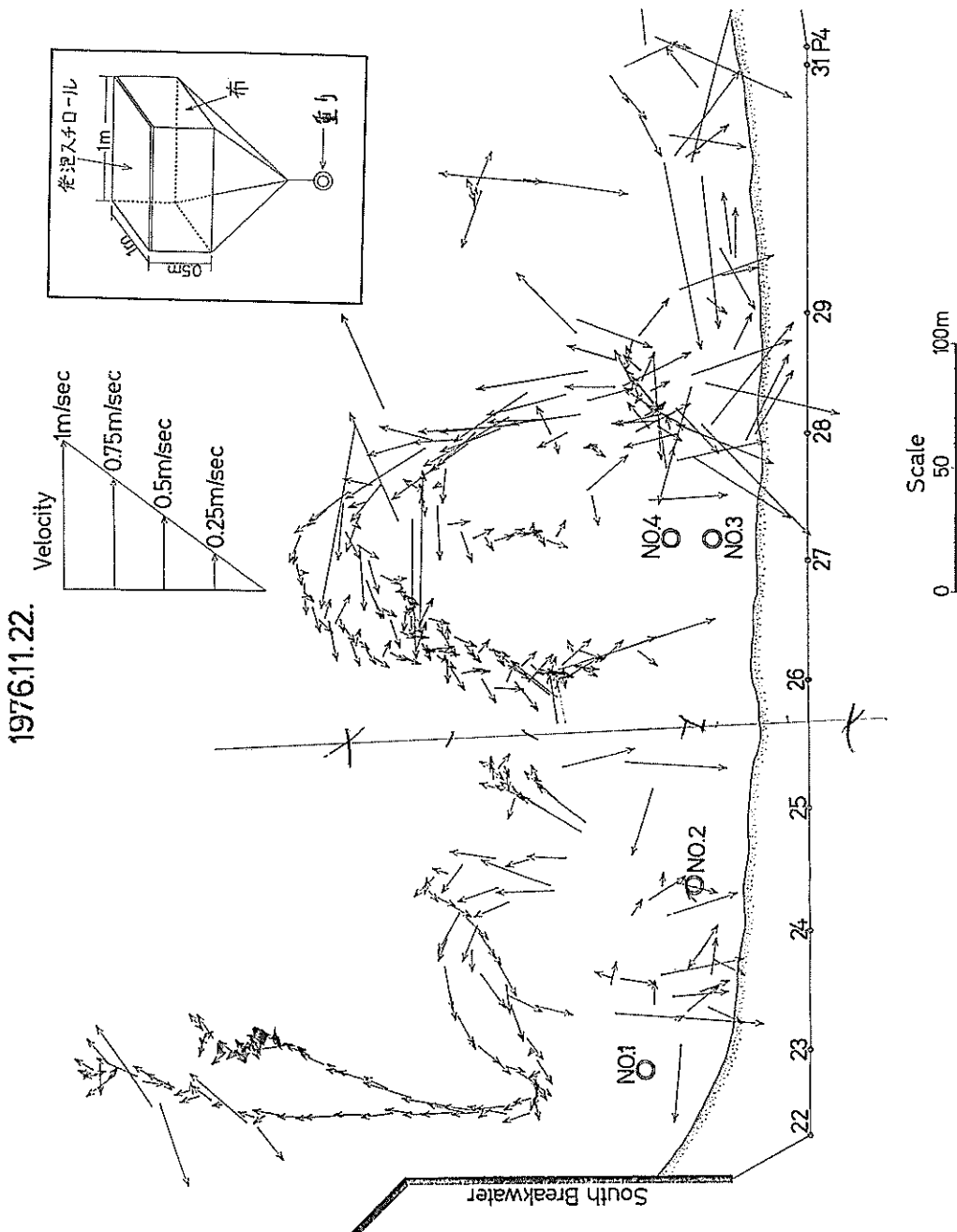
ボールフロートによる観測

ボールフロートを用いて海浜流を観測した結果が図-8に示されている。仙台新港南防波堤に沿う沖向き流れは、11月22,23両日の観測でとらえられた。沖波波高の大きい23日のほうがその流速も大きく、30~50cm/secとなっている。陸上の基準点No.25前面海域に存在している離岸流、離岸流(feeder currents)は、11月21,22,23日のいずれの観測においてもとらえられており、比較的安定した流れと考えられる。離岸流内の最強流速

は約45cm/sであり、やはり沖波波高が大きい23日に観測されている。3日間の結果を重ね合わせた離岸流の横幅は約40mである。この離岸流への離岸流は左右両方向から流れ込んでいるが、離岸流頭は左方向すなわち防波堤に向う傾向があるようである。防波堤基部から基準点No.27に至る約250mの範囲においては、顕著な沿岸流が観測されおらずその流速は20cm/sec程度である。陸上の基準点No.29前面海域に存在している離岸流は、11月23日の観測ではとらえることができたが、11月21日の観測ではとらえられていない。離岸流内の最強速度は約50cm/secである。この位置における離岸流は、基準点No.25前面における場合ほど明確にとらえられておらず、この海域の汀線より離岸方向60m以内の区域には、流速50~80cm/secにも達する強い沿岸流が存在していたことが、11月21日、23日の双方の観測結果よりわかる。ただし、ここで注意しておかなければならないことは、図-8に示されるボールフロートによる海浜流は、実際には3日間、1個のフロートで少しずつ観測した流況をかきね合わせた結果であって、この海域がある瞬間に図-8に示す流況になっているということではない。例えば、基準点No.29前面海域の離岸流と強い沿岸流は、必ずしも同時に共存しているのではなく、正しくはある時間にはいずれか1つが存在していたと解釈すべきである。

航空写真による観測

図-9は、11月22日11時00分から12時00分の間、



砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

あらかじめ砕波帯内に投入したフロートを航空写真撮影によって追跡した結果より求めた海浜流の分布である。この時間帯における離岸流は、防波堤に沿う流れと、基準点 No. 24 および 25 の間すなわち No. 2 波高計前面および、基準点 No. 28 および 29 の間の前面で認められ、それぞれの発生間隔は約 140m と約 180m である。このうち、防波堤に沿う沖向きの流れは No. 2 の波高計前面の離岸流によって沖に流され、その後防波堤に向かって流されつつ岸に近づいたフロートが、再び沖へ流れることによってとらえられたものである。防波堤基部すなわち No. 1 波高計の防波堤基部の間には、フロートが投入されていないため空白になっているが、図-8 の流況から推測して、ここにも沖向きの流れが生じているものと考えられる。基準点 No. 28 および 29 間前面の離岸流は、徐々に左に進路を変えながら汀線より最大約 180m 離れた後、今度は陸に向かって流れ、基準点 No. 26 前面の海域に帰ってくる様子がわかる。No. 2 波高計前面で沖に流失したフロートは一部右に進んでいる。しかし、基準点 No. 24 と 25 間および、基準点 No. 28 と 29 間の離岸流は、おおむね左方向すなわち反時計回りの循環を示す傾向があるのに対し、防波堤に沿う沖向き流れは陸に向かって帰ってこないようである。離岸流速は、防波堤に沿う流れと、基準点 No. 28 および 29 間前面においてそれぞれ最大で 80 cm/sec である。

