

富山湾海岸における漂砂観測

佐藤昭二*

港湾技術研究所

竹内秀哲

第一港湾建設局新潟調査設計事務所

杉山 隆

第一港湾建設局伏木富山港工事事務所

Field Observation of Littoral Drift Along the Coast of Toyama Bay

By

Shoji Sato*

*Port and Harbour Research Institute, Yokosuka
and*

*Hidetetsu Takeuchi and Takashi Sugiyama
The First Harbour Construction Bureau, Niigata*

Abstract

Investigation of the beach erosion on the coast of Toyama Bay was started in 1969 to be continued for three years. Methods of observation of littoral drift and some examples of the data are introduced in this paper, which comprises hydrographic surveys, observation of the longshore current with float, that of longshore drift with fluorescent tracers, and that of scour at the foot of the sea wall.

Further, introduction is made on the newly developed instruments, namely, an ultrasonic scour meter and an ultrasonic sand drift meter, which measure the variations of the sea bottom and the rate of sand drift, respectively. Although analysis of the data obtained with these instruments were not yet done, some important conclusions on their performance were obtained, based on their records.

目	次
はじめに.....	76
1. 調査概要.....	76
2. 各調査方法について.....	76
2.1 深浅測量.....	76
2.2 流況観測.....	76
2.3 けい光砂による底質移動調査.....	77
2.4 洗掘環による洗掘調査.....	78
2.5 異形ブロック調査.....	78
2.6 各調査の結果について.....	78
3. 漂砂観測機器の開発.....	80
3.1 超音波式洗掘計の実用化試験.....	80
3.2 超音波式漂砂計の試作.....	82
3.3 超音波式漂砂計および 洗掘計による記録例.....	84
4. まとめ.....	86

* 本論文執筆代表者 (The writer responsible for the present paper)

はじめに

昭和43年度から3年計画で富山湾海岸侵食に関する総合調査が開始された。この調査の一環としてわれわれは、主として、富山湾の砂浜海岸における洗掘、流況、底質移動調査等を担当した。これらの調査は現在もなお継続中であり最終の結果をとりまとめる段階に至っていない。そこで、本報告書においては、各調査の目的、原理、方法について簡単に述べ、これまでに得られた結果の一

部を紹介するとどめたい。

1. 調査概要

本調査観測は富山湾の砂浜海岸の侵食機構を明らかにし、侵食対策の樹立に役立たせることを目的としたものである。

調査範囲は、富山市から高岡市に至る富山湾の砂浜海岸で、各調査の場所ならびに調査項目は図1に示すとおりである。

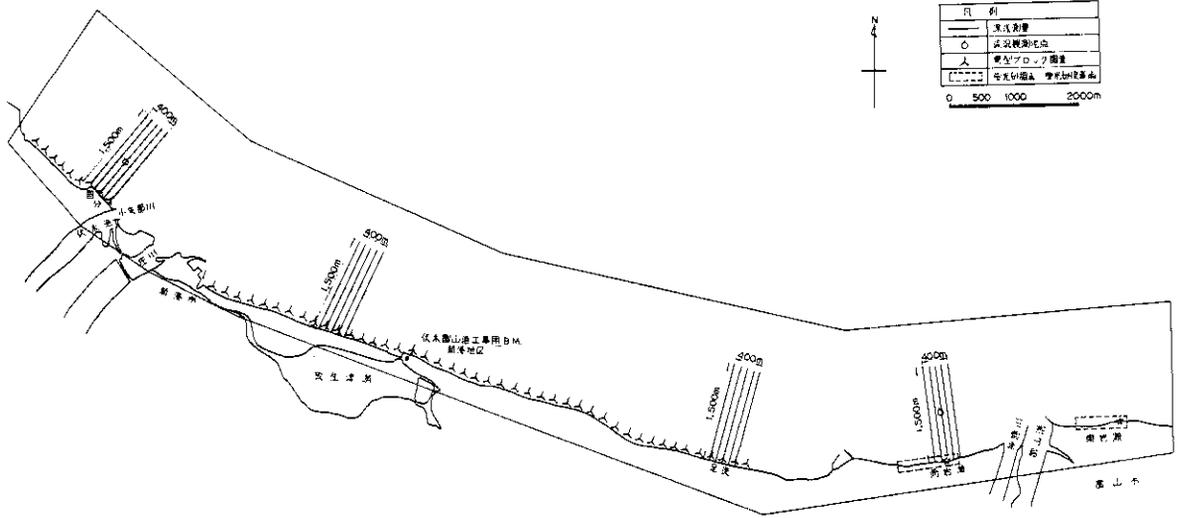


図1 各調査の場所ならびに調査項目

調査項目は、調査測定範囲決定のためのトランス測量、海底変化を調べるための深浅測量、ボールフロートおよび発射型漂流かんによる流況調査、けい光砂による底質移動調査ならびに異形ブロックの沈下調査がおもな調査項目である。

また、これらの調査とは別に海底の洗掘状況や漂砂量を直接測定するため超音波式洗掘計および超音波式漂砂計を試作し、現地に設置して測定を開始した。

昭和43年度、44年度における終了済あるいは計画中の調査日程を図2に示す。

2. 各調査方法について

2.1 深浅測量

海岸性状をはあくする上で海浜および海底断面の現状とその変化を調べることは最も重要かつ基

本的な調査である。そこで図1に示すように、西岩瀬、海老江、新湊、国分の4か所を観測区域に選んだ。各区域において、100mの間隔の5測線をてい線に対して垂直に設けた。各測線の延長はてい線より1,500mとした。測深に当たっては音響測深儀（浅深用50~120 kHz）および測かんを使用した。測深位置はトランシット3台による測角から求めた。測定値は測深0.1m、測角1分を単位とした。資料整理は各々の測深記録をもとにして深浅図を作成し、各断面ごとの時間変化図を作成した。

