

# 港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 305    Sept. 1978

ポンプしゅんせつ船の運転条件と濁りの関係

中	園	嘉	治
浜	田	賢	二
早	乙	女	二
宮	崎	昭	見
増	田	勝	人
緒	方	康	正
岡	山	義	邦
河	野		茂



運輸省港湾技術研究所



# 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	3
2. 調 査 概 要 .....	4
3. 実 験 条 件 .....	7
3.1 供試ポンプしゅんせつ船 .....	7
3.2 調 査 場 所 .....	7
3.3 運 転 条 件 .....	8
3.4 配 管 系 .....	8
3.5 土 質 .....	8
3.6 海 気 象 関 係 .....	8
4. 調 査 方 法 .....	8
4.1 濁 り 関 係 .....	9
4.2 能 力 関 係 .....	9
4.3 主 要 な 計 測 器 具 .....	9
5. 調 査 結 果 .....	10
5.1 しゅんせつ土 .....	10
5.2 しゅんせつ能力 .....	10
5.3 しゅんせつ時の濁り .....	15
5.4 しゅんせつ能力と濁りの関係 .....	25
6. ま と め .....	27
7. あ と が き .....	27
8. 補 足 .....	27

## Turbidity and Operating Condition of Pump Dredger

Yohiharu NAKAZONO*	Katsuto MASUDA*****
Kenji HAMADA**	Yasumasa OGATA*****
Yasuji SAOTOME***	Yoshikuni OKAYAMA*****
Shyoji MIYAZAKI****	Shigeru KONO*****

### Synopsis

The relationships between turbidity and operating conditions of pump dredger are investigated by field test. This investigation is conducted in Matsuyama area of Kanda Port under the construction of anchorage, and the dredger is supplied with the power of 2,250 P.S. by diesel electric system.

Among the operating conditions, dredging thickness and swing speed are varied, and the influence of them on turbidity is investigated. Suspended solids concentration (abbreviated usually to SS) is used as the representation of turbidity. Water samplings for SS are carried out at four points near the cutter and at four boats around the dredger. Waters are sampled at every sampling point at the same time when the cutter reaches the central point of its swing.

In order to estimate the dredging capacity, mud mixture ratio in a floating pipe, flow rate, and vacuum pressure of the dredging pump are measured.

The turbidity near the cutter depends on effective suction ratio which is defined by the ratio of the amount of soil sucked up by the pump to that excavated by the cutter and its swing. Turbidity is not detected at the boats located from 30 m to 180 m far from the cutter on the condition that tidal current is below 0.02 m/s in many cases.

---

\* Senior Research Engineer, Machinery Division  
\*\* Member of the Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division  
\*\*\* Chief of the Sludge Treatment Laboratory, Machinery Division  
\*\*\*\* Chief of the Working Craft Development Laboratory, Machinery Division  
\*\*\*\*\* Member of the Sludge Treatment Laboratory, Machinery Division  
\*\*\*\*\* Member of Machinery Section, Machinery Division  
\*\*\*\*\* Ex-Senior Research Engineer, Machinery Division  
\*\*\*\*\* Ex-Member of the Sludge Treatment Laboratory, Machinery Division

# ポンプしゅんせつ船の運転条件と濁りの関係

## — 現地調査報告 —

中 國 嘉 治 \*  
浜 田 賢 二 \*\*  
早乙女 保 二 \*\*\*  
官 崎 照 児 \*\*\*\*  
増 田 勝 人 \*\*\*\*\*  
緒 方 康 正 \*\*\*\*\*  
岡 山 義 邦 \*\*\*\*\*  
河 野 茂 \*\*\*\*\*

### 要 旨

ポンプしゅんせつ船の運転条件と濁りとの関係を現地調査によって、明らかにした。場所は新田港松山地区で-10m泊地しゅんせつ工事に付随して調査を行った。対象船の出力はD.E. 2,250 P.S.である。

運転条件として、土厚とスイング速度を変化させ、濁りとの関係を調べた。濁りとしては、採水によるSSを指標として整理した。採水はカッタ近傍4点、およびしゅんせつ船の周辺(約200m以内)に配置した小舟4隻で、ポンプしゅんせつ船のカッタがスイングの中央に達した時点で、全点一斉に行った。しゅんせつ能力評価のために、海上管内含でい率、ポンプ流量および吸入負圧を測定した。

