

大潟海岸における海岸変形に関する観測 (1)

——1970 年冬期季節風時の観測結果について——

土屋 義人・白井 亨・中村 重久
山口 正隆・芝野 照夫・河田 恵昭
吉岡 茂

BASIC OBSERVATIONS ON COASTAL PROCESSES AT OGATA COAST (1)

—— On the Results of Observation in a Monsoon in 1970 ——

By Yoshito TSUCHIYA, Toru SHIRAI, Shigehisa NAKAMURA, Masataka YAMAGUCHI,
Teruo SHIBANO, Yoshiaki KAWATA and Shigeru YOSHIOKA

Synopsis

In order to discover the coastal processes at Ogata coast facing Japan Sea, some basic observations have been conducted. This paper is the first report that deals with some characteristics in the shore process during monsoon especially sand drift, changes in beach profiles and bottom sediments, wave run-up on a beach slope and longshore currents. Changes in the rate of sand drift by waves, beach profiles and characteristics of bottom sediments with coming waves are considered and some results of wave run-up and longshore currents contributive to the beach process are obtained. A consideration of the shore process at the coast is made based on the results of observation.

1. 緒 言

大潟海岸は直江津港より東へ約 10 km 離れた新潟県中頸城郡大潟町の海岸をさすつもりであるが、通常新潟海岸といわれる海岸線の西端に位置するものと考えられる。この地に、昭和 41 年より大潟波浪観測所を設置して、海岸波浪の観測とともに海岸漂砂の観測調査を断片的に実施してきたが、昭和 43 年附属施設として認められたのを契機として季節風時の海岸漂砂や海岸変形に関する調査の実施が考えられてきた。

一方、海岸変形に関する調査は、従来各種の方法によって実施されてきたが、その変形過程にせいぜい季節的変動特性の究明程度が、その時間的変化の観測の限界であったように考えられる。しかしながら、季節風時などのように、一連の海岸波浪の来襲による海岸変形の実態とその機構を解明するためには、来襲波浪の特性に対応する変動を詳細に観測調査する必要がある。幸いこの大潟海岸には、帝国石油 K. K. の第 1 人工島棧橋があるので、汀線より約 250 m までの海底地形の変化とこれに関連する諸観測調査をきわめて有効に実施することができる¹⁾。

以上のことから、大潟海岸における海岸変形をできる限り系統的に観測調査し、海岸過程の実態を究明するために、つぎのような方針によって、今後継続して実施する予定である。この第 1 報はその最初の試みであって、多くの不備な点が少なくないが、海岸過程に関する資料の収集と若干の考察とにおいて、今後のこの方面の研究に寄与したいと考えるものである。

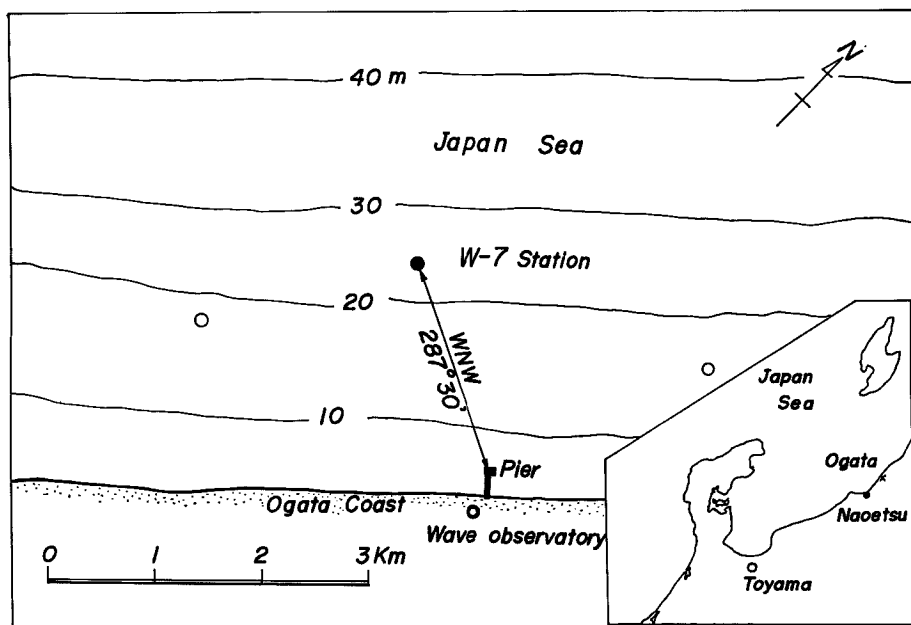


Fig. 1 Location of Ogata coast and Ogata Wave Observatory.

- 1) 来襲波浪とその変形に関する観測
- 2) 波浪流・沿岸流の観測
- 3) 海岸漂砂の観測
- 4) 海底地形と底質特性の変化の観測調査

いかにいへば、漂砂および海岸変形に関する諸現象の一連の観測を実施しようとするものであって、数年以上の継続的な観測調査の集積によって所期の目的を達成することができると思われる。

2. 観測調査の方法

前述したような研究目的で、Fig. 1 に示すような大湊海岸において季節風時の観測調査を実施したが、観測施設などの関係で、今回の集中観測はつぎのような課題に限定された。1) 来襲波浪とその変形に関しては、主として第3人工島に設置されている波浪観測用テレメーターによる波浪観測と汀線付近における波浪の変形特性を調べるために、海浜への波のそ上の観測を実施した。2) 波浪流・沿岸流に関しては、観測法の制約もあったので、主として竹竿浮子による沿岸流の予備観測にとどめられた。3) 海岸漂砂の観測においては、すでに 1965 年²⁾に 1 回実施しているので、その経験を生かして、竹竿式捕砂器による観測のほか採水ビンおよび水中ポンプを利用する方法などによって、できるだけ観測回数を増して、来襲波浪との関係をつけられているように心がけた。4) 海底地形と底質特性の変化については、棧橋に沿う 1 測線のみであるが、1 日に数回測定して来襲波浪との関係を見出すようにつとめた。

以上のような諸現象を相互に関連させて実施したが、その観測期間は 1970 年 1 月 22 日より 25 日までであり、それらの観測調査の方法は、つぎのとおりである。

2.1 波浪

大湊波浪観測所¹⁾では、第1人工島および第3人工島にそれぞれ6台および1台の計7台の波高計を設置して、波浪の観測を実施してきたが、前者は波高桿の海中部分がリークして故障していたため、今回の観測

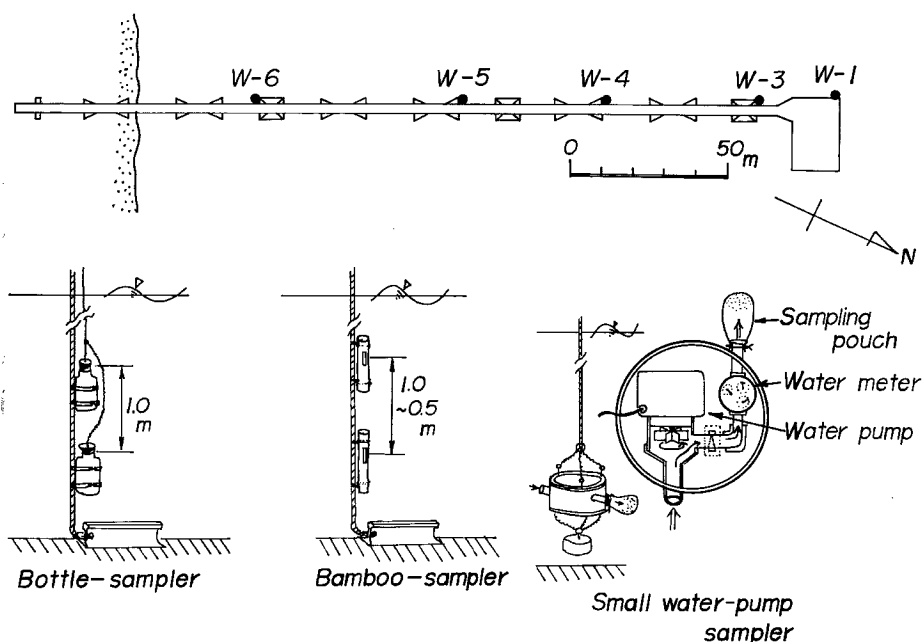


Fig. 2 Sampling stations and sketch of samplers used.