2.2 流況観測

海底変化は波や沿岸流と密接な関係がある。そこで平時においてはボールフロートを用い、また荒天時には発射型漂流かんを用いて、これらを追跡することにより沿岸流の流況観測をおこなった。

表1 けい光砂投入要領

回数	実施年月日	区域	網		採取点
			網寸(各方向)	網幅(方向)	
1	投入日の翌日	西岩瀬A	3点	西 200m	93点
		東岩瀬A		東 100m	93
2	投入日から5日後	西岩瀬B	3点	西 500m	183
		東岩瀬B		東 100m	183
3	投入日から10日後	西岩瀬C	3点	西 800m	273
		東岩瀬C		東 100m	273
計					1,098

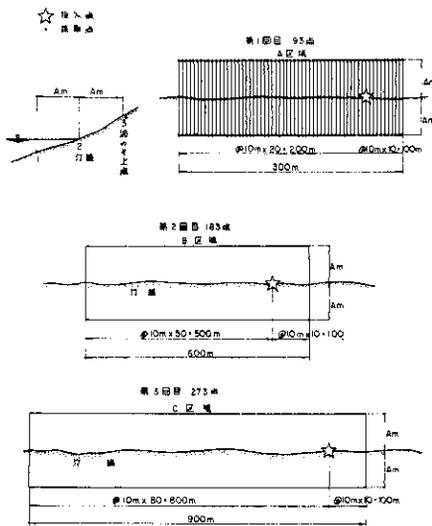


図5 けい光砂採取点位置

点位置は各回ともトランシットによる測角から求めた。採取した試料は1点につき約400gであった。これらの試料はバケツ(10×100cm)内に一様に広げ紫外線投光器(100V, 100W)で照射して試料の表面に検出されるけい光砂の個数を数えた。

2.4 洗掘環による洗掘調査

図6に示すような洗掘環を製作し海底に設置した。これは支柱にはめこまれた洗掘環が海底の洗掘にしたがって沈下する量を測定して海底変化を調べようとするものである。昭和44年12月に海老江、新湊地区に洗掘環を設置し観測を開始した。

2.5 異形ブロック調査

足洗、国分間の護岸前面に設置されている異形ブロックの沈下量を一定期間ごとに測定した。図

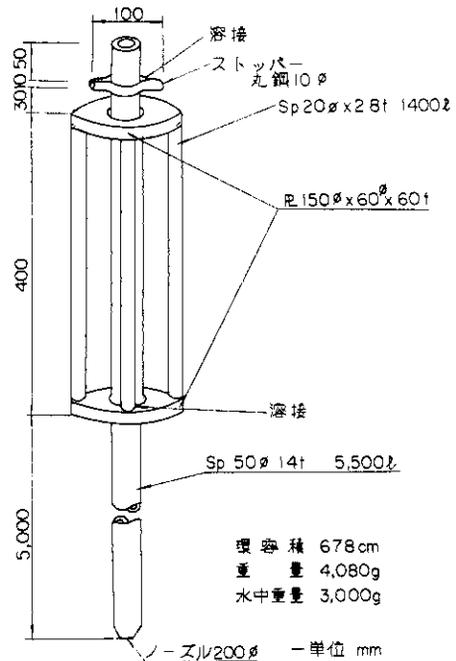


図6 洗掘計

7に示すとおり、3測点のレベルを測定し、視準距離は前後等距離50m、水準測量における精度は閉合誤差で $10\sqrt{L}$ mm (Lは測線全長、km単位)以内とした。

2.6 各調査の結果について

さきにも述べたように、現在手元にある資料は43年度末の1か月に得たものにすぎない。一般に漂砂調査はかなり長期にわたる資料をもとにしておこなわれるべきものである。したがって、これまでに得られた数少ない資料からは十分な解析が望めないが、深淺測量、けい光砂調査、流況調査についておこなった若干の考察をつぎに述べたい。

深淺測量 第1回、第2回の深淺測量が44年

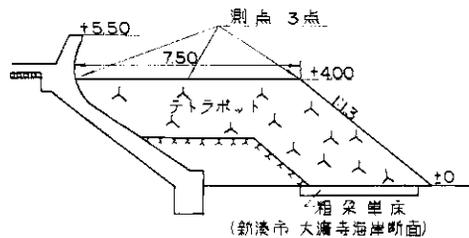


図7 異形ブロック調査測点図

3月16日, 4月3日におこなわれた。

西岩瀬地区ではてい線より200mまでのところは海底こう配約1/20, それより沖側では, 1/200以下であった。第2回目の測定時には前浜こう配が急になり, 砂堆は20~40mてい線側に移動していた。

海老江地区はてい線より300mまでが水深5m以内で, 西岩瀬地区に比べて海底こう配がゆるく, それより沖側では約1/200であった。第2回目の測定時に砂堆はやはりてい線側に移動していたが,