カッタ近傍の濁りは、カッタのスイングによって排土される土量と実際の揚土量との比として定義された有効吸込率によって支配されることがわかった。また、潮流が微小だったためか、調査船には濁りはほとんど達しなかった。

### 1. ま え が き

しゅんせつ工事による濁りは、海域の生態系に与える影響つまり漁業被害の問題を引き起し、公害問題として大きく取り上げられてきた。濁りを大量に発生する港湾工事は今後は不可能となるであろう。

一般の水底土砂はもとより、有害物質を含む水底土砂のしゅんせつとなると、濁りの問題はさらに重要度を増し、二次汚染の少ない工法が要請される。有害物質を含む底質の除去に当っては、「底質の処理・処分等に関する

暫定指針」(昭和49.5.30.環境庁水質保全局)により、工事水域と一般水域の境界に基本監視点を設け、水質が定められた監視基準値に適合しない場合には、工事を中断することになっている。このために、現在、へどろしゅんせつ機器は濁りの発生を抑える方向へと改良、開発が進められ、我国のこの面の技術力は世界的トップレベルにある。

へどろしゅんせつ機器にはポンプ等による吸込方式と密閉型グラブバケットによるつかみ方式の2つに大別される。中でも、ポンプしゅんせつは従来から最も濁り発生量の少ない工法とされてきた。そして、田子の浦港の

---

\* 機 材 部 汚濁防止主任研究官  
\*\* " 流体輸送研究室  
\*\*\* " 汚泥処理研究室長  
\*\*\*\* " 特殊作業船開発室長  
\*\*\*\*\* " 汚泥処理研究室  
\*\*\*\*\* " 機 械 課  
\*\*\*\*\* 前機材部 水力浚渫主任研究室  
\*\*\*\*\* " 汚泥処理研究室

たい積へドロが大きな公害問題として騒がれ始めた、昭和40年代中葉頃から港湾工事による濁りの調査が各地で実施されてきた。本調査はポンプしゅんせつ船の運転条件が、しゅんせつ時の濁りの発生源つまりカッタ近傍の濁りを中心に、濁りの拡散状態ならびにしゅんせつ能力に及ぼす影響を調べ、濁りの実態は掘と防止対策のための基礎資料を得ることを目的に行われたものである。

本調査は、運輸省港湾局の「港湾工事公害防止技術調査」の一環として行われたもので、過去にポンプしゅんせつ船<sup>1)</sup>、グラブしゅんせつ船<sup>2)</sup>、ドラグサクショシゅんせつ船<sup>3)</sup>について、同様の目的で現地調査を実施してきたが、今回は本シリーズの最終回である。

## 2. 調査概要

本調査はポンプしゅんせつ船の運転条件と濁りとの関係を明らかにすることが目的である。濁りに関係する運

転条件として、しゅんせつ土厚、スイング速度、カッタ回転数、作業条件としては、しゅんせつ深度、土質が考えられる。ポンプしゅんせつによる濁りの発生原因は、カッタの回転とスイングによる海底のかく乱が最大のものであり、土砂吸込後は埋立地に至るまで濁りを発生する個所はない。従って、濁りはカッタ近傍に限られると見なしてよいので、前回と同様に今回の調査でも、カッタ近傍の濁りを中心として、SSおよび濁度の測定を行い、運転条件と濁りの関係について検討した。

前回の報告でも指摘したとおり、調査場所の海底地形が平坦であることが望ましかったのであるが、工事場所が他になかったことなどにより、調査場所を選定できなかった。結局、調査場所は福岡県の洲田港に決定した。同港は北九州市と大分県鶴崎に至る臨海工業地帯の中間に位置する港である。図-1にしゅんせつ区域の位置を示す。