には主として第3人工島における波浪観測テレメーターのみを用いた。この波高計は水深 25 m のところに設置された階段抵抗式のものである。観測期間中は、原則的に来襲波浪の連続記録をとるように心がけたが、第1人工島の波高計についてもできるだけ記録をとるように配慮した。

2.2 漂 砂

海浜の変形は漂砂の移動によって生じるものであり、その漂砂は波浪および来襲波浪による流れや潮流などによって、移動することが明らかにされている。このような漂砂現象は、その輸送形式として掃流形式によるものと浮遊形式による移動とが考えられる。とくに、底質の粒径が細粒のもので構成されている海岸では、波浪との関係によるが一般に浮遊形式で輸送される場合が多い。後者の場合には波による底質の浮遊機構を解明し、来襲波浪のエネルギーと浮遊漂砂量、あるいは来襲波浪のエネルギーの時間的变化に伴う浮遊漂砂の変化とともに、浮遊漂砂量の鉛直分布や海浜断面に沿う分布を知る必要がある。この観測は、このような来襲波浪と浮遊漂砂との関係を季節風の吹き始めから吹き終りに至る来襲波浪の変化と関連づけて明らかにすることを1つの目的としたものである。浮遊砂の採取については、北海道大学の福島^{3), 4), 5)}らによって竹竿式サンプラーが考案されてから、現地海岸において竹竿式サンプラーによる観測が数多く行われてきた。室内実験では、サイホン式⁶⁾による採取あるいは光電管^{7), 8)}などを用いて電気的に浮遊砂の濃度を測定する方法が考案されている。著者らは、今回の観測においては竹竿式サンプラーによるもの、採水ビンによるものおよび超小型水中ポンプを用いて試作された捕砂器の3つの方式を採用した。なお、超小型水中ポンプによる捕砂器の構造は、魚類の飼育用に開発された水中ポンプに、その排水パイプの途中に微流量計を取り付け、しかも排水口に取り付けた布製の袋によって浮遊砂を採取するようにしたものである。なお、Fig. 2には観測に用いた竹竿式サンプラー、採水ビンおよび超小型水中ポンプの概略をもあわせて示しておいた。

2.3 海底地形および底質

a) 桟橋に沿う海底断面：第1人工島桟橋の床上よりハンドレッドを用いて海底までの距離を求め、別に精測した桟橋の断面形を用いて海底断面図を作図した。この方法によれば、船上より水深を求めて断面を

得るのに比べて、測位誤差もなく測深誤差も非常に小さいものとすることができ、確度の高い海底の断面形状を全天候時に連続的にうることができる。

b) 底質：棧橋の床上より直径約 9 cm の空缶を利用した小型パイプドレッヂを等深線にそってひくことによって、底質を採取した。したがって、採取した底質は、海底表層約 5 cm 以内のものと思われる。汀線付近の大きな礫は直接あるいはより大型のドレッヂを用いて採取した。それらの試料は篩を用いて粒度分析し、その結果は Inman⁹⁾ にしたがって整理し、底質特性の諸数値を求めた。

以上の観測方法による海底の断面の測定は、1970 年 1 月 22 日～25 日の各日原則として 4 時間ごとになったが、このうち 24 日から 25 日にかけては、26 時間にわたって 4 時間ごとに連続した観測を実施した。なお、全長約 300 m の棧橋を 4 m 間隔で、150 m ずつ 2 組の観測者が測定し、1 回の観測に要した時間は約 1 時間である。断面図の基準海水面は便宜上 1969 年 9 月 11 日午前 10 時ごろのものをういたが、1970 年 9 月 9、16 日、10 月 5 日の各日の海水面を後述する海底断面図中に測定時間とともに参考までに併せて記入した。なお、調査地点の潮位差の正確な値は不明だが、0.3 m 程度と思われる。また、底質は 22、23、24 および 25 日の各日の 10 時から 16 時までの間に、5 m～10 m 間隔で採取した。

2.4 波の遡上

波の遡上の観測は昭和 45 年 1 月 22 日から 1 月 24 日にかけて行なわれた。すなわち、棧橋から約 50 m 離れた地点の海浜の縦断方向に測量用のポールを 2 m ごとに約 20 本打ち込み、前もってそれぞれの高さの水準測量を行なって、各点の高さを求めた。つぎに、棧橋の上に 16 mm 撮影機を据え、その視野にポールを打ち込んだ海浜断面が入るようにして、毎秒 8 コマで約 9 分間連続して海波に浜の打ち上がる様子を撮影した。そのときの波高は棧橋に取り付けた階段抵抗式波高計と第 3 人工島における波浪観測用テレメーターによって測定した。そして撮影開始時には、波高記録にチェックが入るようにして、1 波ごとの波と打ちあげ高との対応関係がつけられるように考慮した。

2.5 沿岸流

観測に用いた浮子は Fig. 3 に示されるような構成になっている。すなわち、長さ約 3.5 m 外径 5 cm の竹竿の一端にブリキ製十字板をとりつけ、竹竿のほぼ中央部には竹節製浮きをとりつけたものである。この竹竿浮子は十字板と竹節との効果で海中に直立し、竹竿の頭が約 0.5 m 海面上に露出するようにして、その頭部には、赤色あるいは白色の旗印をつけ、追跡に便利になるようにした。

観測にあたって、まず棧橋上から海中の竹竿浮子を投入し、これを海浜上の 2 定点のトランシットにより追跡する方法をとった。竹竿浮子は棧橋付近での水深を考慮し、深さ方向の平均流で流されるようにした。この観測では、2 台のトランシットの距離は 200 m であり、その 2 点間を結ぶ線を基線とした。Fig. 4 に示すように、基線に対する竹竿浮子の方位角を 30 秒毎に、2 台のトランシットで同時に測定し、竹竿浮子の流れによる移動を追跡した。別に、漂流瓶による流速観測も行なったが、これは棧橋を漂流瓶が横断するに要する時間を計測し、棧橋の幅とその時間とから平均表面流速をもとめた。

3. 観測調査の結果とその考察

以上の方法によってえられた観測調査の結果と若干の考察の結果を述べれば、つぎのようである。

3.1 来襲波浪の特性

Fig. 5 は第 3 人工島における波浪記録を有義波法で 2 時間ごとに整理し、有義波高 $H_{1/3}$ および有義波周期 $T_{1/3}$ の時間的変化を示したものであるが、図中にはこれらから計算される沖波波高 H_0 、沖波のエネルギーフラックス EC_0 、沖波の波形勾配 H_0/L_0 と合田³⁾ の碎波指標を用いて計算した碎波高 H_s および碎波水深 h_s をも図示しておいた。ただし、図中において、23 日 2 時以前の記録はつぎのようにして直江津港の記録から推定したものである。

大潟海岸より約 10 km 離れた直江津港では、水深 11.0 m のところに水圧式波高計を設置して波浪観測

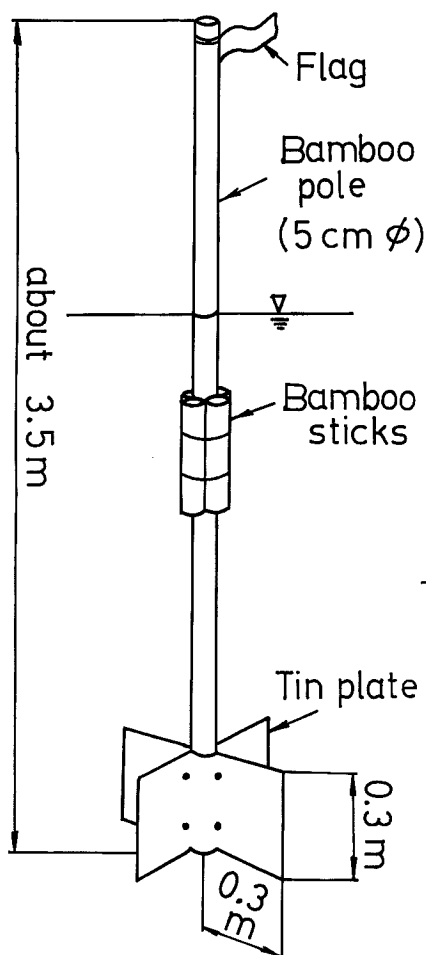


Fig. 3 Bamboo-bouy target for observation of longshore currents.

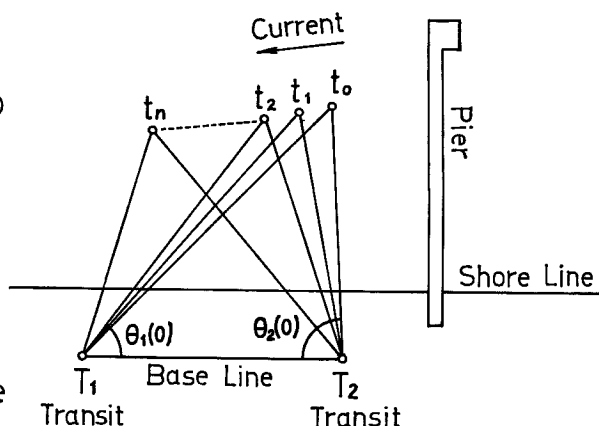


Fig. 4 Schema of tracking of a bamboo-bouy target in longshore current field.

を実施しているので、上記と同じ期間の有義波の時間的変化を大潟海岸における結果と一緒に図示したものが Fig. 6 である。この結果から、波浪特性についての両者の対応をつけると、有義波高および有義波周期のそれぞれについて Figs. 7 および 8 がえられた。これから両者にはかなりのばらつきがあるけれども、周期の方は大体等しいが、波高については直江津港の方が若干大きくあらわれていることがわかる。これらの結果を用いて、直江津港の波浪特性から 23 日 2 時以前の大潟海岸の有義波を推定したのである。

Fig. 5 に示した観測および推定の結果から、前述した観測期間中にその規模は小さいが 1 つの季節風による波浪が来襲し、23 日 10 時ころより急激に波高が増大し、24 日 2 時ころに最大となって以後漸次減少したが、その間最大の有義波高は 4 m 程度に及んだことがわかる。

3.2 漂砂の特性

a) 浮遊漂砂の分布特性：浮遊漂砂の採取期間とその期間における来襲波浪の特性を示したものが Table 1 (1)~(3) である。ただし波浪は前述したように第 3 人工島での水深 25 m における観測値である。

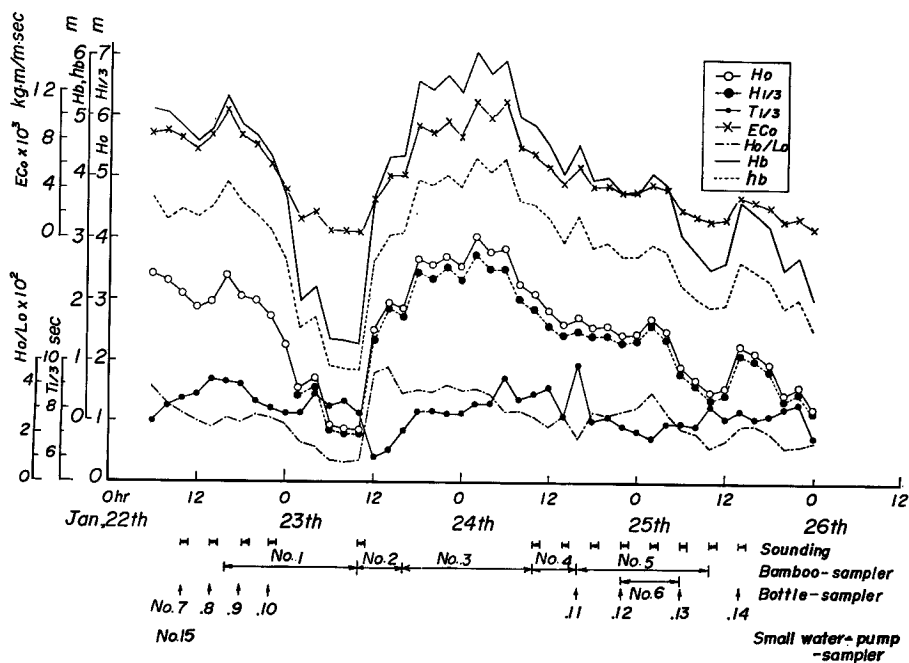


Fig. 5 Wave characteristics at W-7 station during observation.