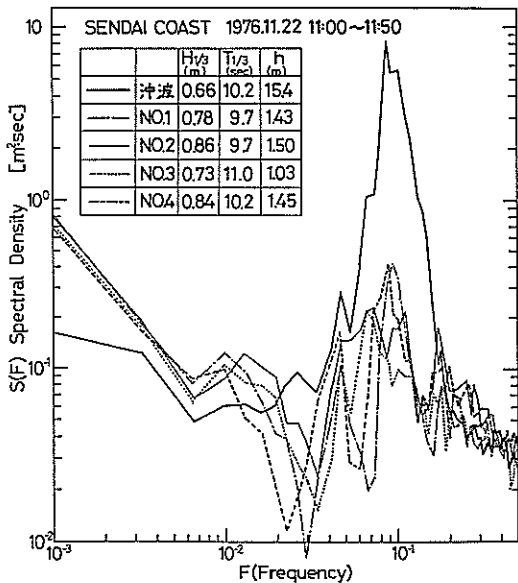


図-10 沖波・砕波帯内のスペクトル(1975年11月22日, 11時00分~11時50分)

このように流速がボールフロートによる観測値(図-8)より流速が大きめになっている原因は、ボールフロートが1分間の平均流速であるのに対し、航空写真撮影の流れが5秒~60秒の平均流速であり、平均時間が短かいものを含むためであろう。

なお、汀線近くにおいて岸向きの速い流れが存在しているかのようにになっているのは、フロートが波乗りした結果である。またフロートが明らかに沖向きに流れ始める点は、汀線から70~80m沖の汀線に平行な直線、すなわち砕波帯幅の外縁線上にほぼ揃っており、砕波帯の内部においては沖に向う流れは測測されていない。図-9の凡例に示す形状のフロートでは、砕波帯内の流れは十分に測定できていないことも考えられ、したがって先に述べた反時計回りの循環がセル状の構造の一部を示しているものか、あるいは蛇行しながら防波堤に近づく流れの一部を示しているのかは、明確にはわからない。

3.1.3 砕波帯内の波浪

航空写真撮影時、すなわち11月22日11時から12時の間と沖波波高の大きかった11月23日11時から12時の間の沖波および砕波帯内の各点における波のスペクトルを、それぞれ図-10、図-11に示す。ただし、図-11に示した11月23日の場合には沖波の時間連続記録が得られておらず、またNo.4の波高計が転倒したため、それらについては記されていない。

図-10によると沖波のスペクトルは、周期11秒付近に際立ったピークを有し、周期21秒付近にも小さなピーク

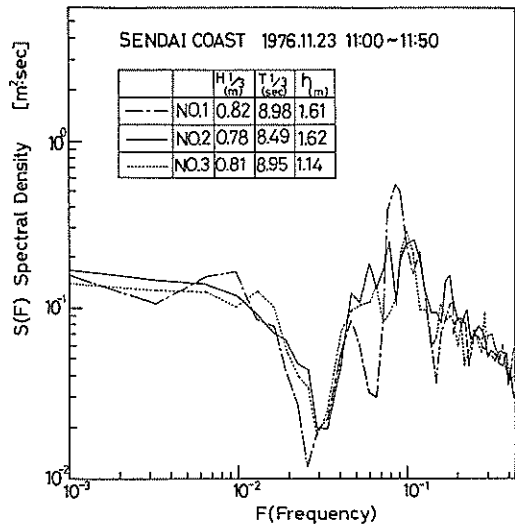


図-11 砕波帯内の波のスペクトル(1975年11月23日, 11時00分~11時50分)

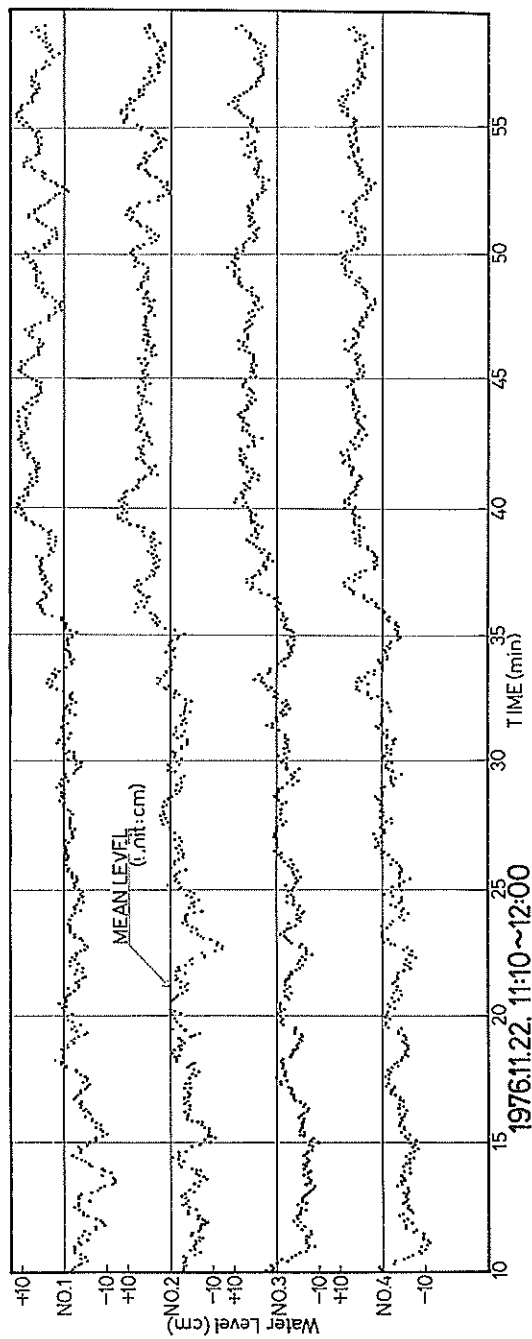


図-12 碎波帯内の水位変動 (1975年11月22日, 11時10分~12時)

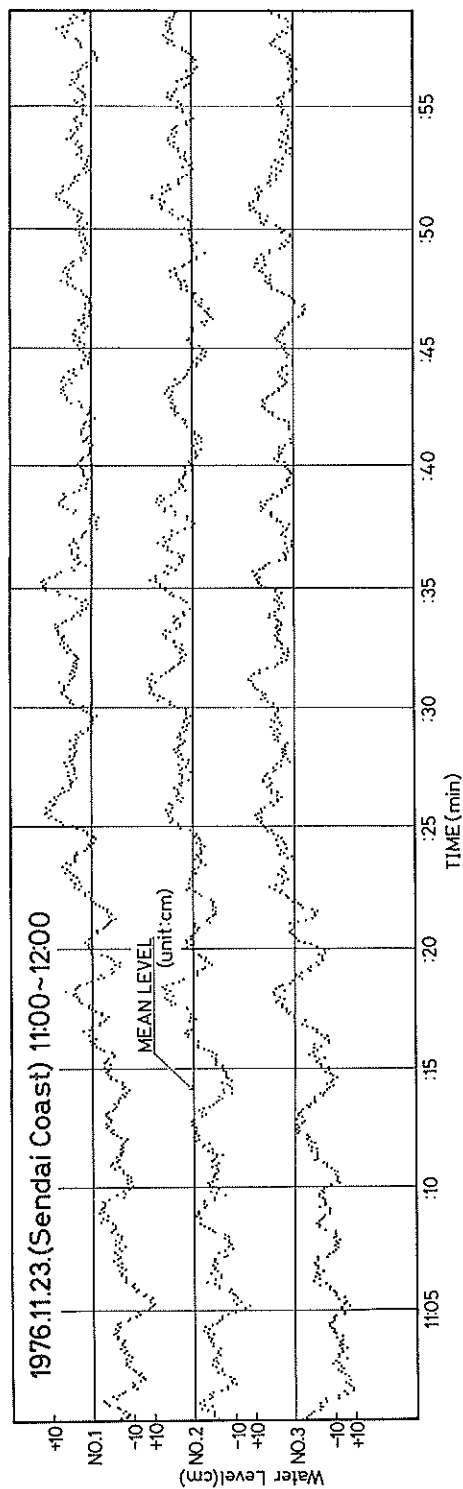


図-13 碎波帯内の水位変動 (1975年11月23日, 11時~12時)