前浜こう配は逆にゆるくなっていた。

新湊地区はてい線より400mまでの領域で, 沖側は堆積, てい線側では洗掘されていた。

国分地区は2回の観測期間中における海底変化が他の3地区に比べて最も大きく, てい線より沖1km以上の領域にわたって0.5~1.0mの海底面の変化が認められた。一般にてい線寄りが洗掘されていた。砂堆はてい線方向に移動する傾向がみとめられた。図8は代表地点の比較断面図である。
けい光砂調査 44年3月15日西岩瀬浜, 東岩

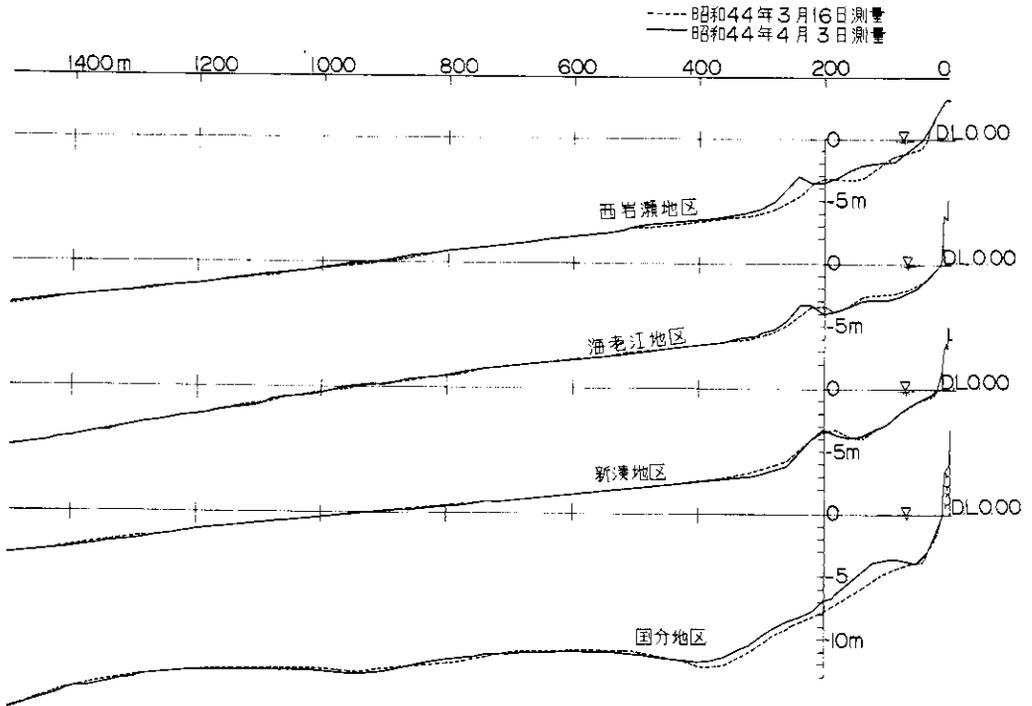


図8 海底断面比較図

瀬浜地区にて第1回のけい光砂投入がおこなわれた。西岩瀬浜地区では神通川左岸より西1kmの地点に投入された。投入1日後, 5日後, 10日後におけるけい光砂の分布図からそれらの重心をつぎの式で求めてみた。

$$X_0 = \frac{\sum C_i X_i}{\sum C_i}$$

ただし, X_0 : 基準点から重心までの距離, X_i : 基準点から採取砂 i までの距離, C_i : 採取砂 i のけい光砂の数。

計算結果によると西岩瀬地区では, 重心は1日後では投入点より東18mの位置に, 10日後は逆に西へ216m, 20日後は投入点より320m西の位置に

移動していた。

東岩瀬浜地区は富山港東防波堤東1kmの地点に投入された。同様にして重心を求めると1日後は70m西に, 10日後は投入点より130m西に, 20日後は投入点より250m西に移動していた。図9は両地区の底質の移動状況を示したものである。

以上のデータのみからいえば, 西岩瀬浜地区の投入点付近から西側では砂の移動速度は減衰しているのに対し, 東岩瀬浜地区では逆に加速度的に増大していることがわかる。波と流れとの関連を調べれば, より明確な漂砂特性が知られるであろう。

流況観測 44年3月16日, 西岩瀬浜地区およ

び国分地区において発射型漂流かんによる流況観測をおこなった。

国分地区では沿岸流というよりはむしろ15~20 cm/sの離岸流が卓越していた。

西岩瀬浜地区の観測点は水深5~25mのところであった(図10)。流速10 cm/sの西向きの沿岸流が等深線とほぼ平行に流れていた。またこの地点の東側に、後述するところの超音波式洗掘計、超音波式漂砂計が設置されている。これら二つの計測器は点観測であるため、付近の海岸特性を把握するためには、この設置位置と周囲の海岸の諸特性との間の相関を調べておく必要がある。このため最初の試みとして、漂流かんによる流況観測から、水深と沿岸方向の流速との関連を調べてみた。計算の結果を図11に示す。この図からみると水深2.5~3.0m付近で流速が最も大きく20 cm/s前後になっている。水深が3.0~4.5m付近のところでは流速は減少し、それ以降6m付近まで大体8 cm/s前後の流速となっている。また水深2.5m以浅では水深の減少とともに沿岸流速も小さくなっている。

その他の調査 異形ブロック調査は43年度分としては、44年3月5日および25日の計2回、国分、足洗間において実施された。しかし1回目と2回目との間の異形ブロックの沈下は観測点全域にわたりほとんどみとめられなかった。