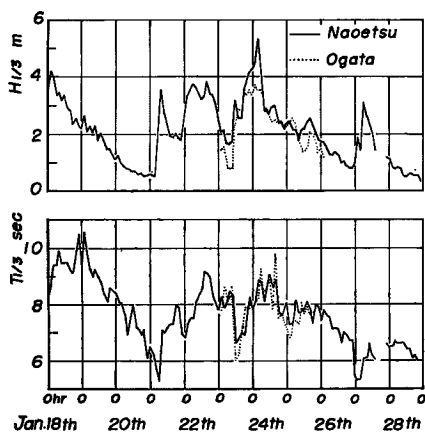


Fig. 6 Changes of wave characteristics at Naoetsu and Ogata.

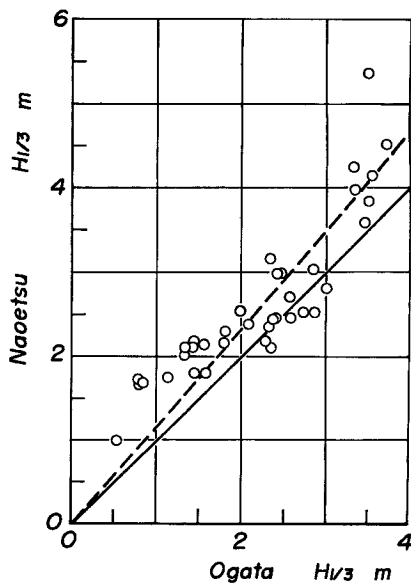


Fig. 7 Correlation of significant wave height at Naoetsu and Ogata.

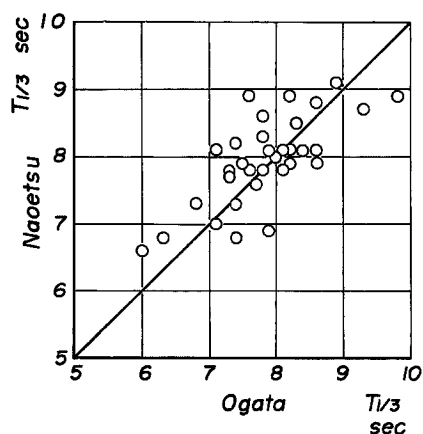


Fig. 8 Correlation of significant wave period at Naoetsu and Ogata.

Table 1 (1) Sampling of suspended sediment by bamboo-sampler.

No.	Period of sampling	Sampling time	Sampling station	Significant wave height	Significant wave period
1.	Jan. 22, 16 hr to Jan. 23, 10 hr	18 hrs	W-1 ~ W-6	0.79~3.83m	6.6~8.6 sec
2.	23, 10 hr 23, 16 hr	6	W-1 ~ W-6	0.79~2.86	6.0~7.8
3.	23, 16 hr 24, 10 hr	18	W-1 ~ W-6	2.73~3.72	7.1~9.3
4.	24, 10 hr 24, 16 hr	6	W-1 ~ W-6	2.42~2.85	7.8~9.8
5.	24, 16 hr 25, 10 hr	18	W-1 ~ W-6	1.33~2.58	6.8~9.8
6.	24, 22 hr 25, 6 hr	8	W-3, W-4, W-5	1.79~2.58	6.8~7.4

Table 1 (2) Sampling of suspended sediment by bottle-sampler.

No.	Period of sampling	Sampling station	Significant wave height	Significant wave period
7.	Jan. 22, 10 hr	W-1 ~ W-6	3.45m	8.4 sec
8.	14 hr	W-1 ~ W-6	3.35	9.2
9.	18 hr	W-1 ~ W-6	3.39	9.0
10.	22 hr	W-1 ~ W-6	3.02	8.0
11.	24, 14 hr	W-1 ~ W-6	2.42	7.8
12.	22 hr	W-1 ~ W-6	2.29	7.3
13.	25, 6 hr	W-1 ~ W-6	1.79	7.4
14.	14 hr	W-1 ~ W-61	2.08	7.9

Table 1 (3) Sampling of suspended sediment by small water-pump-sampler.

No.	Period of sampling	Sampling station	Significant wave height	Significant wave period
15.	Jan. 22, 10 hr	W-4	3.45m	8.4 sec

浮遊漂砂の観測は昭和45年1月22日から25日にわたって実施し、竹竿サンプラーと採水ビンによる浮遊砂の採取位置は、Fig. 2に示すように著者の一人芝野らが1967年1月に行なった浮遊漂砂の観測と同じ位置である。

浮遊漂砂の鉛直分布については、福島らが数多くの現地観測の結果によって、一般の砂浜海岸ではいわゆるくの字形分布をすると述べている。しかしさきの観測ですでに明らかにされたように大湊海岸では、それにくらべて指數的に海底付近から海面に向かって、その浮遊砂の捕砂量が減少する傾向にある。

Fig. 9は、竹竿式サンプラーによって採取した捕砂量の鉛直分布を示したものである。ここに、縦軸の

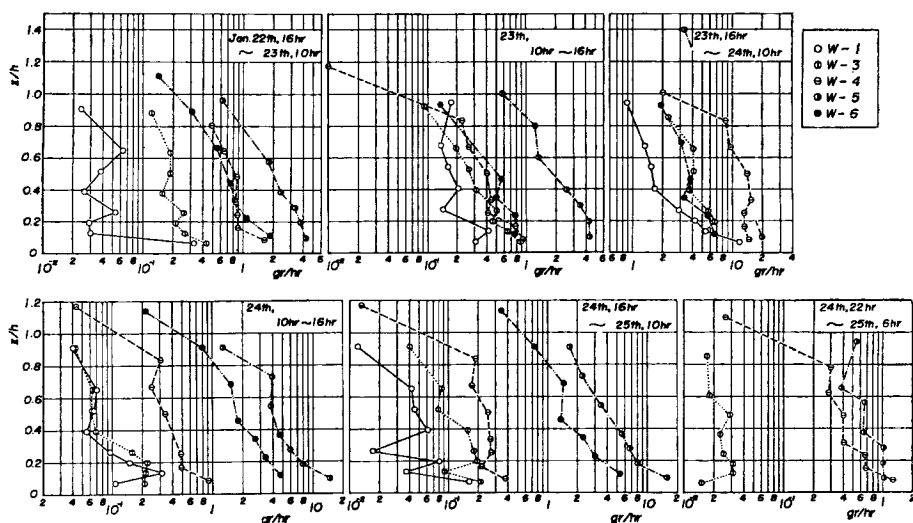


Fig. 9 Vertical distribution of rate of suspended sediment sampled by bamboo-sampler.

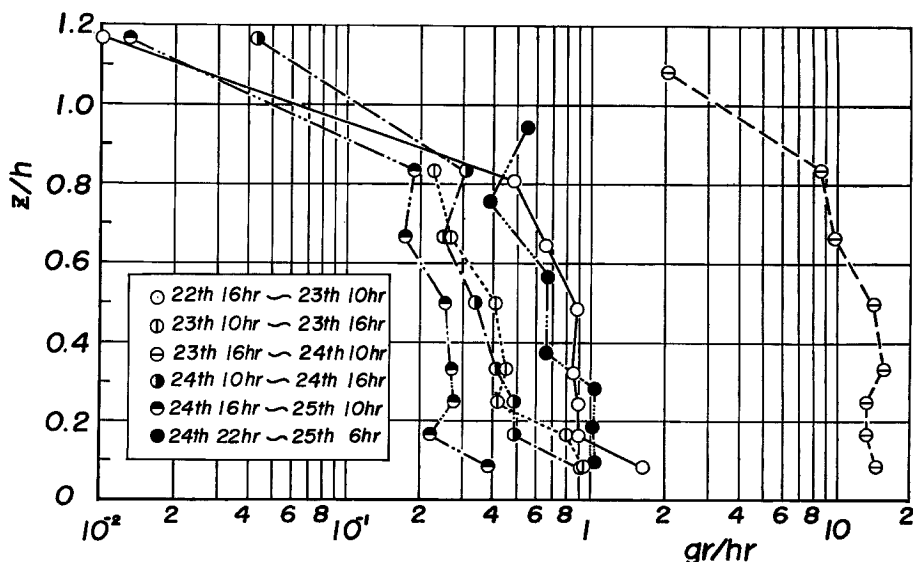


Fig. 10 Variation of rate of suspended sediment sampled by bamboo-sampler at W-4.