クが認められる。一方、砕波帯内においては周期 11 秒付近のエネルギーが減少し、かつ周期 100 秒付近に新しいピークが認められ、全体に低周波側へのエネルギーの移行が認められる。周波数 $2 \times 10^{-2} \sim 3.5 \times 10^{-2}$ の間で認められるそれぞれの極小値は、入射波が汀線で反射されて形成される重複波のうち、波高計設置位置 (図-5 あるいは図-9 参照) を節とするモードの周波数に対応しているものと考えられる。したがって波高計と汀線の距離が長いほど重複数の波長が長くなり、周波数が小さくなっている。

図-11 においては、 $H_{01/3} = 0.9 \text{ m}$, $T_{01/3} = 8.8 \text{ sec}$ (図-7 参照) で砕波帯内波高計設置水深が 10 cm ~ 18 cm 深くなっているが、全体の傾向としては図-10 に一致している。すなわち、周期 100 秒付近に小さなピークが存在し、かつ重複波によると考えられる負のピークが存在する。 $H_{01/3}$ が 0.66 m から 0.9 m に増加したことによって、砕波帯内有義波高の値はさ程増加していないが、周期 100 秒付近の低周波成分のエネルギーはかなり増大している。この様に沖波エネルギーの増大は、砕波帯内有義波高に影響を及ぼすものではなく、低周波数側へ移行しそこでのエネルギーを増大させるものと考えられる。この様な低周波数エネルギーは、Surf beat, edge wave 等の長周期波によって蓄えられる。

図-10、図-11 のスペクトル解析に使用した砕波帯の波形 data に対して 60 秒移動平均を行なった結果を 5 秒おきにプロットしてそれぞれ図-12、図-13 に示す。各図中の縦軸の No. は図-5 に示した波浪観測位置に対応している。これらの図によると、潮位変化に対応する右上りの水位変動と波高 10 cm, 周期数分程度の周期的な水位変動が存在している。この周期的変動は定常的なものではなく、例えば、図-12 No. 1 のデータについて述べると、10 ~ 20 分および 40 ~ 50 分の間に特に顕著になる。さらに各地点の変動には、特定の時間に限ってきわめて高い類似性が認められ、ある点を比較していくと類似性の高い時期と低い時期が交互に存在する。ただし、図-12 の No. 3 と No. 4 の水面変動は、波高計設置距離が近いため全体を通じて類似性が高い。

3.1.4 離岸流の発生と水位変動

砕波帯内の強い乱れによって巻き上げられた底質の濁りは、離岸流によって沖に流出するものと考えられる。したがって航空写真に写された海水の濁りによって、離岸流の発生位置が判別される。しかし濁りは、離岸流の発生と同時に沖に流出するものではなく、また離岸流が

消滅した後もしばらくの間は、一見すると流れが存在するかのごとく残存し、離岸流の変化に遅れて変化するものと考えられる。そこで離岸流の発生時刻は、にごりの流出によって決定し、消滅時刻は濁りの濃度が次第に薄れかつその分布が変化しないときをもって決定し得るものと思われる (口絵写真参照)。この様にして決定された離岸流の発生位置が、図-5 中に A ~ G の矢印で示されている。

図-14 には横軸に時刻を、縦軸に図-5 に示した離岸流の記号を示し、その位置で離岸流が発生していた時刻に白丸を付した。さらに同じ離岸流と考えられるものについては、白丸を太い実線で結んで区別してある。

図-5 に示す (A) 位置の離岸流は、図-8、図-9 の防波堤に沿った沖向きの流れに相当し、この付近での底質の巻き上げが顕著でなく、際立った濁りの沖への流出は見られなかった。(B) 位置はほぼ No. 2 の波高計設置位置に当る。ポールフロートによる海浜流観測 (図-8) によって流れの状況を詳細にとらえているのは、この離岸流である。(C) ~ (E) 位置における離岸流は、図-8、図-9 の基準点 No. 28 および 29 前面の離岸流に相当し、航空写真撮影中は同時に発生することなく、同一の離岸流の発生位置がこの間で変動しているものと考えられる。この離岸流は調査対象地域で最も規模の大きなものであるが、特に 11 時 51 分 ~ 57 分の間に発生した離岸流 (口絵写真-1) においては、その離岸流頭は沖において分散せず反時計回りの渦を形成した。(F) および (G) 位置における離岸流は、図-8、図-9 にはとらえられておらず、その規模も小さい。とくに後者については発生頻度が低い。

図-14 において明らかなように、これらの離岸流は定常的に存在するのではなく、数分間隔で間欠的にほぼ定まった位置に発生しており、一度発生すると 1 ~ 5 分程度持続されている。さらに、(A) (B), (C) ~ (D) 位置における離岸流はほぼ同時刻に発生消滅する傾向があるようである。ポールフロートによる観測で、離岸流が観測されない日があるのは、ポールフロートの投入が離岸流の消滅時になされた結果であると考えられる。これまでに述べたポールフロートによる調査結果 (図-8) でも明らかなように、4 日間の調査期間を通じてこれら離岸流の発生位置は大きく変化することは概して少なく、特に (A) (B) 位置の離岸流の位置はきわめて安定性が高いものと思われた。

なお航空写真撮影期間中における沖波および砕波帯内

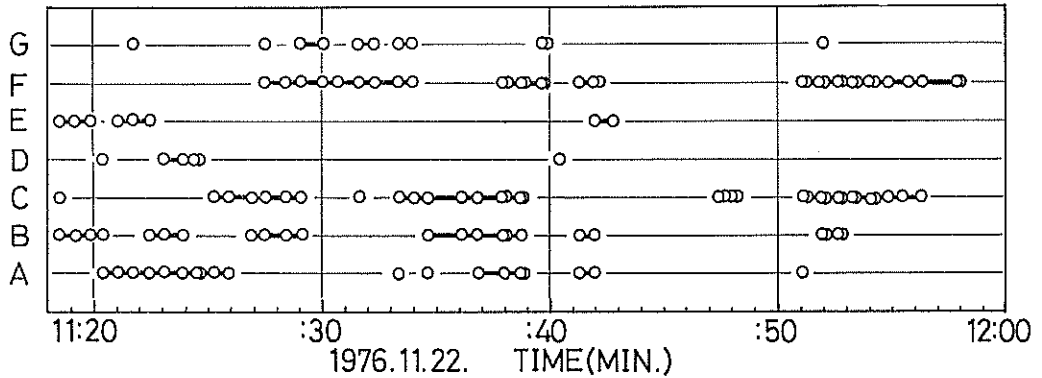


図-14 離岸流の発生時刻 (1975年11月22日, 11時18分~12時00分)