その他洗掘環による洗掘調査は44年12月に設置したばかりであり、またボールフロートによる流況観測も資料不足のため解析をおこなうに至っていない。

これら各調査の解析は、今後の調査がすべて完了した後におこなう予定である。

3. 漂砂観測機器の開発

現地における漂砂現象をより詳細に観測するために、超音波式洗掘計および超音波式漂砂計を試作した。現地に設置した超音波式洗掘計は、音響測深儀を海中ボールに固定したもので、設置位置の海底面の変動を連続的に記録するものである。もしこれが実用化されれば、荒天時におこる海底地形や、防波堤脚部の洗掘等が観測できるであろう。また、超音波式漂砂計は砕波帯での波による浮遊砂の濃度および沿岸流や向岸、離岸流を同時観測するものである。この浮遊砂濃度と流速との積をとれば、設置位置を通過する漂砂量が求まる

ことになる。

これらの観測機器が西岩瀬沖約100m、水深1.5mの地点に設置され、昭和45年11月より観測が開始された。

3.1 超音波式洗掘計の実用化試験

原理 この装置は音波の伝搬時間を利用したものである。超音波パルスの同一媒質中の伝搬時間はその伝搬距離に比例するから、海底に向かって超音波が発射されてから、それが海底面で反射され、それが再び送受波器へもどってくるまでの時間を測定すれば、送受波器と海底面との距離を求めることができる。しかし、この原理では、つぎのような場合、誤った測深値を示す可能性があるので注意が必要である。

- a) 浮遊砂、その他の浮遊物が多く、これらによる反射が多い場合。
- b) 海底面の傾斜が30°以上の場合。
- c) 水温の変化が、非常に大きい場合。

これらは超音波の周波数によっても異なるであろう。したがって、これらによる測深値への影響の程度を知るには、周波数の異なる超音波を用いたり、水温を同時に測定する必要がある。

構造 図12は超音波式洗掘計の水中および陸上部の配置図を示したものである。水中ポストには周波数400 kHzと100 kHzの二種類の送受波器、および海水温度測定用のサーミスタが取り付けられている。これらの検知部によって得られた情報は水中ポストに取り付けられた中継器を経て、外装海底ケーブルにより陸上部へ送られる。陸上部本体の構成図は図13に示すとおりである。図のように内部は400 kHzと100 kHzの送受波超短波用、および温度測定サーミスタ用の三系統の回路よりなっている。周期発生回路を60 Hzの周波数で作動させ、それにより生ずるパルスをパルス発振器に送って、400 kHzまたは100 kHzの高周波パルスとする。この高周波パルスはケーブルによって海中の超音波送受波器に伝えられ超音波となり、これが海底面で反射され、送受波器を経て再び高周波パルスとなり、陸上部の前増幅部および主増幅部で増幅されて整形回路へ送られる。このパルスは、海水中を伝搬したため、最初同期発生回路から出されたパルスに比べ、位相が遅れている。そこで、これら二つのパルス位相差が整形回路でとらえられ、D-A変換器を通じてアナログ量として記録される。サーミスタからの海水温