Z/h は竹竿式サンプラーの海底からの高さ Z を水深 h との比で示したものである。また、捕砂量は資料の採取時間が異なるために単位時間当りの採取量として示した。Fig. 9 は、Fig. 5 に示す観測期間中における来襲波浪の有義波高および有義波周期の変化とともに、その捕砂量も変化している。Fig. 10 に示す浮遊砂の採取位置 W-4 における竹竿式サンプラーによる捕砂量は、上述の来襲波浪の変化に伴って大きな差があることが明らかで、観測期間中もっとも大きな波高約 4 m の波浪が来襲した 23 日 16 時から 24 日 10 時にかけて、その捕砂量が最大となり、その前後では捕砂量が単時間当り $10^{-1} \sim 1 \text{ gr}$ であるが、23 日 16 時から 24 日 10 時には単位時間当り 10 gr 程度と 10 倍以上になっている。竹竿式サンプラーによる採取とあわせて行なった採水ビンによる浮遊砂の採取資料は、採水量が 2.5 l とその量が少なかったために、浮遊砂の採取量はきわめて微量で、Fig. 9 に示す竹竿サンプラーを用いた場合のような一定の分布傾向を表わしていない。一例として 24 日 22 時に採取した資料の鉛直分布を Fig. 11 に示す。これによると、捕砂量は海底から海面までほぼ一様の分布を示すが、若干海面近くでその量が減少するようである。また浮遊砂の採取位置 W-1 から W-6 の汀線から沖方向における捕砂量の分布においても、ほぼ一様の $2 \times 10^{-4} \text{ gr/cc}$ 程度

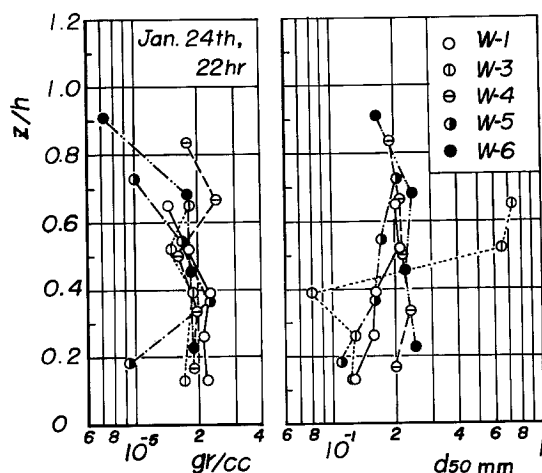


Fig. 11 Vertical distribution of sediment sampled by bottle-sampler.

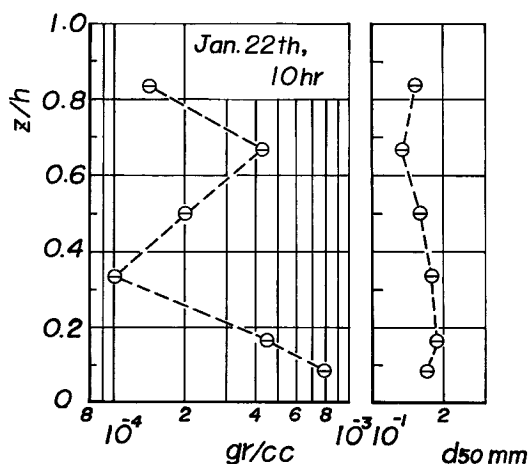


Fig. 12 Vertical distribution of sediment sampled by small water-pump sampler.

の値を示している。これは竹竿式サンプラーによる資料に見られるような、W-5 付近の捕砂量が最大となる傾向はみられない。また、超小型水中ポンプによって採取した浮遊砂の資料は、その採取回数が22日10時のW-4の位置における1鉛直断面方向のものである。前述したように超小型水中ポンプには、浮遊砂の捕砂袋の前に流量計を取り付けてあるので、これによって採水量を決定した。この方式によって採取した資料を示したものがFig. 12であるが、これによれば浮遊砂の捕砂量の分布は、竹竿式サンプラーによる鉛直分布と同様の海底付近の捕砂量が多いという傾向がある。しかし採水ビンによる捕砂量との比較では、その量が採水ビンによるものより10倍以上も多くなっている。これは22日10時の有義波波高が約3m、24日22時まで約2.4mと来襲波浪特性の相違によるものと考えられる。

竹竿式サンプラーによる浮遊漂砂の捕砂量から、長大栈橋に沿う単位時間当りの等捕砂量曲線を描いたものがFig. 13である。なおこの図中には、浮遊漂砂の観測時にもっとも近い時間に行なった測深の結果による海底地形をもあわせて示した。いずれの採取期間中においてもW-5付近で捕砂量の分布が最大となっている。この等捕砂量曲線が高い値を示す範囲が、採取期間によって多少汀線側あるいは沖側へと移動しているのは、砕波点付近が最も浮遊漂砂濃度が高いと言われていることから、来襲波浪の波高変化に伴う砕波

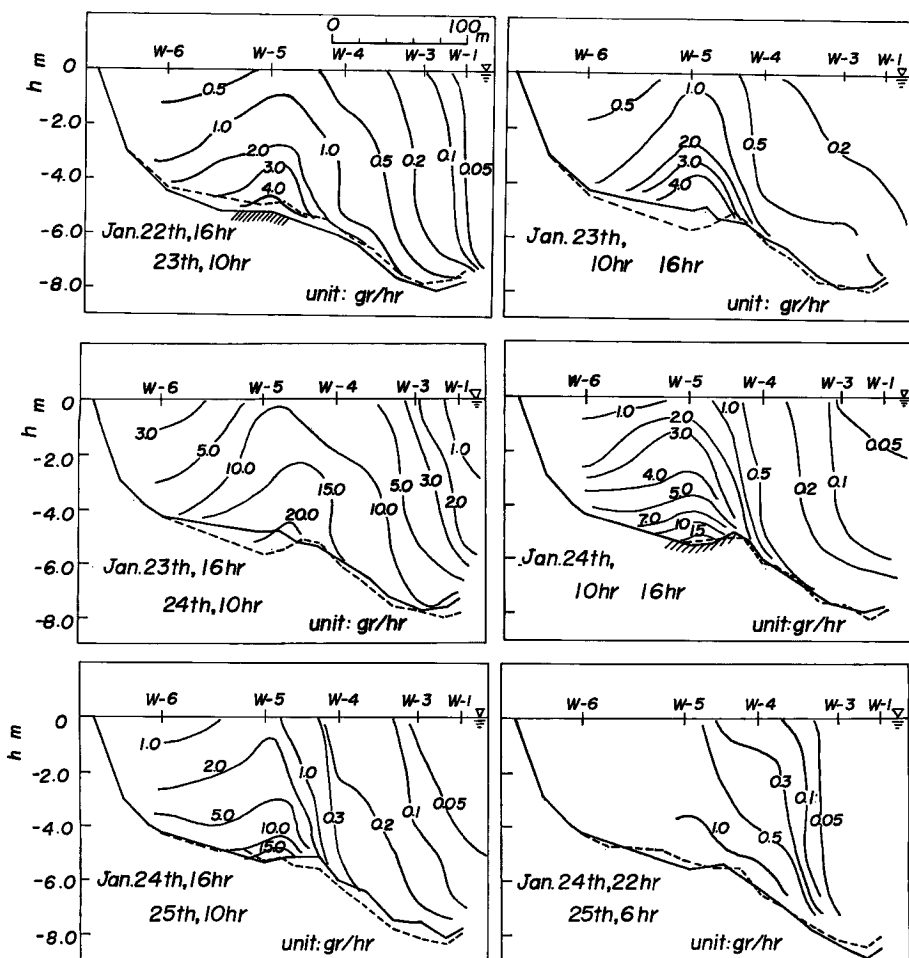


Fig. 13 Distribution of rate of suspended sediment sampled by bamboo-sampler along the observational pier.

とくに碎波点の変化を示しているものと考えられる。また、23日16時から24日10時の間の来襲波浪が最も大きな期間に、W-3とW-4の中間付近に高さ約0.5mの小規模な砂州が形成された。この砂州が形成されてからは季節風による波浪もしだいに減衰期に入り、その波高も減少するが浮遊漂砂の捕砂量は砂州の

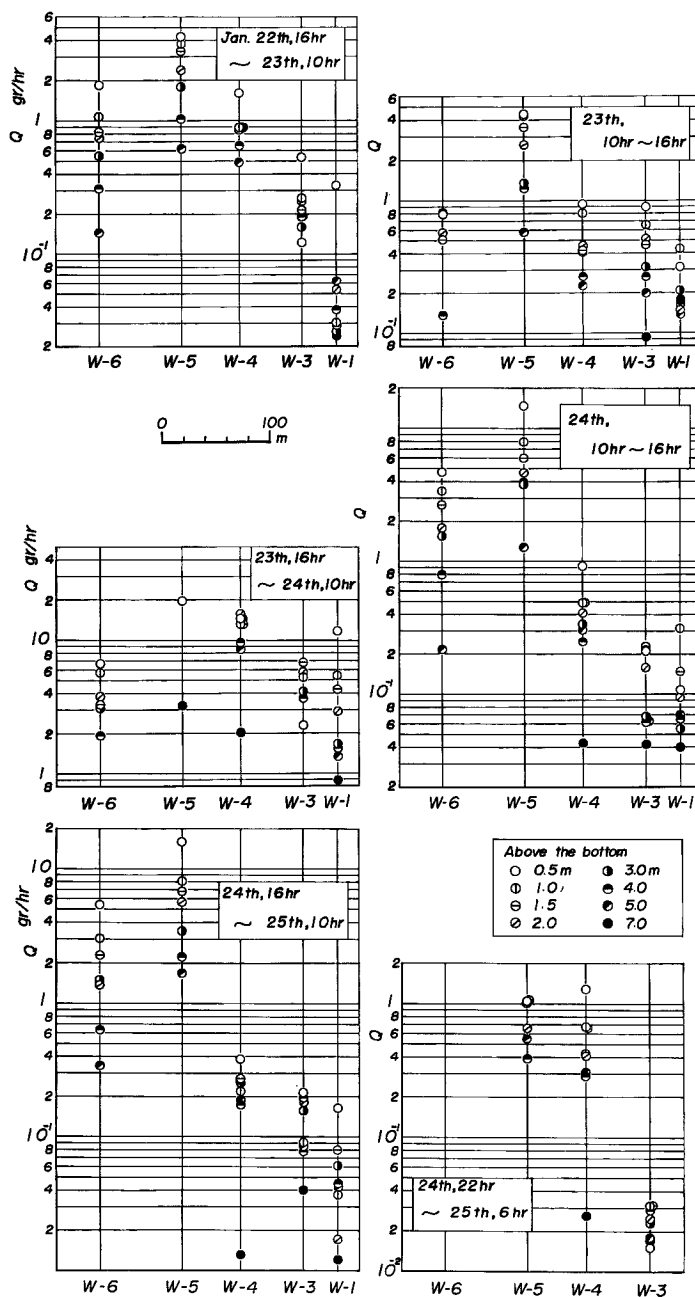


Fig. 14 Horizontal distribution of rate of suspended sediment sampled by bamboo-sampler along the observational pier.