の波浪は、図-10 に示すスペクトルを有し、崩れ波的な碎波状況を呈していた。碎波帯幅は、航空写真上から最も沖側の碎波線から汀線までの距離を読み取るとほぼ80m程度であり、堀川等に習ってこの75%を取ると60mとなる。この値はボールフロートで観測された基準点 No. 28 および 29 前面の、強い沿岸流の存在する範囲とほぼ一致し、また図-9 におけるフロートの沖向きの流れのスタートラインにも一致する。

次に離岸流の間欠的発生と、沿岸方向の水面勾配の関係を (B) 位置における離岸流と、No. 1~No. 3 地点の波形記録に基づいて検討する。

各地点の水位変動には wave set-up の効果が含まれており、それは碎波点からの距離によって異なっている。事実 No. 1 と No. 2 の2地点における1時間平均水位の相対レベルは、汀線に近い後者の方が9mm高い。沿岸方向の水位差を、碎波点からの距離が厳密には各々異なる No. 1, No. 2 および No. 3 の記録から見ると、この wave set-up の影響が含まれていると考えられる。しかしその値は、No. 1 と No. 2 地点の例と図-10 に示されたエネルギーの負のピークに対応した周波数 (波高設置地点の汀線からの相対距離が No. 2, No. 3 でほぼ等しく No. 1 はそれより長い) から類推して10mm以下であろうと推察できる。したがってここでは wave set-up の効果の違いを消去するため、今1時間平均水位を一致させたときに求められる No. 1 と No. 2, No. 2 と No. 3 の間の60秒移動平均水位差の変化を計算し、図-15 に示した。図において、斜線部は中央の No. 2 が両側の No. 1 および No. 3 より高水位、言い換えると水面が沿岸方向に凸状になっている時間を、斑点部は低水位すなわち凹状の時間を各々示している。また、

とくに中央の No. 2 の水位が両側の No. 1 および No. 3 に比べて15mm以上高い場合については下段に黒塗り、No. 2 の水位が両側より15mm以上低い場合については白抜きで示している。更に最下段には、B地点における離岸流の発生とその規模が大、中、小に分離して示されている。ここに離岸流の規模 (大) というのは、離岸流頭が碎波帯の外側まで伸びている場合、(中) は碎波帯をわずかに出た程度、(小) は離岸流頭が碎波帯内にとどまっている場合を意味している。また、離岸流が時間的に連続した同一のものであると判定されるものについては、実線で結んで区別されている。

図から、各波高計間の水面形は凹状あるいは凸状になっていることがほとんどで、一方に単純増加あるいは減少することはまれであることが明らかである。さらに各地点の水位差は周期的な変動を示し、凹状、凸状が交互に生じており、最大の水位差は±6cmにも達する。また (B) 地点の離岸流の発生は、中段黒塗りすなわち、No. 2 地点の水位が両側より高い場合に一致しており、特に11時34分から37分の間においては、No. 2 地点の水位が長時間にわたって高く、発生した離岸流の規模は大きく継続時間も長い。離岸流の規模が (小) のときは、必ずしも No. 2 地点における水位の上昇が生じていない。これは、現象が小さくかつ、No. 1, No. 3 地点がそれぞれ (A), (C) 地点の離岸流発生地点に近いから、それらの離岸流の影響が強くて出ているためと考えられる。

11月23日11時~12時間の No. 1 および No. 2, No. 3 地点の波形データについても同様の処理をして、図-16 に示してある。ただし、このときは航空写真撮影を実施していないので下段に離岸流の発生、消滅および

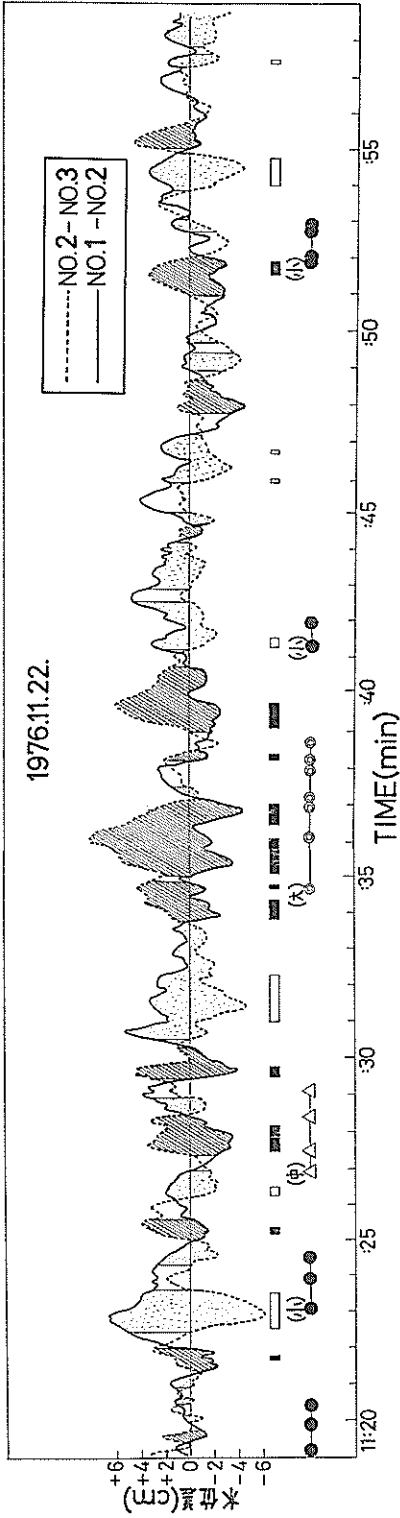


図-15 砕波帯内の水位差と離岸流の発生 (1975年11月22日, 11時19分~12時)

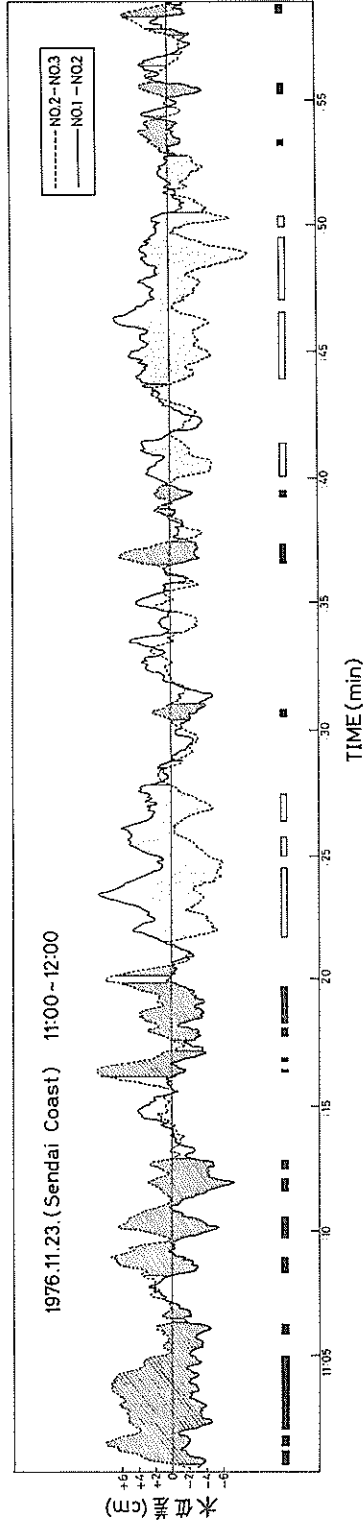


図-16 砕波帯内の水位差の変動 (1975年11月23日, 11時00分~12時00分)