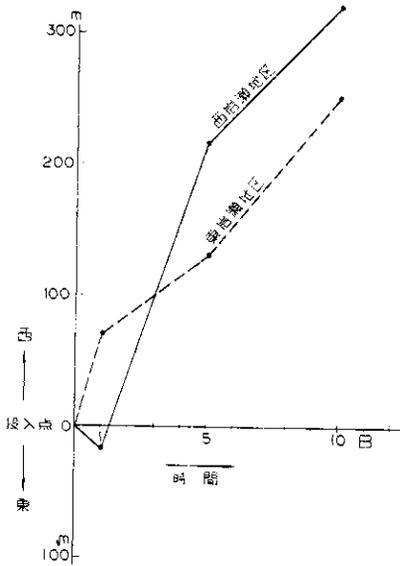


図9 けい光砂の分布の重心より求めた底質移動状況

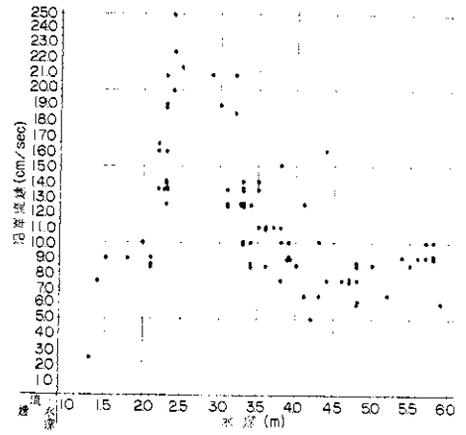


図11 沿岸流速分布

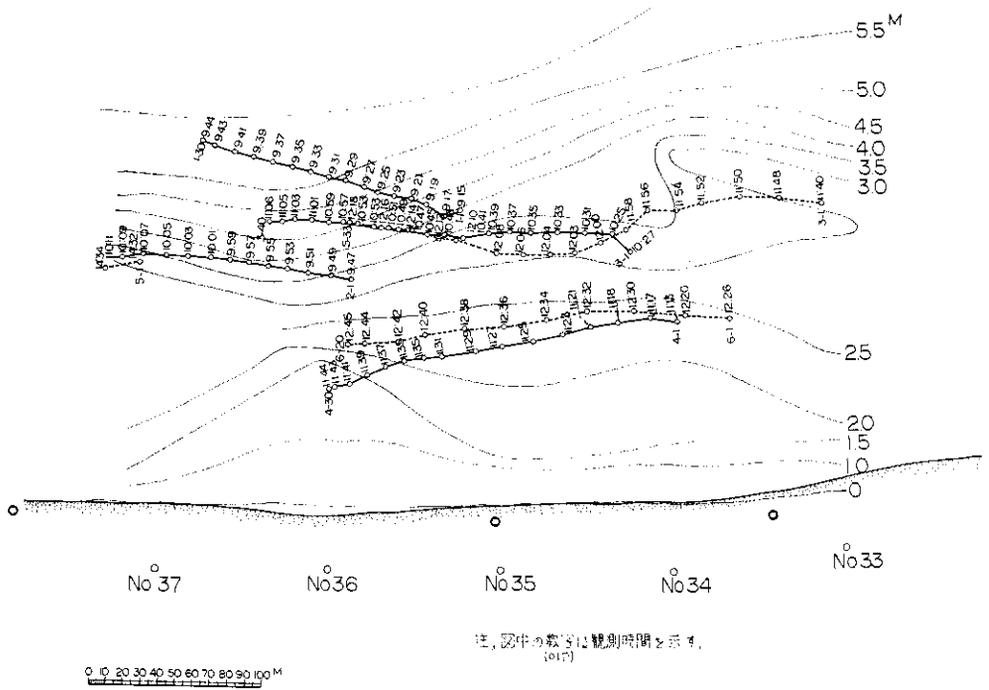


図10 西岩灘地区の流況観測

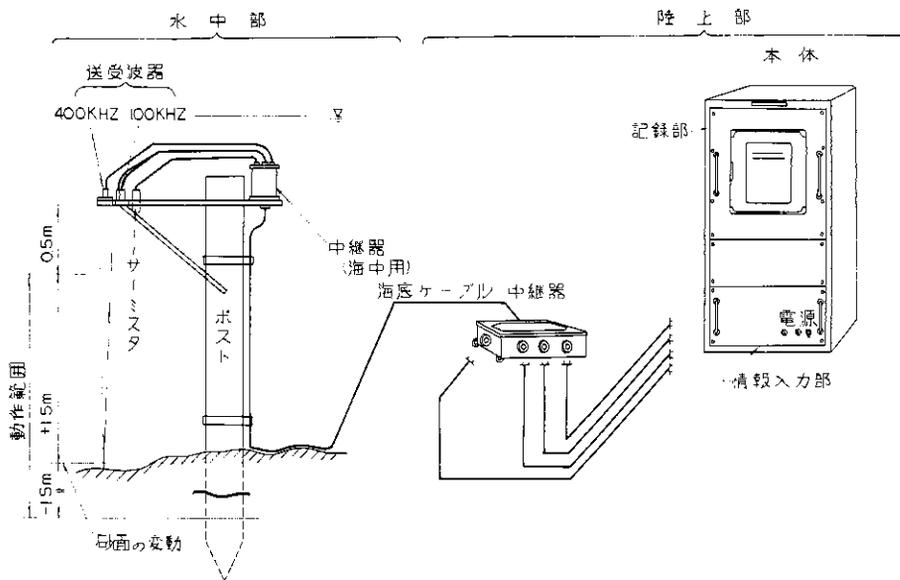


図12 超音波式洗掘計の配置図

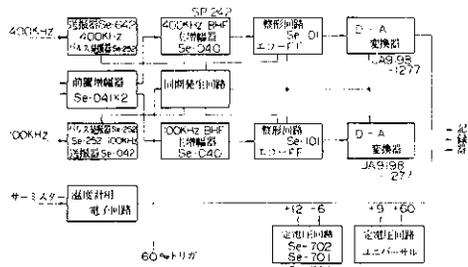


図13 超音波式洗掘計の構成図

度情報は、これらとはまったく別途の系統で記録器へ送られる。

超音波式洗掘計の性能および諸元は、表2に示すとおりである。

表2 超音波式洗掘計の性能および諸元

測定範囲	2.5m ± 1.5cm
測定誤差	静穏時フルケールで±3%以内
表示方法	アナログ表示, 6打点式
記録紙送り速度	3段切換(25, 50, 100mm/H)
所要電源	AC100V60%
使用外気温度	-10°C ~ +40°C
使用定格	連続
超音波周波数	2段切換(100KHz, 400KHz)

3.2 超音波式漂砂計の試作

原理 この装置はドブラ効果を利用して、波による浮遊砂の運動速度を計測し、さらに浮遊砂間の伝搬中に浮遊砂によって反射あるいは吸収される超音波の減衰を利用して、浮遊砂濃度を測定するものである。まず図14に示すように、被測定領域に対して一定の配置で超音波送受波器を置き、送波器より連続的に超音波を発射する。この超音波は強い指向性があるが、その伝搬進路上にある浮遊砂により任意の方向に反射散乱される。そこで、もし図中の受波器が、送波器と同程度の感度指向性を有すれば、この伝搬進路と受波器前面に垂直な線との交点Sにおける浮遊砂の挙動のみを観測することができる。なぜなら、受波器は