付近では汀線側で非常に多く、沖側では急激に少なくなっており、堀川および佐々木ら¹¹⁾による模型実験の結果とも対応している。

Fig. 14 は前述の等捕砂量曲線と同様に、棧橋に沿うおのの採取時間ごとの汀線から沖方向への捕砂量の変化を描いたものである。碎波点の変化との関連を考えると、23日16時から24日10時に至る間の浮遊漂砂の捕砂量に、W-1 から W-4 まではあまり差がないことから W-1 より沖側で碎波しているものと考えられる。さらに、著者らが1967 1月に実施した最初の浮遊漂砂の観測においても、有義波波高が3m以上の時には W-1 から W-4 にかけての浮遊漂砂の捕砂量にあまり差がない。このことは棧橋先端の沖側に発達する砂州付近が第1碎波点になっていたものと考えられるからであろう。

b) 浮遊漂砂の粒径特性：来襲波浪の変化に伴って浮遊漂砂の捕砂量が変わると同様に、浮遊砂の粒径も種々変化している。Fig. 15 は、竹竿式サンプラーによって捕砂した浮遊漂砂の鉛直方向の中央粒径

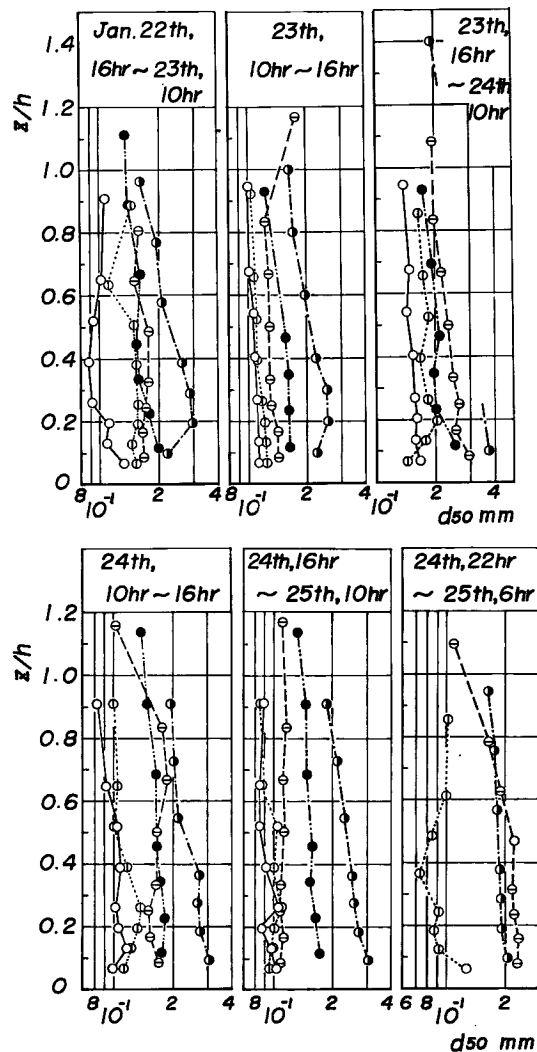


Fig. 15 Vertical distribution of median size of suspended sediment sampled by bamboo-sampler.

の分布を示したもので、いずれの採取期間中においても W-4 地点付近での浮遊漂砂の粒径が最も大きく、約 0.2 mm~0.3 mm におよぶが、浮遊漂砂の捕砂量が最も多い 23 日 16 時から 24 日 10 時の間でその粒径は約 0.2 mm~0.5 mm 程度にもなっている。また、この期間では W-4 地点だけではなく、桟橋に沿う全体にわたって粒径が大きくなり 0.15 mm~0.4 mm の粒径を示すが、それ以外の採取期間におけるその粒径は約 0.1 mm~0.2 mm とほぼ均一な値を示している。

Fig. 11 の採水ビンによる資料および Fig. 12 の超小型水中ポンプによって採取した浮遊砂の粒径分布を求めるにあたって、前者の浮遊砂の粒径は捕砂量が微量であるため、顕微鏡によって浮遊砂の粒子の写真撮影を行ない、その後写真を引き伸して約 200 個の浮遊砂の粒子の直径を読み取り、粒子の形を球と仮定し、その粒子の個数を重量に換算して頻度分布を求め、それから中央粒径を算出したものである。これによると、中央粒径が海底付近ほど小さくなり、竹竿式サンプラーによる 24 日 16 時から 25 日 10 時の間に採取した浮遊砂の粒径分布と多少相違している。なお、この 24 日 16 時から 25 日 10 時の間に採取した浮遊砂については、25 日 4 時までには有義波波高が約 2.5 m の波浪が来襲したが、それ以後 25 日 10 時までにはしだいに波高

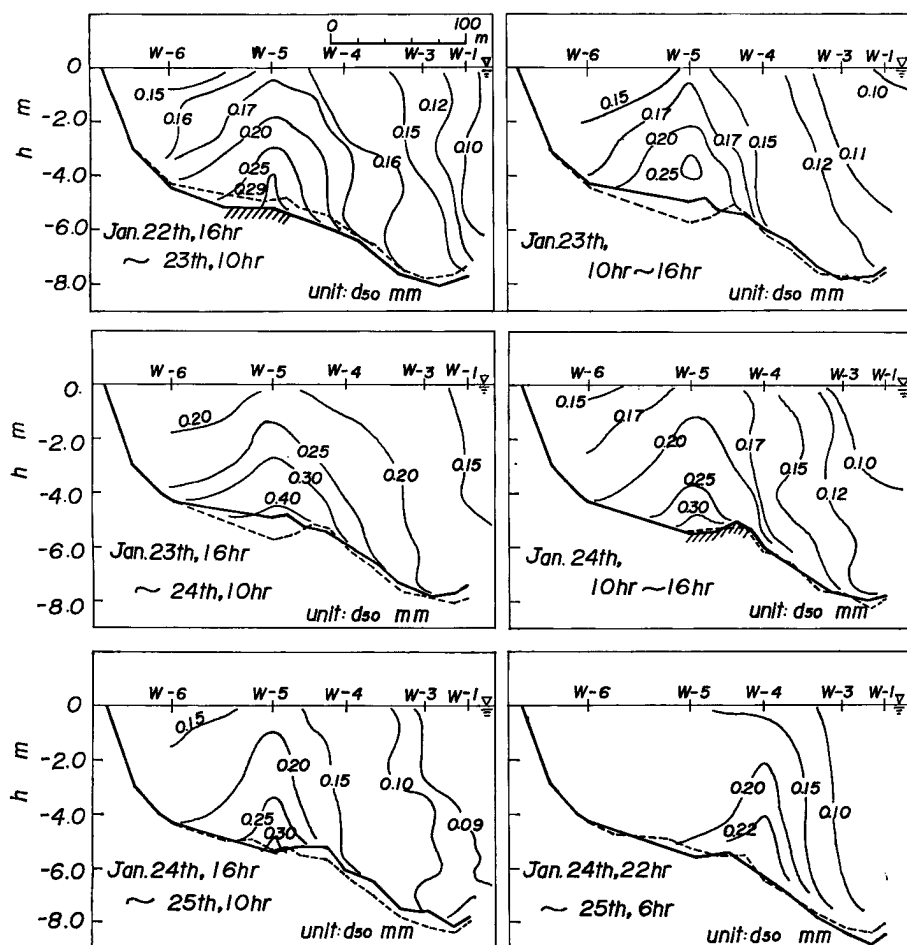


Fig. 16 Distribution of median size of suspended sediment sampled by bamboo-sampler along the observational pier.