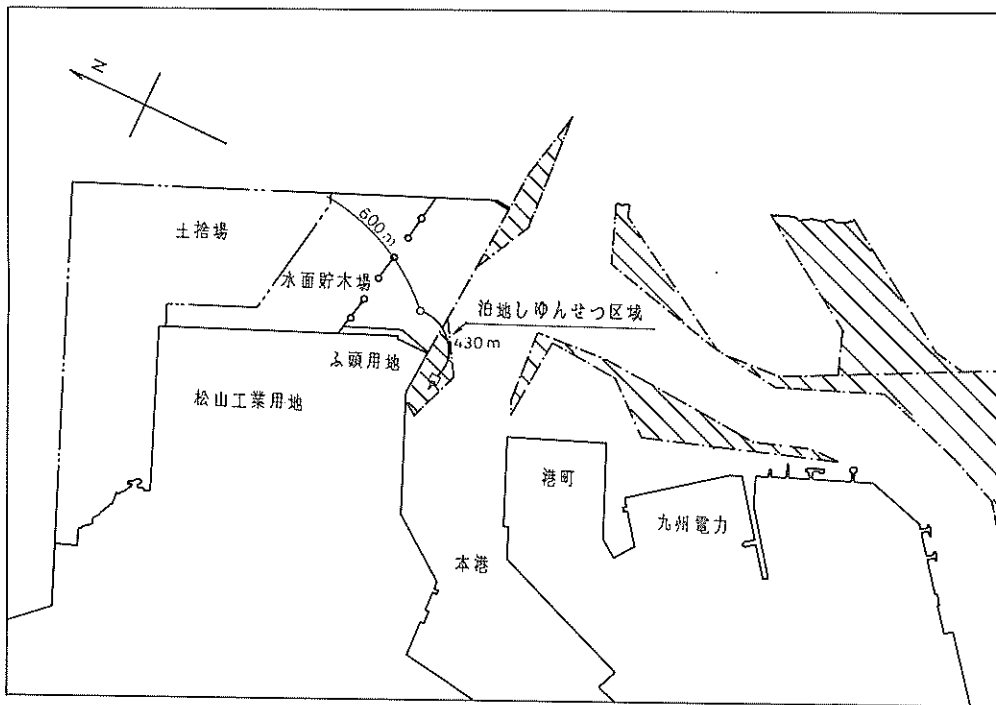


図-1 施工位置図

調査は工事日程を考慮して、昭和52年6月21～23日に実施した。ポンプしゅんせつ船の1スパッド間に1回または2回の実験を行い、各実験とも5スイング(40～80分間)を対象とし、この間に濁りおよびしゅんせつ能率

関係の測定を行った。表-1に調査日程を示す。6月21日の最初の実験工事の前に送水テストを行い、しゅんせつ能率関係の計器をチェックした。また、各実験ケースの間に若干のしゅんせつ停止時間を設け、前の実験によ