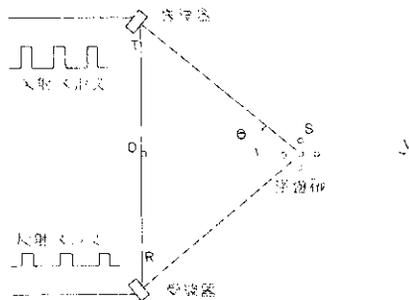


図14 超音波式漂流砂計の原理

図のRS方向以外からの超音波は検知しないからである。このとき、もし砂粒子が移動していれば、ドブラ効果により反射波の周波数が次式で表わされるだけ変化する。

$$\Delta f = 2f \cdot \cos \theta \cdot v / c$$

ここで、 Δf : 反射波の周波数変化分、 f : 発振周波数、 v : 砂粒子のOS方向の速度、 c : 媒質中の音速、 θ : 入射および反射角。

したがって、周波数変化分 Δf を測定すれば、水中に浮遊した砂粒子の移動速度を知ることができる。これら1対の送受波器を2組用いることにより、直角方向2成分の砂粒子の移動速度を測定することができる。また浮遊砂濃度の相対値を知ることができる。

構造 図15は超音波式漂砂計の設置配置図である。西岩瀬浜より沖へ約100mで、水深

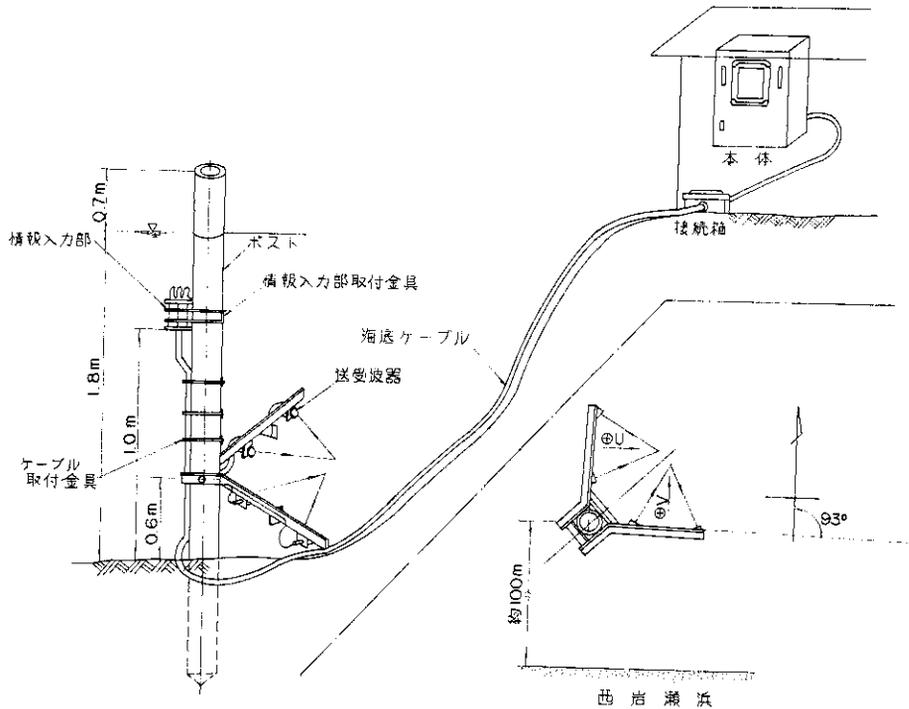


図15 超音波式漂砂計の配置図

—1.8mの位置に設置された。送受波器は海底より約60cmの高さに、たがい直角に2組取付けてあり、沿岸流速 U と向岸、離岸流速 V とが測定できるようになっている。測得された信号は同じポストに取付けられた情報入力部を経て、海底外装ケーブルにより陸上の本体へ送られる。これをさらに詳しく構成図で示すと、図16のようになる。沿岸流速すなわち U 方向の流速測定には周波数530kHz、向岸離岸流速 V 方向には、周波数1,030kHzが用いられている。動作原理は U 方向、

V 方向ともに同じであるから、 U 方向についてその概略を説明するとつぎのようになる。図中の発振ユニットにて、これが電力増幅ユニットで増幅されて送波器に送られ、周波数530kHzの超音波として海水中に放射される。途中に浮遊している砂により、超音波の一部は反射され、受波器に達して、浮遊砂の移動速度に比例した量だけ、530kHzから変化した周波数の電気パルスに変換される。この電気パルスは前置増幅ユニットにて増幅され、海底外装ケーブル、陸上中継部を経て主増