が減少し、25 日 10 時には約 1.5 m になっている。このことから、竹竿式サンプラーによる浮遊砂の粒径は、波高の小さなきに採取された小さな粒径の浮遊砂の占める割合が増加し、その結果採水ビンによる浮遊砂の粒径にくらべて竹竿式サンプラーによる浮遊砂の粒径の値が小さいものと考えられる。Fig. 16 は以上の観測結果を用いて竹竿式サンプラーによって採取した浮遊砂の粒径を各採取期間ごとに、棧橋に沿う等粒径分布曲線を描いたものである。Fig. 13 の等捕砂量曲線と同様に W-4 地点付近で中央粒径が最大となっているが、W-4 地点を中心として沖側への粒径の減少は、中央粒径 0.2 mm の等粒径分布曲線がほぼ W-3 付近に一定しており、来襲波浪の変化の浮遊漂砂粒径におよぼす影響は、浮遊漂砂量ほど顕著でないものと考えられる。

c) 浮遊漂砂量と波のエネルギーとの関係：浮遊漂砂は来襲波浪の変化にともなってその量および粒径も変化するので、波浪特性との関係について若干考察しよう。今回の観測では波浪の観測は第 3 人工島のみにて正確な記録がとれたので、この記録を用いて計算される沖波としてのエネルギーフラックスと、Fig. 13 を用いて推定した棧橋に沿って W-1 から W-6 地点に至る約 220 m の範囲における単位時間当たり全捕砂量との関係を示したのが Fig. 17 である。この捕砂量には W-6 地点から汀線までの約 50 m にわたる範囲と W-1 地点より沖側のものが含まれていないために、実際にはさらに多いものと推定されるが、その量は Fig. 13 の 24 日 22 時から 25 日 6 時の採取期間の場合を除いてあまり多くないと考えられる。図中には 1967 年 1 月に観測した結果を同様に整理して示しておいた。この結果から明らかなように、全捕砂量は沖波としての波のエネルギーフラックスのほぼ 3 乗に比例することがわかる。

3.3 海底地形と底質特性の変化

Fig. 18 は前述した観測期間における海底地形の変化を観測した結果である。これらの結果から、まず海底地形の一般的特性として、つぎのことが見出すことができる。まず、棧橋に沿う海底地形は、水深 3 m ~ 4 m 付近までの勾配は 1/25 程度、それより 5 m ~ 6 m までは 1/120 程度、さらに沖では 1/25 程度と、いわゆるステップ状をなしており、汀線より約 250 m 付近には規模は大ききくないが砂州が発生している。また Fig. 19 は 50 m ごとの平均値として海底地形の変化を示したものである。このような地形において、Fig. 5 に示したような波浪が来襲すると、その変形の大きさは、水深 5 m ~ 6 m までは大体 0.5 m 程度であるが、さらに水深の深い棧橋の先端付近では 1 m 以上にも及ぶようである。水深 5 m ~ 6 m より沖での地形変化を比較すると、22 日から 24 日にかけて堆積し、24 日から 25 日にかけて侵食されていることがわかるが、これは Fig. 5 に示した波浪の特性と大きく対応するものであって、ちょうど波高の増大期と減少期に相当し、したがってまた波形勾配の変化ともある程度対応することがわかる。全体的に海底には、波長約 20 m 程度の砂漣または小規模な砂州が形成されていることがわかる。また、24 日 14 時から 23 時までの間に水深 5.5 m より沖の部分で、最大 2 m に及ぶ地形変化が測定されたが、現在その原因その他について検討中である。

一方、これらの地形変化にともなう底質特性の変化については、数多くの底質採取の結果を検討中であるが、ここでは主として ϕ スケールにおける中央値 $M_{d\phi}$ 値の変化について考察する。Fig. 20 は海底地形の変化にともなう底質特性を示したものであり、また Fig. 21 は 50 m ごとの平均値としてあらわしたものであるが、これから前述したようなステップ状を示すこの海底地形によく対応して $M_{d\phi}$ の値が変化していることがわかる。すなわち、汀線付近か

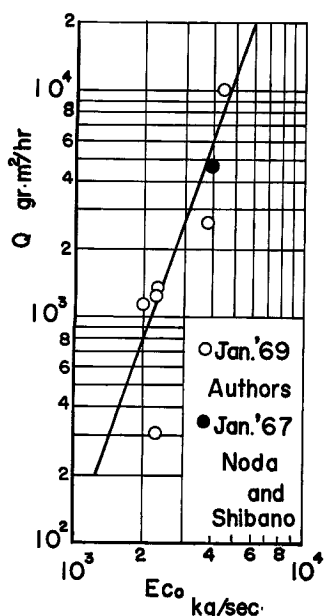


Fig. 17 Relationship between total rate of suspended sediment and wave energy.

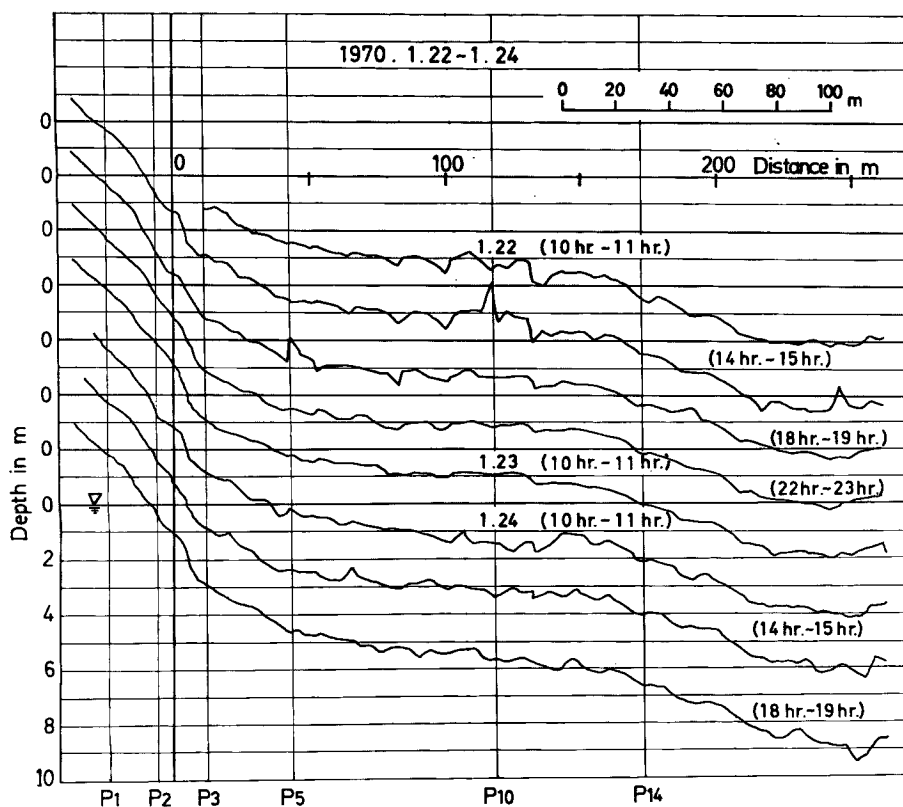


Fig. 18 Changes of beach profiles during observation.

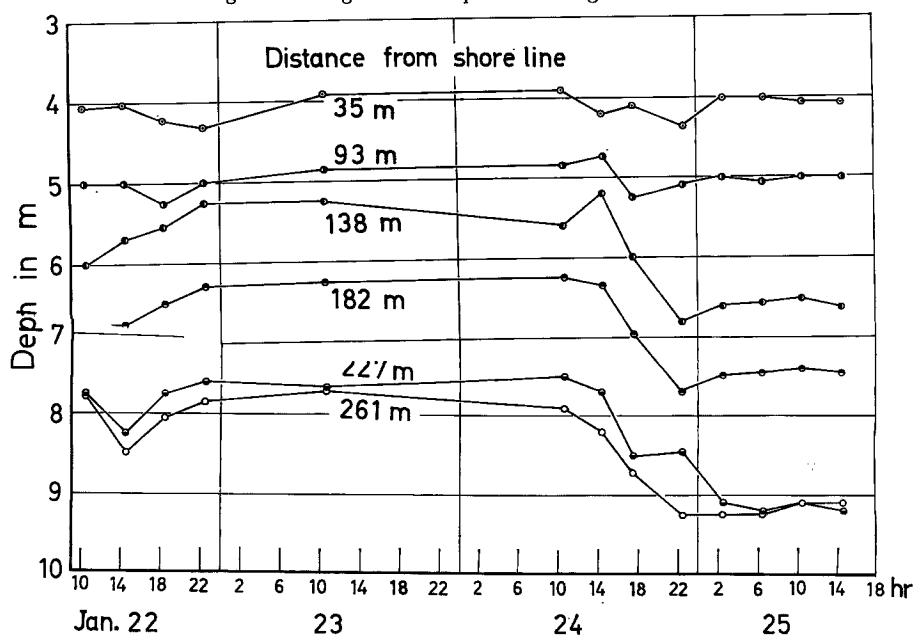


Fig. 19 Changes of depth of water averaged for 50 m interval with time.

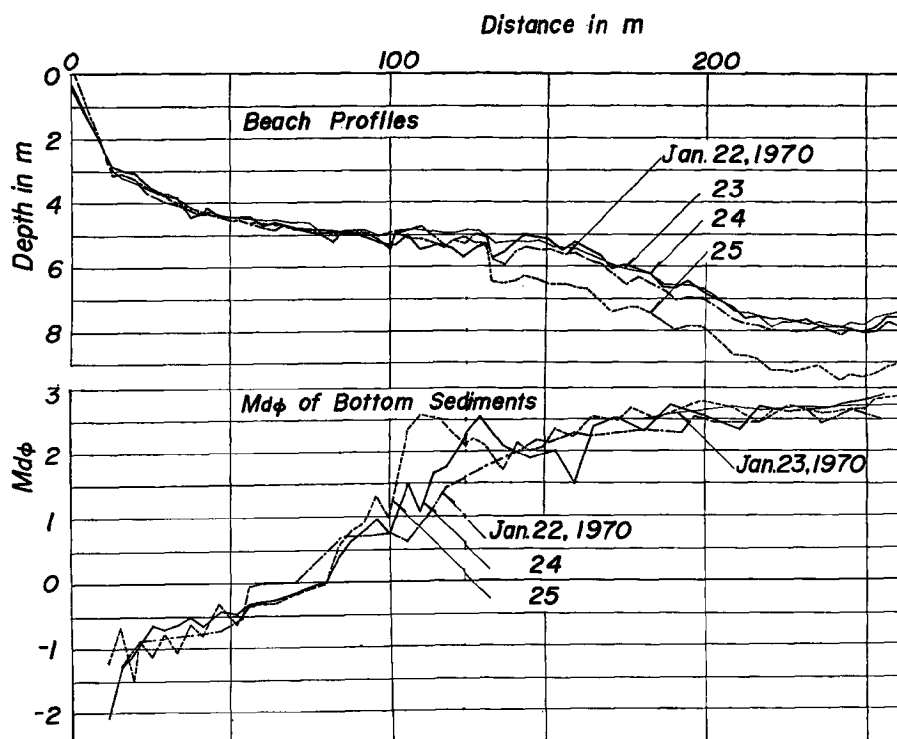


Fig. 20 Changes of medium diameter in Phi-scale with change of beach profile.