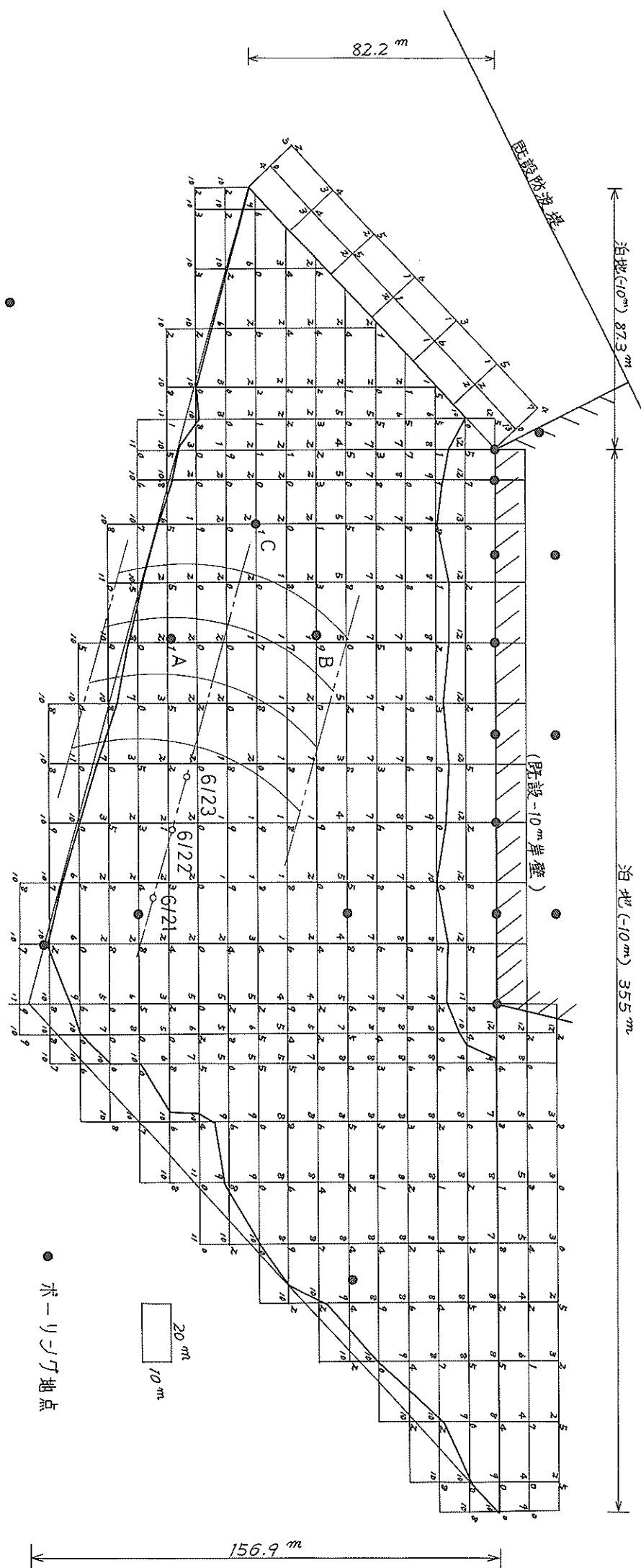


図 一 2 深淺測量圖 (昭和 5 2 年 3 月)

って発生した濁りの影響を除くようにした。調査時期が梅雨期であったために、6月22、23日は降雨に見舞われたが、実験条件には何ら支障はなかった。

表-1 調査日程

	作業内容
6月19日	旅行
6月20日	打合せ(本省, 4建, 港研, 業者の関係者)…午前 準備(本船および調査船) ……………午後
6月21日	実験(C2, C4, C2)
6月22日	実験(C1, S, C2, C4, C3)
6月23日	実験(C1, C3, C1, C2, S, C1)
6月24日	予備日, 機材撤収とん包
6月25日	旅行

### 3. 実験条件

#### 3.1 供試ポンプしゅんせつ船

本調査では、前述のように調査場所および対象とするしゅんせつ船を指定できなかった。供試ポンプしゅんせつ船の主要目は次のとおりである。

船名 長良丸(五洋建設株式会社所属)  
D.E. 2,250 PS  
L×B×D 48m×15m×3m  
しゅんせつポンプ 口径 吸込側 635φ  
吐出側 610φ

羽根車 1,600φ  
回転数 280~340 rpm  
容量 4,200m<sup>3</sup>/h  
カッタ オープンタイプくし形6枚羽根  
刃元径 1,882φ  
刃先径 1,072φ  
ボディ長さ 1,550mm  
回転数 14, 16, 18 rpm  
通常は18 rpmで運転  
出力 400 PS  
スイング速度 6.7 m/min 定格

#### 3.2 調査場所

調査は苅田港松山地区で行った。しゅんせつ区域は図-2に示すように、海底が起伏に富んだ場所であったために、この種の実験条件としては好ましくなかった。図-2の深浅測量図は昭和52年3月に測量した、本工事直前のものである。本工事は-10m泊地しゅんせつ工事の一部であり、図から明らかなように、しゅんせつ幅の一部は-10mを越えており、所定のしゅんせつ幅(80m)を取れなかった。

同港の潮流調査は昭和46~47年に実施されており、港内の海面下3m層の平均大潮期における流れは0.1m/s程度である。調査日の検潮記録を図-3に示す。これから潮位差は高々15cm程度である。