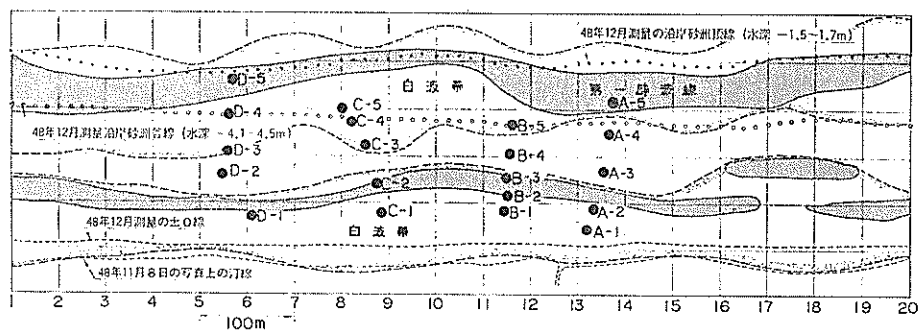


図-17 大洗海岸における採水点の位置

その規模が記入されていない。この図によると、沿岸方向の水面形については、凹状凸状がほとんどであり、一方向に減少・増加するのはまれであるという同じ傾向を示している。すでに述べたように、この日は沖波波高が $H_{1/3}=0.9\text{m}$ であり、航空写真撮影時の $H_{1/3}=0.66\text{m}$ より大きく、このための影響は低周波数側のエネルギー増大となって現われている。低周波数側のエネルギー増大の沿岸方向水面形状に及ぼす影響のため、図15に比べてさらに凹状・凸状が一層際立って現われているように思われる。すなわち、11時00分から20分までの20分間は、主に凸状が継続し、その後22分から5分間と、40分から50分までの10分は主に凹状になっており、その継続時間が前日の観測結果より長い。

3.2 砕波帯内における浮遊砂濃度分布の観測結果

3.2.1 大洗海岸における結果 (昭和49年11月実施)

昭和49年11月8日、大洗町夏海岸において、砕波帯中での浮遊砂濃度分布を測定した。採水点の位置は、図-17に示すとおりであり、観測期間中の海象条件は図-18に示した。図に示したように観測期間中有義波高1.5m

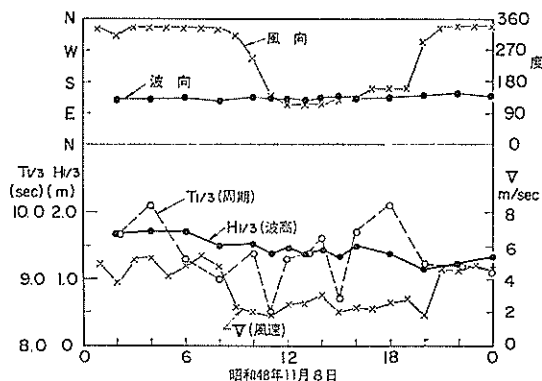


図-18 大洗海岸における観測期間中の海象

程度の波があり、波は沿岸砂州の付近およびより海岸に近い線で砕波していたが、その間の地域も一帯に白波に覆れていた。航空写真から読み取った砕波帯の状況は図-17の中に同時に示されている。

図-19は、各採水点における浮遊砂濃度の鉛直分布を示すものである。一般に浮遊砂の濃度分布は海底に近い程高く、水面に向って急激に低くなる分布を示すものであるが、実測された分布にはこれと異なり、海底から0.5~1.0m付近で濃度のピークを示す分布が認められる。このような浮遊砂分布の地域性を明らかにするために、各採水点が、海底地形と砕波の状況に対応して、どのような位置に相当するかを分類した結果を図-20に示した。これによると、中間部に高濃度の点を示す分布形は、沿岸砂州の海岸側の斜面、沖の砕波線の陸側に多く分布し、岸に近い地点では、次第に底面高濃度の分布形が明瞭になって来ることがわかる。これは、沿岸砂州の頂部における高濃度の水塊が砕波に伴う質量輸送に伴って岸におし流され、沿岸砂州の岸側で中間高濃度型の分布を形成しているものと推察される。

測定結果における濃度レベルは、底面近くで1000ppm~数千ppm程度であり、海底上1m近くでは、数百~数十ppm程度である。底面での濃度は過去において野田等が示した大洗海岸のそれに比べると、かなり高濃度である。それは、著者等の測定がより波の高い条件で行なわれていることおよび採水点がより海底に近いためである。

測定結果から底面積が1m×1mの水柱内の全浮遊砂量を計算し、海底断面と共に示すと図-21のとおりである。図から明らかなように、浮遊砂全量は明らかに沿岸砂州の谷部で少なく、そこから汀線方向および沿岸砂州の頂部方向へ次第に増大している。

砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

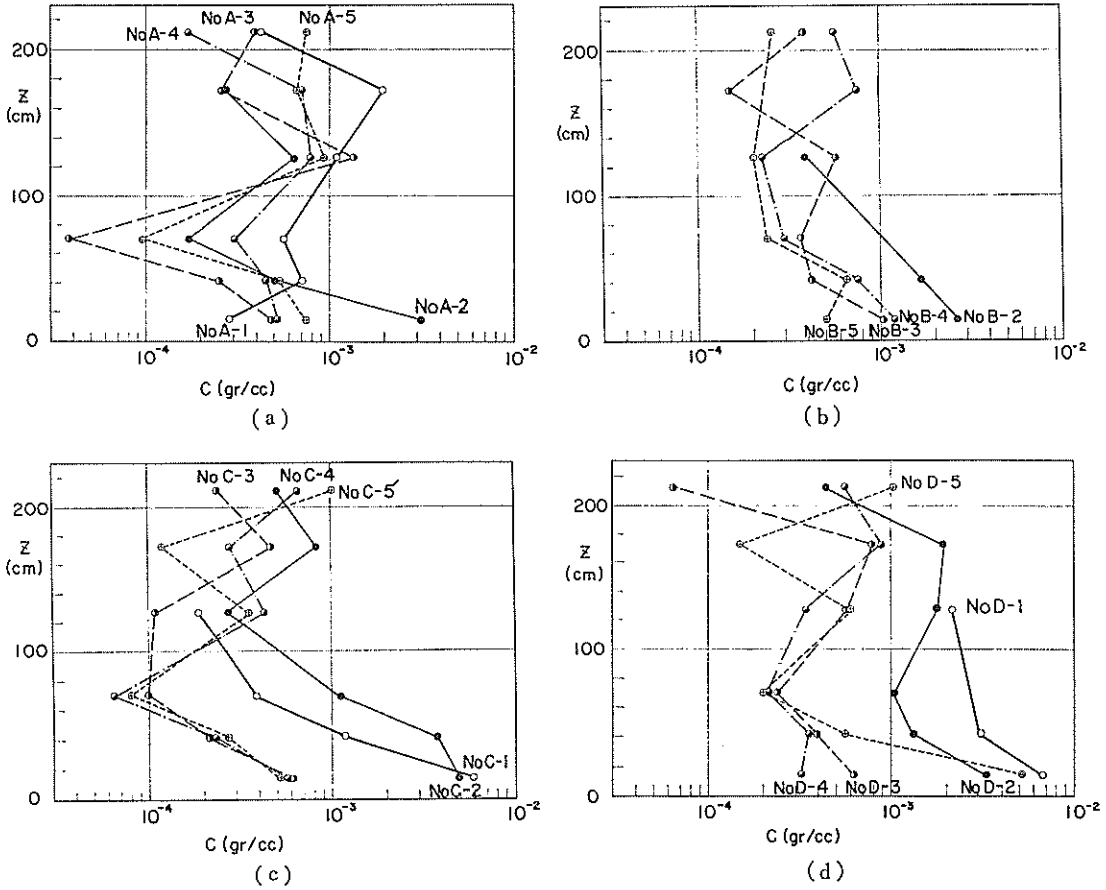


図-19 浮遊砂の鉛直濃度分布 (大洗)

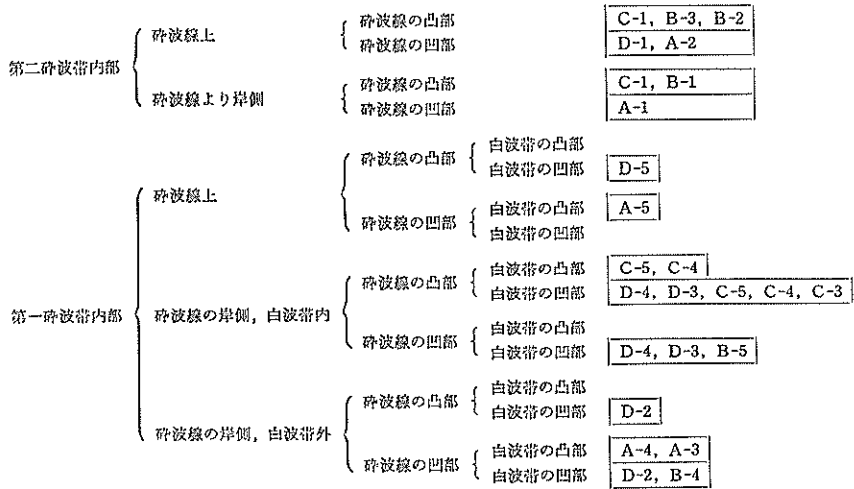


図-20 採水点の分類 (大洗)

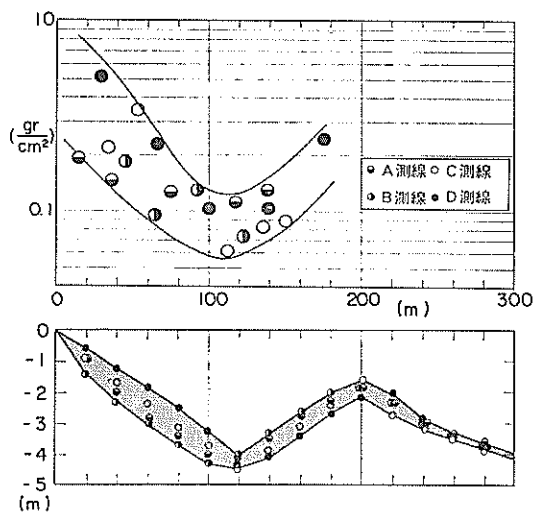


図-21 浮遊砂量の沖方向の分布 (大洗)

3.2.2 仙台港南海岸における観測結果

1975年11月22, 23および24日にわたって浮遊砂の濃度分布を測定した。採水地点は図-22に示すとおりである。測線 No. 25 前面の採水点は図-5に示す離岸流 (B) の 50m 程度南に、測線 No. 29 前面は調査地域中で最も優勢な離岸流群 (C)~(E) のほぼ真中に、測線 No. 34 前面は離岸流 (F) と (G) の中間に、さらに最も南の測線は、離岸流 (G) の南 50m 付近に位置している。

3日間の浮遊砂の濃度分布を図-23 (a)~(c) に示した。図には各地点における浮遊砂の鉛直分布が示されているが、グラフの欄外に海底の 1m² の水柱での全浮遊砂量 (C)、採水時の実水深 (h)、採水点における採水時を含む 10 分間の有義波高 (H) と周期 (T) が示されている。これらの h, H, T は、採水器に取り付けた容量型波高

計によって計測した。

全体を通じて、海底に近い部分における浮遊砂濃度は数百から千 ppm 程度であり、2~3 の点では数千 ppm に達している。浮遊砂濃度の鉛直分布は概して海底に近い程高濃度を示し、海底上 0.7~1.0m 程度で 100 ppm 以下となる。海底面 1m² の水柱中の浮遊砂全量は数百 g であり 2, 3 の地点で 1000g 前後に達している。今仮にこの値の平均値が 0.5kg であり、碎波帯幅を、50 m、平均沿岸流速を 0.5m/sec とすれば、1日の間に碎波帯中で移動する浮遊砂量は 1082 t/day (600~700 m³/day) 程度となる。

図-23 (a)~(c) において、明らかに 11月23日の濃度レベルが他の日に比べ高く、これに次いで 11月24日、最もレベルの低いのは 11月22日である。図-7に示したように、11月20日夜から21日朝にかけて有義波高が 1m を越える波があり、21日朝から22日の正午にかけて有義波高 0.5~0.6m のうねりが続いている。22日夜からは再び波高が増大し、23日は 0.8~0.9m の風波があり、24日は波は 0.5m 以下のうねりとなっている。したがって 23日において浮遊砂濃度が高いのは、観測当日の波が高いことに対応しているものと考えられよう。しかし、24日の濃度分布がより波の高かった 22日のそれより高いのは、23日の高濃度レベルの影響が残っているとしか考えられない。今回の観測では採水地点における採水時の波の特性が計測されているが、この波の特性と浮遊砂濃度との関係は明らかでない。これらの事実は、浮遊砂濃度が、波浪等の瞬時値や空間の中の点の条件で定まるものではなく、時間的、空間的な連続性に強く左右されていることを示している。