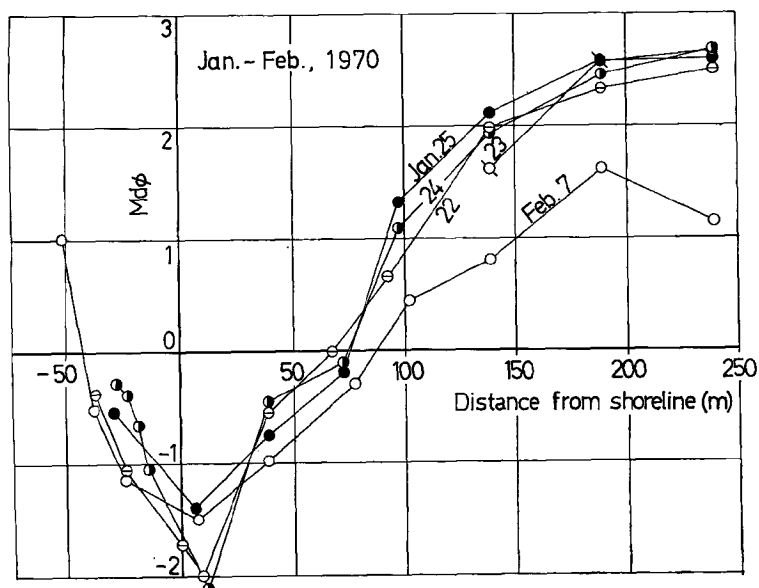


Fig. 21 Changes of medium diameter averaged for 50m interval with distance.

らステップ付近までは、細礫から細粒砂、ステップのある付近は粗粒砂から細粒砂で構成され、これより沖側の棧橋の先端付近までは、細粒砂が主体をなしている。24日から25日にかけて、ステップ付近を除いて $M_{d\phi}$ の値は沖に向かって大きくなっているが、その増大の程度は地形変化の著しいステップ付近において顕著であり、沖側ではわずかである。一方、24日から25日にかけての前述した著しい変形の前後には、22日の場合に比べて異常な $M_{d\phi}$ の分布を見出すことができる。すなわち、22日にはこの付近での細粒への移行の仕方が比較的ゆるやかであるのに対して、汀線より 50 m 付近に細粒砂の分布がみつめられ、その付近の $M_{d\phi}$ の変動が著しい。

3.4 波の遡上

解析は撮影したフィルムをフィルムモーションアナライザーで読み取り、打ちあげ波の速度、一波ごとの波と打ち上げ高の関係および打ち上げの周波数特性などの波の打ち上げの様子を詳細に検討する予定であったが、撮影開始時の海滨断面と撮影終了後のそれと比較した結果、汀線付近でかなり変形が見られたため、各ポールの高さが正確に求まらないこと、汀線付近のポールが波により破損されたこと、さらにまた波高計の記録の不十分さおよび映像の不鮮明さなどのため、打ち上げ高のみを読むにとどまった。打ち上げ波の数は1ケースにつき、ほぼ 60 波前後であった。この場合海滨断面は観測期間初期のものをを用い、打ち上げ高さを求めた。観測期間初期の海滨断面およびポールの配置図を Fig. 22 に示す。

Fig. 23 (a) および (b) 解析した結果と他の研究者の結果とを比較したものである。そのうち Fig. 23

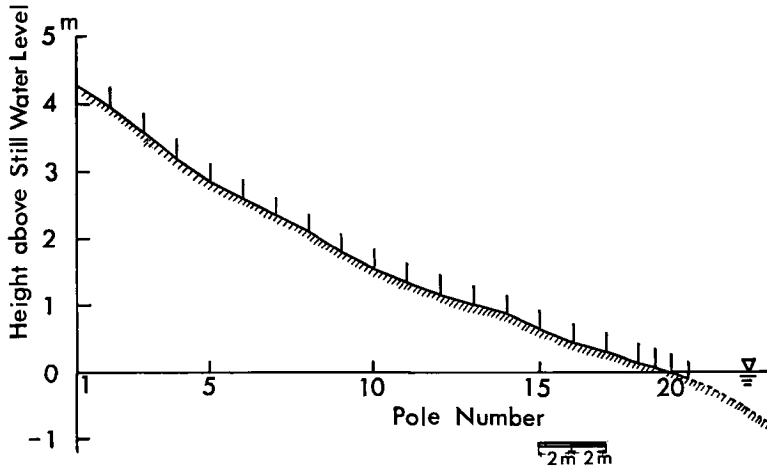


Fig. 22 Location of poles measurement of wave run-up and beach profile.

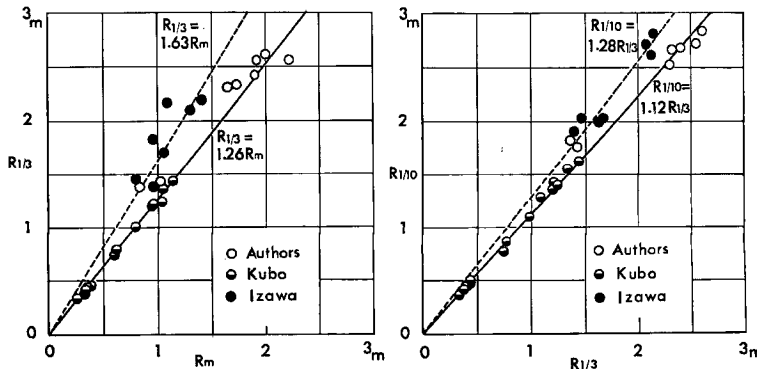


Fig. 23 Statistical characteristics of wave run-up heights obtained by significant method.

(a) は観測した全打ち上げ高のうち、最大のものから上位 $1/3$ の平均 $R_{1/3}$ と上位 $1/10$ の平均 $R_{1/10}$ との関係を示すものである。図中には著者らによるもののほか久宝¹²⁾ が日本各地の海岸で主として目視観測により求めた資料や井沢¹³⁾ が陸奥湾で遡上計によって観測した資料も付加してある。また図中に示した直線および点線は、久宝および井沢によって与えられた $R_{1/3}$ と $R_{1/10}$ との関係である。なお、解析にあたり打ち上げ高を示す統計量として何を用いるかは議論のあるところであろうが、ここでは一応不規則波の表現にならって上記の値を用いることにした。

さて、Fig. 22 (a) によれば、久宝らの観測値により与えられる $R_{1/3}$ と $R_{1/10}$ の関係は井沢のそれとかなり異なっているが、著者の観測値は久宝らにより与えられた直線とかなりよく表現されることがわかる。ここで注意しなければならないのは久宝らの観測値は打ち上げ高が小さいが各種の海浜断面こう配のものが入っていて、海浜断面こう配にかかわらず、上記の関係が満たされることであり、打ち上げ高の大きい著者らの観測値もこの直線にあることは同時にこのことを裏づけるものであろう。つぎに、Fig. 22 (b) は $R_{1/3}$ と打ち上げ高の平均値 R_m との関係を示すものであるが、Fig. 22 (a) と同様のことがうかがえる。

以上の議論より波の打ち上げ高の統計量の間にも不規則波の場合と同様に、ある一定の関係が存在することが明らかになったが、観測の不備のため、それ以上の議論は展開できなかった。今後著者らは周到な準備のもとに波の遡上のより詳細な観測を行ない、不規則波の特性と打ち上げ高の関係および相互の周波数特性の関係をなどを調べ、さらに実験室内での風波による結果と比較検討して不規則波の遡上現象を解明する一方、波の遡上現象が浜漂砂に及ぼす影響にいつて考察を進めていきたい。

3.5 沿 岸 流

1970 年 1 月 24~25 日に前述した竹竿浮子を用いて、沿岸流の観測を行なった。24 日は西風が強く、風応力による流れが卓越していた。これに対して、25 日は比較的静穏に近かったが、流れは第 1 人工島付近では西向きであった。

観測資料が整理すると、1 月 24 日については Fig. 24 のような結果が得られる。すなわち、風の影響のために、沿岸流はほとんど風向と同じ方向をとっている。15 時 00 分頃の観測では、平均流速が 113 cm/sec であったものが、約 30 sec 後には 184 cm/sec、さらに約 30 sec 後には 234 cm/sec となっている。この後、

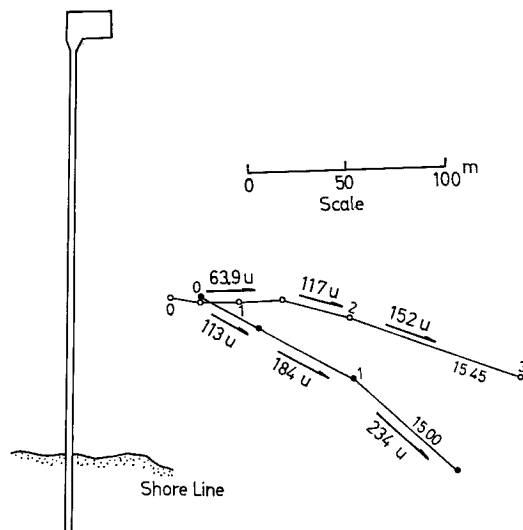


Fig. 24 A pattern of longshore currents and trajectories of bamboo-bouy targets on 24 January 1970.