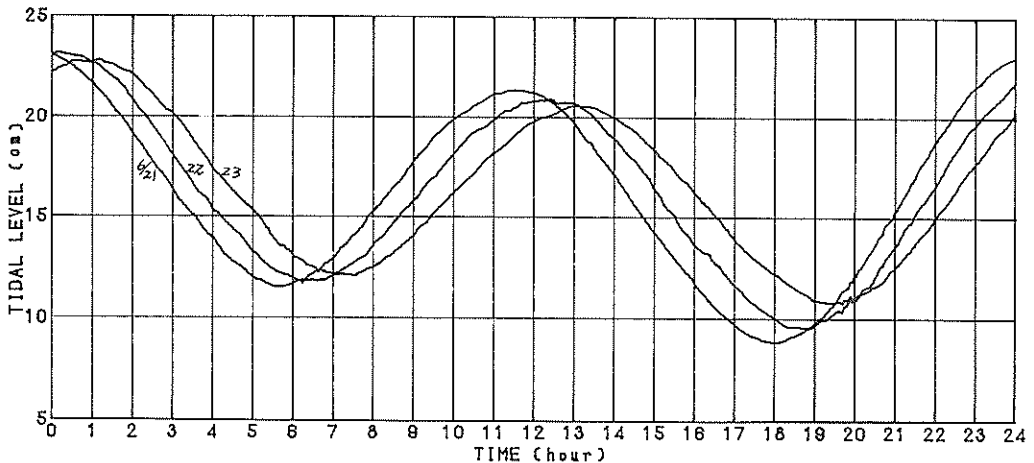


図-3 検潮記録

### 3.3 運転条件

本調査においては運転条件として、土厚とスイング速度を変化させた。実験ケースと運転条件の対応を表-2に示す。所定の運転条件で運転するように、オペレータ

表-2 運転条件

ケース	カッタ回転数	土厚 (m)	スイング速度 (m/min)	スイング回数
C1	18	0.8	6.7	5
C2	18	0.4	6.7	5
C3	18	0.8	4.0	5
C4	18	0.4	4.0	5

に依頼したが、結果的にはスイング速度において大小の相違が見られたが、土厚においては顕著な差は見られなかった。以後、実験ケースの表示は例えば「C2-3」のように表示し、これは実験ケースC2の第3回目の実験であることを意味するものとする。

スイング速度は6.7m/minが定格であるが、その他

の場合はスイングワイヤに目印をつけて、ブレーキ、クラッチ操作で制御した。土厚は本船のしゅんせつ深度計を1分間隔で読み取り、1スイングの平均値をそのスイングの深度とし、その差を土厚とした。

### 3.4 配管系

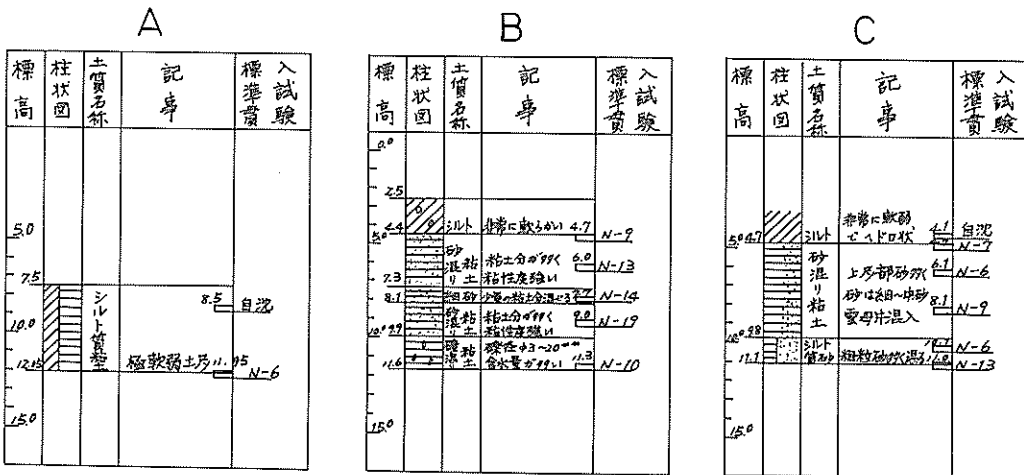
しゅんせつ区域と土捨場の関係位置を図-1に示す。

### 3.5 土質

しゅんせつによる濁りは対象とする土質によって、かなり異なった様相を呈するであろうことは容易に推察できる。例えば、沈降性の高い土粒子とそうでない土粒子とでは、濁りの拡散、発生量も異なるのは当然である。

本調査のしゅんせつ区域におけるボーリング調査は昭和46年3月から49年3月までの間に実施されている。

図-2に示した点A, B, Cにおける土質柱状図を図-4に示す。これから、本調査の対象土質は、表層には非常に軟弱なシルト質がたい積しており、N値は自沈と判断できる。-1.0m層は砂混り粘土およびシルト質粘土で構成されている。



A, B, Cは図-2のボーリング地点

図-4 土質柱状図

### 3.6 海気象関係

調査の第1日は曇であったが、残りの2日は雨に見舞われ、かなり厳しい調査条件であった。調査期間中の風速は2~6m/sであった。潮流は本船船首左げんにて、CM-2型電気流速計で水深方向3点を計測したが、概して計器に指示できない程度の微流速で、まれに0.1m/s程度の流速が計測された。