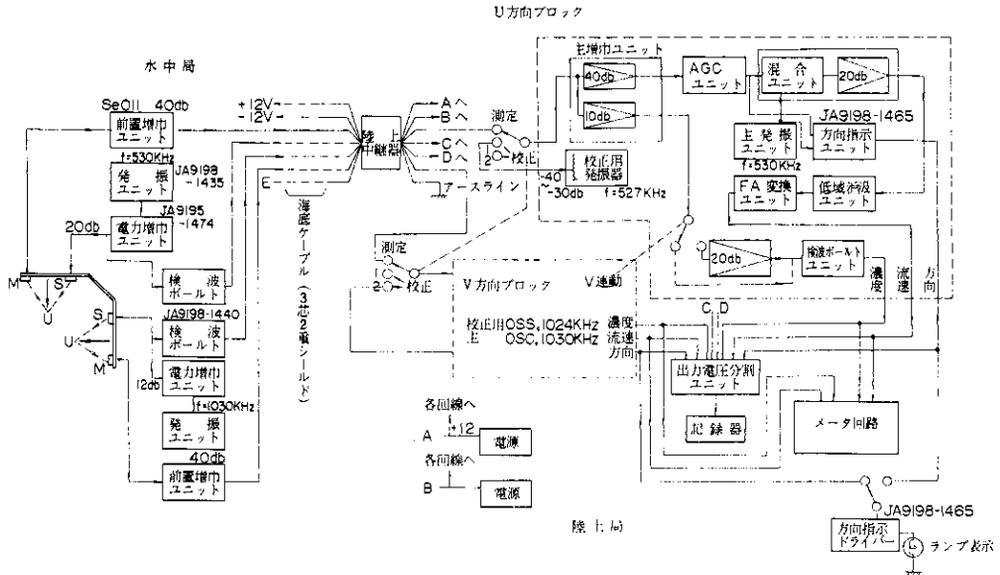


図 16 超音波式漂砂計構成図

幅ユニットにはいる。ここで流速測定用回路と、濃度測定用回路にわけられる。流速測定用回路では、伝送されてきた電気パルスがAGCユニット(Automatic Gain Control)により方形整形され、さらに主発振ユニットからの530 kHzのパルスと比較することにより、周波数の変化量を求め、流速、流向の情報として記録器に送られる。濃度測定用回路では、主増幅ユニットからくる電気パルスの振幅を直接知ることにより濃度に比例した量を得、記録器へ送られる。流向表示ランプは速度 U 、 V が図15に定義した方向にプラスのとき点燈する。超音波式漂砂計の主要性能および諸元は表3に示すとおりである。

3.3 超音波式漂砂形および洗掘計による記録の例について

図17は昭和44年11月16日から17日にかけて測得されたデータの1例を示したものである。図の上段が超音波式漂砂計による記録、下段が超音波式洗掘計による記録である。漂砂計の記録においては、沿岸流速 U およびその流向、向岸離岸流速 V およびその流向、0.5MHz、および1MHzの超音波で測定した浮遊砂濃度等が記録表示されている。浮遊砂濃度測定については、校正曲線が得られていないので、濃度に比例した値によって表示される。また洗掘計の記録では、海底面の高さ、海水温度が記録表示されている。海水温度

移動速度	速度 範囲	10~500cm/S
	精度	流速100cm/S以下 $\pm 10\%$ 流速100cm/S以上 $\pm 5\%$
濃度	測定方向	直角2方向
	追従性	3段切換
	砂粒子大きさ	0.1~0.2mm ϕ を対象 反射レベル-40~-60db範囲
濃度	濃度	反射レベル-40~-60db範囲 $\pm 20\%$
	追従性	3段切換
規格	粒子の大きさ	0.1~0.2mm ϕ を対象
	使用超音波周波数	約500KHz 1MHz
記録紙	送受波器間隔	50cm
	入射および反射角	30度
	被測定範囲	約8cm立方体
	送受波器指向幅	1MHz用 約4度, 500KHz用 約8度
電源	記録方式	打点式
	記録用出力	電磁オシロに接続
型紙	式	ER6-10
	幅	200mm
	盛り	0~10mV DC180mm
送り速度	速度	25mm/h
	周波数	50Hz
電源		AC100V 50Hz

表3 超音波式漂砂計の性能および諸元

を測定した理由は、測深値が温度により影響されるかどうかを調べるためである。

波の記録が未整理のため、海象の変化と、これ

らの記録との比較ができないが、沿岸流と浮遊砂濃度の変化などから、海象の変化も明りようになるようである。図17からわかるように、11月16日13時ごろから、海土が荒れ始めている。それにつれて、流向がU、V成分ともプラスの向きか

らマイナスの向きに変わり、流速はU、Vとも約30 cm/sぐらいになっている。同時に濃度も増加しているが、周波数1MHzと0.5MHzとは、濃度に対する感度がかかなり異なるようである。すなわち、0.5MHzでは、濃度表示が急速に振れて