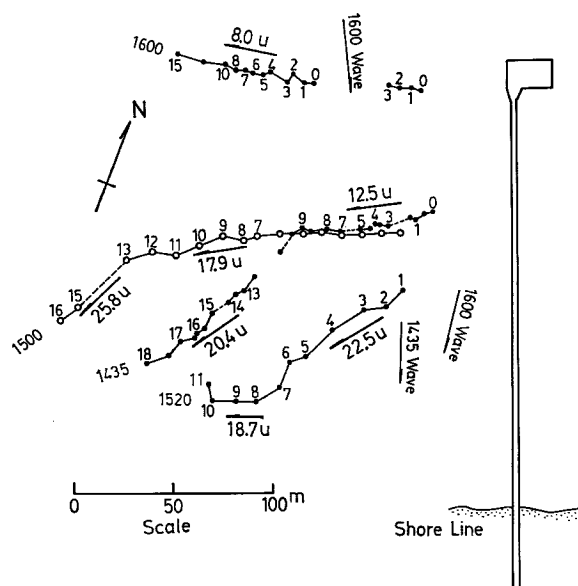


Fig. 25 A pattern of longshore currents and trajectories of bamboo-buoy targets on 25 January 1970.

竹竿浮子は汀線上にうちあげられた。15 時 45 分頃の観測では、はじめのうちは平均流速 63.9 cm/sec であったものが、約 1 min 後には 117 cm/sec、さらに約 1 min 後には 152 cm/sec となっている。

つぎに、1 月 25 日の観測結果をみると、Fig. 25 のようになる。観測は 14 時 00 分から 16 時 00 分まで行なわれた。気象資料から判断するとき、風速などの微細な消長が対応づけられるだけの結果ではないが、風向は主に北東風であった。この図をみて、観測期間中、風速場や流れの場に変動がなかったものと考えれば、流れのパターンを検討できそうである。

観測時の砕波点（汀線より約 150 m 沖）より沖側では、流れはほとんど汀線に平行で西向きである。砕波点のすぐ沖で平均流速は 12.5 cm/sec 程度であるが、さらに沖側、汀線から約 250 m 沖では 8.0 cm/sec 程度である。ところで、砕波点より岸側では、流向、流速ともに沖側とは傾向を異にしている。流速についてみれば、20.4 cm/sec～25.8 cm/sec であり、流向についてみれば、ほとんど南西流であって、北東風の影響が顕著になっていることがわかる。さらに、汀線に近い領域では汀線沿いに西流があるものと考えられる。このような沿岸流のパターンには、波による質量輸送の関係から、離岸流があることが期待されるが、この観測ではその存在を確認することはできなかった。

1969 年 7 月 23 日に漂流瓶などを用いて棧橋沿いの表面流速分布を観測した。観測期間は 15 時 59 分から 16 時 59 分までで、その間静穏に近い状態で波はうねりのみと考えて差支えない。流速分布は Fig. 26 に示されるようになっていて、うねりにより生じた汀線沿いの流れは、汀線から約 30 m 沖までの範囲にみられるものと考えられる。この夏期の観測においては風の影響はほとんどないものと考えられるので、この結果を冬期季節風時の観測結果と比較すると興味深い。

夏期の観測によれば、一般的にみて沿岸流は 10～20 cm/sec である。この沿岸流が風応力による風成流とのベクトル和のかたちで形成された流れが、冬期の観測の結果 Figs. 25 および 26 に示されるもので与えられたものと考えられる。定量的にはさらに詳細な検討が必要である。従来、波浪により生ずる沿岸流については多くの研究がみられるが、いずれも風的作用を考慮しなくてもよい場合に限られていたようである。以上のように、冬期季節風時の大潟海岸では、沿岸流は海上風とよく対応している傾向がある。ところで、

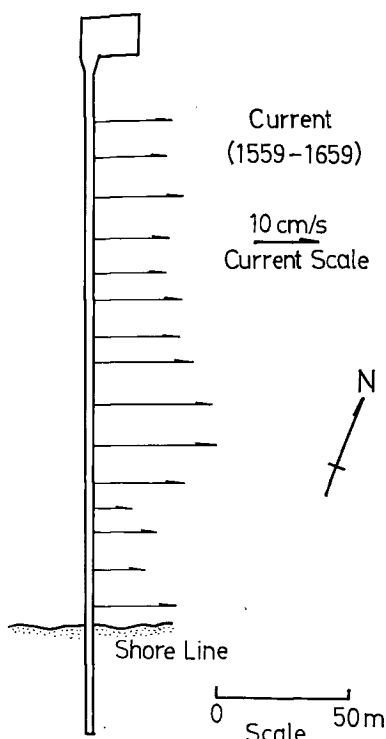


Fig. 26 Surface current distribution along the pier observed on 23 July 1969.

砕波点付近では、波向は汀線に直角に近い。さらに広域にわたる波向観測によって、波向と風向との関係、波向と沿岸流との関係などを解明する必要がある。

4. 結 語

以上、大潟海岸における海岸変形を究明する第 1 歩として、1970 年 1 月に季節風時の集中観測を行なった結果について述べた。観測施設や方法の不備な点もあって十分な結果がえられたとはいえないが、若干の主要な結論を要約すれば、つぎのようである。

1) 波浪特性の変化にともなう漂砂の観測は、竹竿式サンプラーによってもかなり浮遊砂を採取することができるが、やはり漂砂濃度の絶対値が測定できるような方法たとえば水中ポンプ式サンプラーなどの開発が望まれる。この観測で使用した水中ポンプ式サンプラーはさらに改良されるべきと考えられる。

2) 竹竿式サンプラーによって採取された捕砂量を用いて、おのこの来襲波浪に対応した棧橋に沿う捕砂量の分布を求めると、砕波と海底地形の変動によく対応することがわかった。このことは、浮遊砂の粒径分布についても同様なことがいえる。

3) 捕砂量の棧橋に沿う分布から、全捕砂量を推定し、これと来襲波浪のエネルギーフラックスとの関係を求めると、ある 1 つの関係が見出されそうであるが、さらに砕波特性などの関連によって考察すべきであろう。

4) 棧橋に沿う海底地形は、棧橋先端付近に砂洲が発生し、また水深 5 m ~ 6 m 付近のところにステップ状の小規模の砂洲があって、これが来襲波浪によって変化するがそれは波形勾配の変化とある程度対応することがわかった。

5) 底質特性の変化は海底地形とよく対応するが、今後 M_{ds} のみならずこのほかの特性値の変化についても検討すべきである。

6) 海浜への波の遡上に関しては、有義波法的な解析によると、1/10 および 1/3 最大遡上高さと平均遡上高さとの関係は、久宝らが求めたものとよく一致したが、この点についてはさらに Battjes¹⁴⁾ の研究との比較検討とともに今後考察を進めていくべきであろう。

7) 沿岸流の観測結果は、とくに観測設備の関係もあって、予備観測で終ったが、波浪や風との密接な関係が見出されそうであるので、棧橋を利用して今後さらに観測結果を増して、詳細に検討すべきであろう。

以上のような若干の観測調査の結果をえたが、さきにも述べたように、海岸変形に関する調査はできるだけ系統的に継続して実施していく必要があるので、今後観測調査の方法の検討とともに、さらに詳細な調査研究を進めていきたいと考えている。

最後に、本調査を実施するにあたって格別のご配慮を与えられた新潟県港湾課、同直江津港事務所、大潟町役場および帝国石油 K. K. の関係諸官に謝意を表明するとともに、観測調査および資料の整理に熱心に助力していただいた大潟波浪観測所の内山清枝官、白浜海象観測所の芹沢重厚技官および海岸災害研究室の岡本義夫補佐員に謝意を表わしたい。

参 考 文 献

- 1) 岩垣雄一・樋口明生・野田英明・柿沼忠男：大潟波浪観測所における観測施設と二、三の観測例，京都大学防災研究所年報，第 10 号 B，昭 42. 3，pp. 237-250.
- 2) 野田英明・芝野照夫：大潟海岸における漂砂の観測，京都大学防災研究所年報，第 11 号 B，昭 43. 3，pp. 429-446.
- 3) 福島久雄：漂砂測定法，水工学に関する夏期研修会講義集 B，昭 40，65-15，p. 10.
- 4) 福島久雄・柏村正和：漂砂とその測定（第 5 報），第 7 回海岸工学講演会講演集，昭 35，pp. 41-45.
- 5) 福島久雄・柏村正和・八鍬 功・高橋 将：石狩川河口の研究，第 11 回海岸工学講演会講演集，昭 39，pp. 137-146.
- 6) 野田英明：波による底質の浮遊，第 14 回海岸工学講演会講演集，昭 42，pp. 306-314.
- 7) 本間 仁・堀川清司・鹿島遼一：波による浮遊砂に関する研究，第 11 回海岸工学講演集，昭 39，pp. 159-168.
- 8) 服部昌太郎：重複波による底質の浮遊機構，第 16 回海岸工学講演会講演集，昭 44，pp. 147-152.
- 9) Inman, D. L.: Measures for Describing the Size Distribution of Sediments, Jour. Sed. Petrol., Vol. 22, 1952, pp. 125-145.
- 10) 合田良実：碎波指標の整理について，土木学会論文報告集，第 180 号，昭 45，pp. 114-116.
- 11) 堀川清司・佐々木民雄：養浜工に関する基礎実験，第 17 回海岸工学講演会論文集，昭 45，pp. 241-249.
- 12) 久宝雅夫・遠藤茂勝：現地海岸における波のうちあげに関する考察，土木学会第 24 回年次学術講演会講演概要，昭 44，pp. 33-34.
- 13) 井沢健二：陸奥湾の波浪，高潮について，第 13 回海岸工学講演会講演集，昭 42，pp. 57-61.
- 14) Battjes, J. A.: Run-up Distributions of Waves Breaking on Slopes, Proc. A.S.C.E., Vol. 97, No. WW1, 1971, pp. 91-114.