### 4. 調査方法

本調査における測定点の配置を図-5に示す。実験ケースに対応した運転条件でしゅんせつを行い、5スイングを調査対象とした。この間に、濁り関係およびしゅんせつ能力関係の測定を行った。本船と調査船との連絡にはトランシーバを利用した。



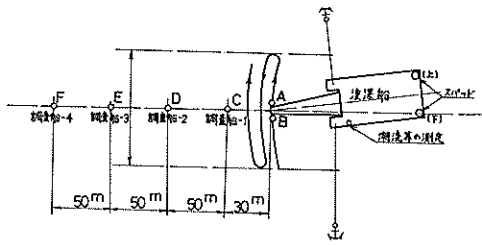


図-5 調査船配置例

#### 4.1 濁り関係

濁りに関係した測定項目および作業は、濁度、流向・流速、水温、海水比重、SS測定のための採水と採दैである。

カッタ両側の測定点A、Bでは採水とともに濁度の連続測定を行った。カッタヘッドとの関係位置を図-6に示す。また調査船においては、水深方向3点の濁度の連

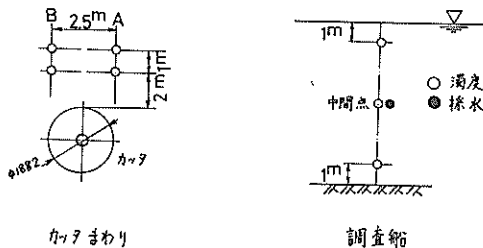


図-6 測定点配置図

続測定および中間層での採水を行った。ヘッド部の採水は、ヘッド部に設けたヤグラにビニルチューブの吸入口を取付け、ラダーに沿って船首の採水ポンプに導いた。吸入は連続的に行った。調査船では北原式採水器を用いた。いずれもカッタがスイングの中央に達したときの本船からの採水の合図に合せて、一斉に採水した。ただし、カッタヘッド部では、吸がビニルチューブの吸入口から出口に達するまでの時間を予め測定しておき、その時間のずれを考慮して採水した。採水試料は後日SSを測定するためのもので、すべて500ccの採水ビンに採取した。

調査船はすべて2馬力以上の発動機船で、予想された潮流の下流側に予め設置されたブイの位置に配置し、アンカーで固定した。

潮流は本船左げん甲板上で、CM-2型電気流速計で測定した。同時に水温、海水比重を測定した。潮流は15

分間隔で上、中、下層を、水温は30分間隔で上、中、下層を、海水比重は適宜測定した。ここで上、中、下層は図-6の調査船における測定点の位置と同様である。

実験終了後、ラダー先端および土捨場の放水口において採दैした。試料は採水試料とともに、分析業者に分析を委託した。分析項目、分析方法を表-3に示す。

表-3 分析方法

分析項目	分析方法
SS	環境庁告示64号付表第4
粒度分析	JIS A1204
真比重	JIS A1202

#### 4.2 能力関係

しゅんせつ能力に關係する測定項目は、土厚、スイング速度、ポンプ流量、含दै率、ポンプ回転数、カッタ電流、スイング電流、吸入負圧である。しゅんせつ深度、ポンプ回転数、カッタ電流は本船装備の計器を1分間隔で読取った。土厚はしゅんせつ深度の差から求めた。スイング速度はスイング幅と時間から算出した。ポンプ流量は電磁流量計の指示を1分間隔で読取った。また、含दै率は海上管と一体になったフロータの上下の変位出力をブリッジに導いて、連続記録した。吸入負圧は差圧計によって同様に連続記録した。

#### 4.3 主要な計測器具

本調査に使用した主要な計測器具を次に示す。

##### (1) 濁度計

測定原理 : 散乱光方式  
 測定レンジ : 50, 100, 500, 1,000 ppm  
 精度 : フルスケールの2%

##### (2) 流向・流速計

形式 : CM-2型電気流速計  
 測定範囲 : 強 0.1~3.0m/s(0.1m/s目盛)  
 弱 0.05~1.5m/s(0.05m/s目盛)  
 流向 : 0~360°(10°目盛)