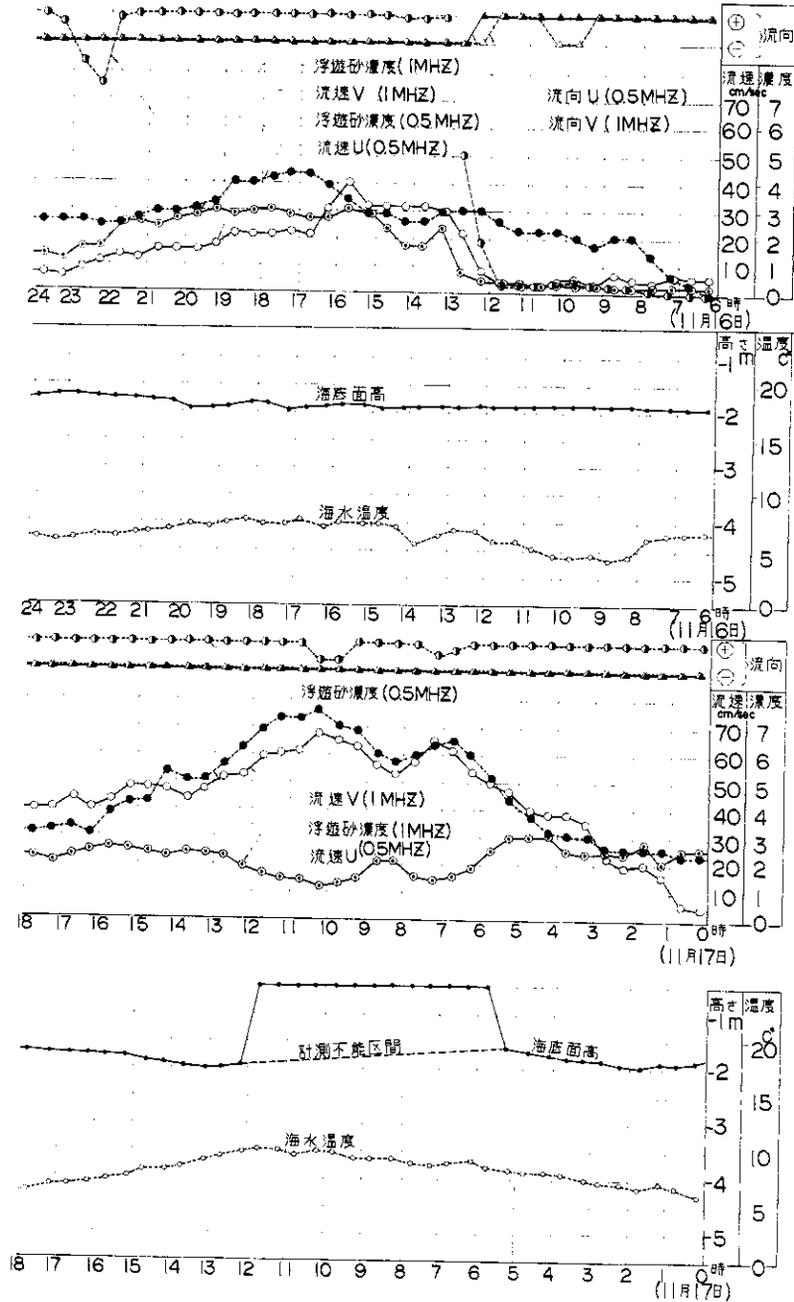


図17 超音波式洗掘計および漂砂計の記録例

13時過ぎにはフルスケールに達してしまっているのに対し、1MHzでは、濃度相対値2~3となっている。この漂砂計の設置位置では、沿岸流速は、一般にマイナスの流向となるはずである。しかし、図から16日の13時になってはじめてマイナスの流向を示し、それまではプラスを示している。これは漂砂量は超音波の砂からの反射を利用するドブラ方式を採用しているためで、ある程度浮遊砂濃度がふえないと正常に作動しないことを示すものである。洗掘計の記録によれば、海底面の測深値と海水温度との相関はほとんどないようである。しけは11月17日5時から13時にかけて非常に大きくなっているが、超音波式洗掘計の記録をみると、同日5時から12時までの間、測得不可能となっている。すなわち、この間は浮遊砂の濃度が非常に大きかったため、超音波が浮遊砂により反射されたものである。使用周波数は400kHzであったが、このような振り切れをなくするためには、超音波使用周波数について、さらに詳しい検討が要求される。

4. まとめ

昭和43年度、44年度においておこなった調査内容は以上のようなものである。繰返し述べてきたことであるが、44年度実施分の調査結果は、そのほとんどが未整理であったため解析するに至らず、各調査の目的、原理、方法などの列挙のみに終始した。また、43年度実施分については、調査期間はわずか1か月であって、とくに漂砂現象の解明といったような長期にわたる資料が要求されることに対しては、満足すべき解析ができなかった。

これまでに得られた資料の結果をまとめると、つぎのようである。

(1) 3月中旬と4月初旬との2回にわたる西岩瀬、海老江、新湊、国分地区の深浅測定の結果、この期間中においては、てい線付近が侵食され、沖側が堆積される傾向にある。

(2) 海底変動の範囲は、一般にてい線より沖300~400m以内であるが、国分地区においては、その範囲がてい線より1km以上におよんでいる。

(3) 昭和44年3月15日から10日間にわたり、西岩瀬および東岩瀬において実施されたけい光砂による底質移動調査によれば、沿岸漂砂の方向は、両地区とも西向きを示した。

(4) 発射型漂流かんによる流況調査によれば、国分地区沖において、回流する複雑な流れが認められた。これは、同地区海底地形の複雑さに起因するものと思われる。

(5) 西岩瀬地区での流況観測結果から、各水深ごとの沿岸流速について整理してみると、水深2.5~3.0mの所で沿岸流速が最も大きく、それより岸側、沖側では、かなり急速に減少していることがわかった。海況が当日と異なれば、この流速最大水深も異なるであろう。

(6) 実用化試験のため設置された超音波式洗掘計は、海底面の変動をくわしく測るのに適しているが、浮遊砂濃度が大きくなると、それにより超音波が反射され、正しい測深ができなくなる。この障害を除くには超音波の使用周波数についての検討が必要である。

(7) 超音波式漂砂計は、直角2方向成分の流れ、および浮遊砂濃度相対値の時間的変化をかなりくわしく測定できる。しかし、原理的にドブラ方式をとっているため、浮遊砂濃度がある程度以上にならないと作動しないこともわかった。

謝 辞

本調査観測は、運輸省港湾技術研究所、第一港湾建設局新潟調査設計事務所、および伏木富山港工事事務所の協力のもとにおこなわれているものである。本報告書に関する調査、観測および資料の整理、図面の作成には、これら関係者諸氏の懇切なるご支援、ご助力を得た。ここに改めてお礼申し上げる次第である。