11月23日および24日の分布において、測線 No. 29 前面において他の測線より濃度が高い。前述のように、この測線は、調査地域内において最も優勢な離岸流の真

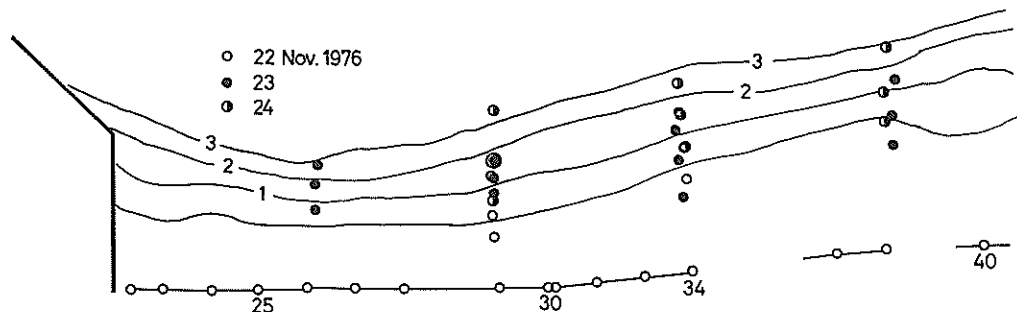


図-22 仙台海岸における採水点位置図

砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例

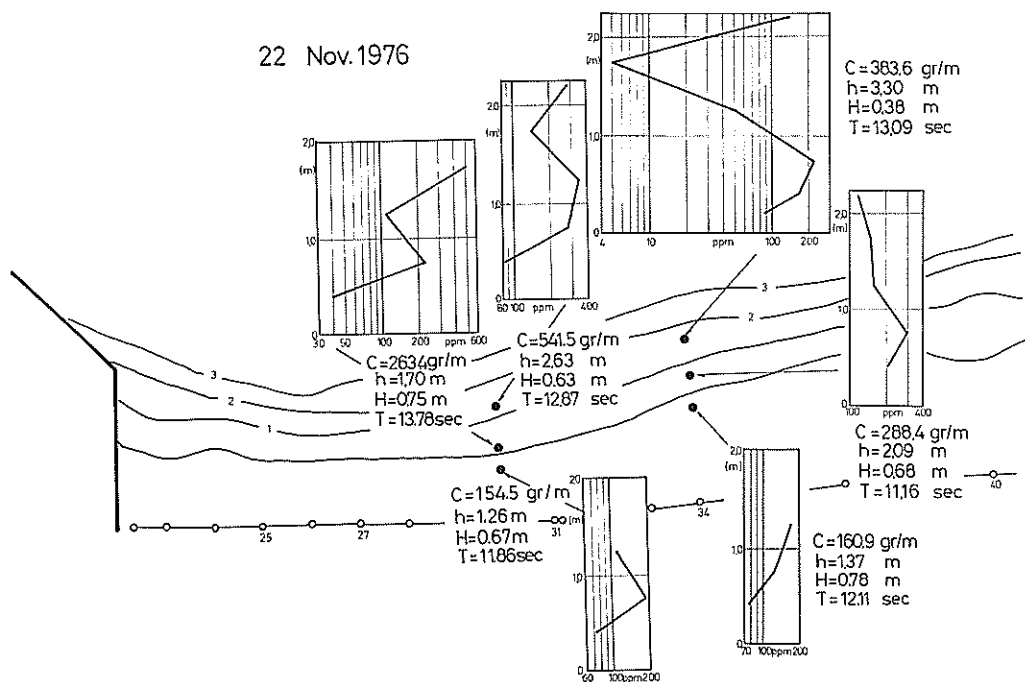


図-23 (a) 仙台海岸における浮遊砂濃度分布

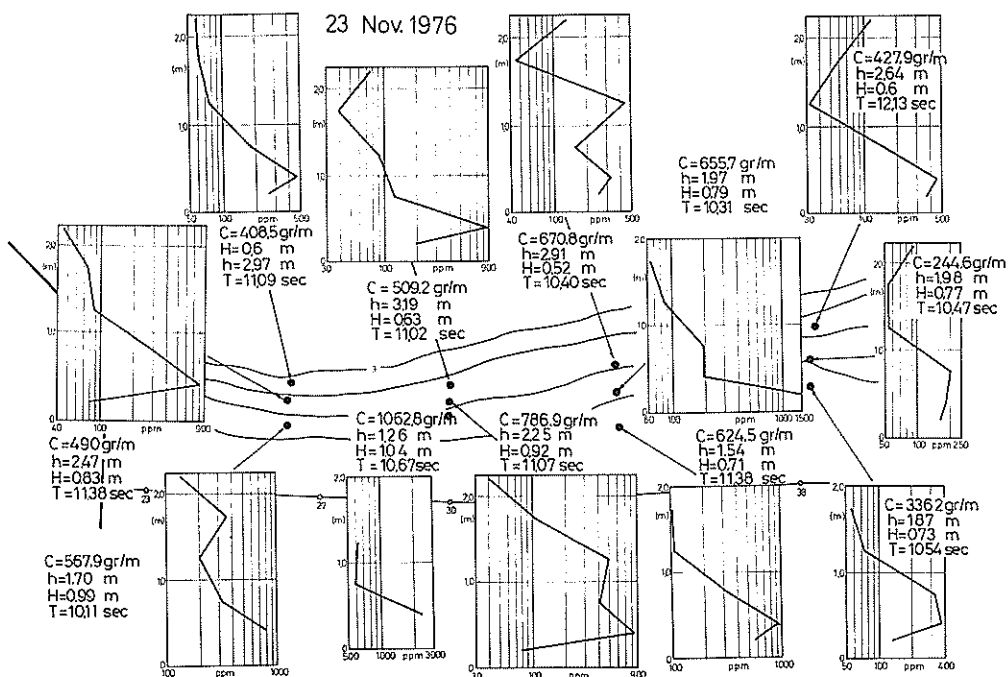


図-23 (b) 仙台海岸における浮遊砂濃度分布

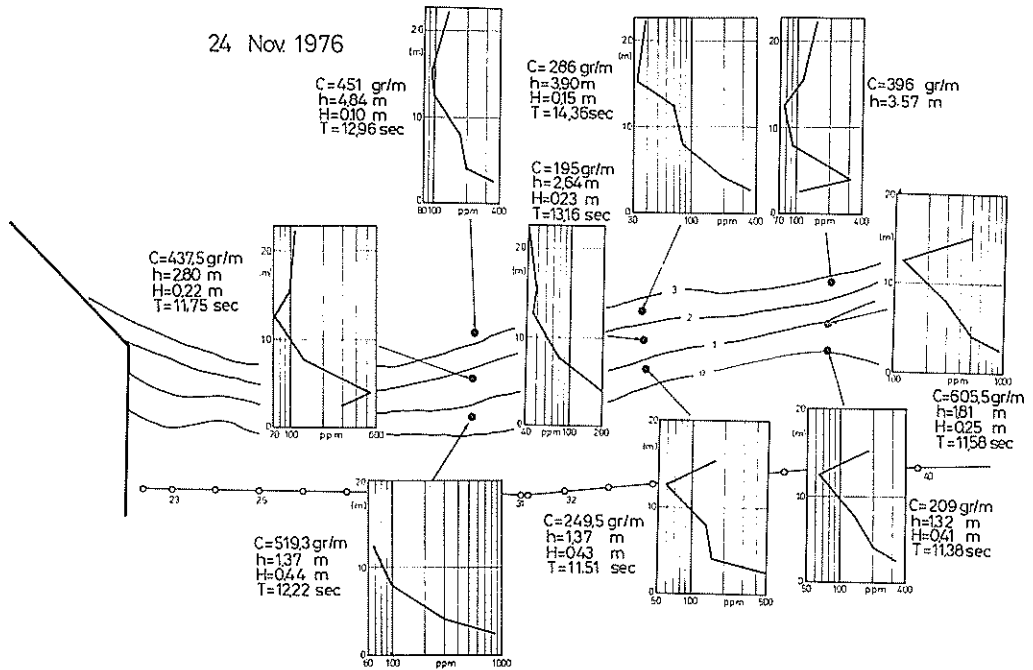


図-23 (c) 仙台海岸における浮遊砂濃度分布

中に位置している。これら兩事実の間に単純に因果関係を認めることは危険であろう。しかし、今後沿岸流パターンと浮遊砂濃度との関係は、追究して行く必要があるように思う。