##### (3) 採水器

形式 : 北原式 No. 2201-C型  
 容量 : 500 cc

##### (4) 採水ポンプ

自吸式 0.05m<sup>3</sup>/min × 63m × 0.2kW(3相)

##### (5) 含दै率計

形式 : フロート式  
 測定範囲 : 0~100mm(フロータ変位)  
 精度 : フルスケールの1%

##### (6) その他

## 5. 調査結果

### 5.1 しゅんせつ土

しゅんせつ土の物性はしゅんせつ能力のみならず、濁りにおいても重要な性質である。前述のように採泥試料について、粒度組成と真比重を測定した。図-7に粒径加積曲線を示す。分析結果から、 $d_{50} \approx 0.4 \text{ mm}$ であり、海水の温度を $23^\circ\text{C}$ として、粘性係数 $\mu = 9.8 \times 10^{-3}$  (C.G.S.)とすれば、沈降速度はストークスの式から $0.87 \text{ m/min}$ となる。

### 5.2 しゅんせつ能力

しゅんせつ船のしゅんせつ能力は運転条件に影響されることは言うまでもない。本調査では前述のように、運転条件として、土厚とスイング速度のみを変化させた。

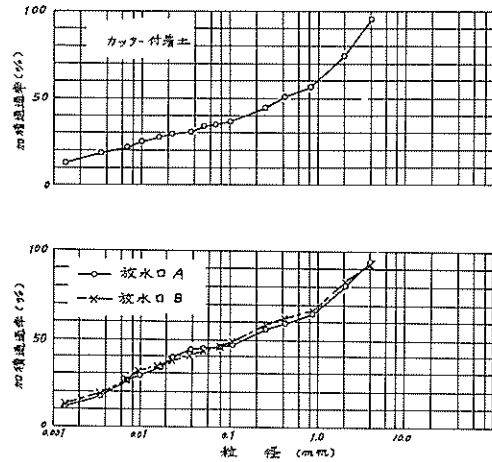


図-7 粒径加積曲線

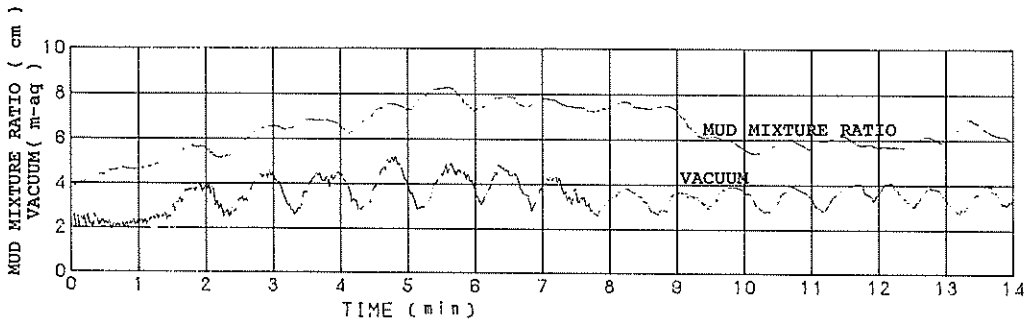


図-8 含でい率と吸入負圧測定例

図-8は含泥率と吸入負圧の測定カーブを図化したものの一例である。送水時、送泥時の吸入負圧をそれぞれ、 $V_w, V_m$  とすれば、<sup>4)</sup>

$$V_w = \gamma_w h_s + h_{rs}(Q)$$

$$V_m = \gamma h_m + (\gamma - \gamma_w) h_u + \{1 + \beta(\gamma - \gamma_w)\} h_{rs}(Q)$$

したがって

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_m - V_w \\ &= (\gamma - \gamma_w) \{h_s + h_u + \beta h_{rs}(Q)\} \end{aligned}$$

ここで、

$\gamma_w$  : 海水比重量 (単位体積当りの重量)

$\gamma$  : 混合物比重量

$\beta$  : 土質係数

$h_s$  : 吸込実揚程

$h_u$  : しゅんせつ深度

$h_{rs}(Q)$ : 管の抵抗 (吸込側)

管内含でい率を真容積含でい率 $X$ で表示すれば、

$$X = \frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \quad (\gamma_s: \text{土砂の比重量})$$