4. 結 論

本報告に述べられている研究成果を取りまとめると以下の通りである。

観測方法および観測システムについて

1) 著者等が進めて来た砕波帯内水理現象の総合観測システムは、昭和49年以來4回にわたる現地観測の実施によって、次第に充実し、ほぼ所期の目的を達するに至った。

2) このシステム内で完成させた観測手法の主なものは、以下の通りである。イ) 砕波帯内波浪観測および水面勾配の観測に対する容量式波高計およびメモーションカメラの利用、ロ) 砕波帯内の沿岸流の観測方法、および ハ) 砕波帯内における浮遊砂採取装置。

3) これらを含む実際作業の実施上の手法が第2章に詳細に述べられている。

海浜流と砕波帯内の波浪について

4) 砕波帯内においては、沖の波の持つ高周波数(0.1

程度の周波数)帯のエネルギーが減少し、低周波数成分(10^{-2} 程度)のエネルギーの増大が生じ、エネルギーの低周波数方向への移行が認められる。

5) 沖波波高が増大しても、砕波帯内の有義波高はほとんど大きくならない。しかし、低周波数域でのエネルギーは明らかに沖波波高の増大によって増加し、沖波の有義波高の増大分は、砕波によって低周波側へ移行し、そこでサーフ・ピート等の形で蓄えられるものと思われる。

6) 砕波帯内の水面は数分程度の周期で変動しており、その変動の波高は、沖波波高が1m前後の時で10cm程度である。しかし、この変動は定常的なものではなく、間欠的に明瞭になる。

7) 離れた点における前項の水位変動は、きわめて類似した様相を呈する場合と相関性のない時とが周期的に現われる。

8) 防波堤の近くでは、防波堤の近傍に沖向の流れが発生し、これからほぼ砕波帯幅2倍強の一定間隔で離岸流が発生する。この発生位置は、かなり固定的であり、1m程度の沖波波高の変化では変わらない。

9) しかし、離岸流は、それらの位置に定常的に存在する訳ではなく、5分~10分間隔で間欠的に発生している。

(1) 汀線に近い場所に設置した波高計による水位変動を見ると、仙台海岸では離岸流発生位置の背後の水位がその両側より高い時離岸流が発生し、その逆の場合には消滅していた。このように、離岸流の発生は、水位の長周期（数分程度の）変動の位相関係と密接な関係をもっている。

砕波帯内の浮遊砂分布に関して

(2) 沖波波高 1 m 前後の波の場合、砕波帯内の浮遊砂の濃度は、海底面近くで 1000 ppm 前後、海底上 1 m になると 100 ppm 程度となる。

(3) 沖波波高 1 m 弱の場合仙台海岸における浮遊砂量は、600~700 m³/day 程度と推定される。

(4) 砕波帯内の浮遊砂量は、採取点における採取時の波高とあまり強い相関を持たない。しかし、沖波波高が高い日は、全体に濃度レベルが高く、荒天の直後 1 日程度は、波が静まっても濃度レベルが高い。

(5) 浮遊砂濃度は、地形や離岸流との関係に強く左右され、沿岸砂州の頂部や汀線近く、平面的には離岸流の近くで高くなる。

(6) 前項の結果は、浮遊砂濃度が、時間的・場所的な連続性を強く持つ現象であり、1 地点の物理的性質のみで現し得ないことを示している。

5. 謝 辞

本研究の実施に際しては、多くの方々の御協力を受けた。すなわち、観測方法の開発に因しては岩崎社長を初めとする協和商工株式会社の方々に、現地観測の実施に当っては、第二港湾建設局横浜調査設計事務所、塩釜港工事事務所、第三港湾建設局神戸調査設計事務所および高知港工事事務所さらに茨城県三浜港湾事務所の方々である。ここに心からの謝意を表したい。

また、データの解析に際して、港湾技術研究所海洋水理部波浪研究室および水理研究室開発の電算機プログラムを利用した。

参 考 文 献

1) Johnson, D. W.: Shore processes and shoreline development, John Wiley & Sons, Inc., 1919

(訳本として金崎肇訳：海岸における諸作用と海岸線の発達，古今書院，1976 がある)。
 2) Putnum, J. A., W. H. Munk and M. A. Traylor: The prediction of longshore currents, A.G.U., Vol. 30, No. 3 1949
 3) Shepard, F. P. and D. L. Inman: Near shore circulation, Proc. 1st Conf. on Coastal Eng. 1950
 4) Inman, D. L. and W. H. Quinn: Currents in the surf zone, Proc. of 2nd Conf. on Coastal Eng., 1951
 5) Galvin, C. J. Jr. and P. S. Eagleson: Experimental study of longshore currents on a plane beach, M.I.T. Hydrodynamics Lab. Rep., No. 63, 1964
 6) Eagleson, P. S.: Theoretical study of longshore currents on a plane beach, M.I.T. Hydrodynamics Lab. Rep., No. 82, 1965
 7) 佐藤昭二, 田中則男: Field investigation on sand drift at Port Kashima facing to Pacific Ocean, Proc. of 8th Conf. on Coastal Eng., 1966
 8) Bruun, P.: Longshore currents and longshore troughs, J.G.R., Vol. 68, No. 4, 1968
 9) 例えば Longuet-Higgins, M. S. and R. W. Stewart: Radiation stresses in water waves—a physical discussion with applications, Deep-Sea Res., 11, 1964
 10) 例えば Bowen, A. J.: Rip currents, Ph. D. dissertation in Oceanography, Univ. of Calif., 1967
 11) 堀川清司, 佐々木民雄他: 海浜流に関する研究 (第 I 報~第 III 報) 第 18 回, 第 21 回, 第 22 回海岸工学講演会論文集, 1971, 1974, 1975
 12) Huntley, D. A. and A. J. Bowen: Field measurement of nearshore currents velocities, Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., 1974
 13) Harris, T. F. W., J. M. Jordaan, W. R. McMurray, C. J. Verwey and F. P. Anderson: Mixing in surf zone, Int. Conf. on Water Poll. Res., 1963
 14) Inman, D. L., R. J. Tait, P. D. Komar and C. E. Nordstrom: Dispersion of water and sediment in the surf zone, S.I.O. Ref. 69-10, Scripps Inst. Oceanography, 1968
 15) 藤本 昇: 新潟海岸の冬期観測施設とその成果について, 第 4 回海岸工学講演会講演集, 1957 年 11 月
 16) Iijima, T. and Y. Suzuki: Tentative construction of a projection type sounder, Proc. 10th Conf. on Coastal Eng. in Japan, J.S.C.E., Oct., 1963