で定義されるから、

$$\Delta V = X(\gamma_s - \gamma_w) \{h_s + h_u + \beta h_{rs}(Q)\}$$

となり、送でい中の吸入負圧の変化量が含でい率に比例することがわかる。図-9はこの事実を裏付けている。しゅんせつ条件が与えられれば、 $\Delta V$ と $X$ とから流量 $Q$ を計算でき、しゅんせつ土量 $QX$ も理論的に求めることができる。

[フロータの変位から含でい率を求める方法]

本調査で使用したフロート式含でい率計は、海上管の管内通過土量の変動に伴うフロータの上下の変位を検出するものである。図-9において、送でい時における送水時よりの変位の増加分 $h$  (mm)に相当する海上管内の土砂による荷重の増加分は、海上管のゴムスリーブ間の長さを $L_p$ 、内径を $R_p$ とすれば、 $X$ の定義式を用いて、

$(\gamma - \gamma_w) \pi R_F^2 L_F = X(\gamma_s - \gamma_w) \pi R_F^2 L_F$   
 これと浮力の増加分  $\gamma_w \Delta V$  (ここでは、 $\Delta V$  はフロータの変位に相当するフロータの容積) が釣り合うから、

$$X(\gamma_s - \gamma_w) \pi R_F^2 L_F = \gamma_w \Delta V$$

ここで、図-10において、

$$\begin{aligned} \Delta V &= D_A L_A \\ &= 2R_F^2 \{ (\cos^{-1} \varepsilon - \varepsilon \sqrt{1 - \varepsilon^2}) - (\cos^{-1} \eta - \eta \sqrt{1 - \eta^2}) \} L_F = 2R_F^2 L_F g(h) \end{aligned}$$

ただし、

$R_F, L_F$  : フロータの外径, 長さ

$$\varepsilon = 1 - H/R_F$$

$$\eta = 1 - (H - h)/R_F$$

$H$  : 送水時のフロータ変位

式(1), (2)から、含でい率  $X$  は

$$X = \frac{\gamma_w \Delta V}{(\gamma_s - \gamma_w) \pi R_F^2 L_F} = \frac{2\gamma_w R_F^2 L_F g(h)}{(\gamma_s - \gamma_w) \pi R_F^2 L_F}$$

から計算できる。本調査では、 $R_F = 380 \text{ mm}$ ,  $R_f = 725 \text{ mm}$ ,  $L_F/L_f = 6/7$ ,  $H = 650 \text{ mm}$  である。これらの値から  $g(h)$  は近似的に直線

$$g(h) = 0.00272h$$

と表わされる。したがって、含でい率  $X$  とフロータの変位  $h$  は比例関係にある。本報では、以上の理論に従ってフロータ変位を含でい率に換算した。

表-4 は能力関係の測定結果と計算結果である。しゅんせつ深度(ラダー深度)、スイング電流は1スイング間の平均値である。含でい率  $\bar{X}_0$  と流量  $\bar{Q}_0$  はスイングの中央における採水時前後(約2分間)の平均値である。

しゅんせつ能力は単位時間当りの揚土量で比較すべきである。土量を土砂の真容積で表わすと、単位時間当りの揚土量は(流量  $Q$ )  $\times$  (含でい率  $X$ ) で表わされている。ただし、これは管内の混合物が管断面にわたって、一様な濃度で輸送されていることを前提とした表現である。したがって、砂利などのように管内で沈積しやすい土砂については成立しない。図-10 は含でい率と揚土量の関係をプロットしたものである。含でい率の高い所で多少のパラッキが見られるものの、含でい率と揚土量は単調増加の関係にあると言える。

カッタのスイングによって排土される土量は、ポンプしゅんせつ船の1スパッド前進距離を  $l_a$ 、スイング速度を  $V_s$ 、土厚を  $t_s$ 、海底における土の間隙率を  $n$  とすると、 $(1-n)l_a t_s V_s$  で表わされる。この土量がすべてポンプによって吸込まれたとすれば、

$$(1-n)l_a t_s V_s = QX$$

となり、濁りの要因となる浮遊土砂は発生しないことになる。この観点から、前報<sup>1)</sup>では、残土率と累積残土率

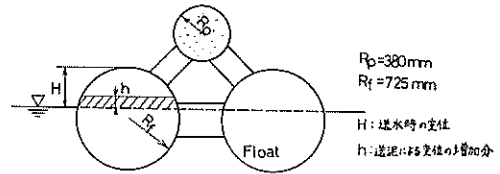


図-9 含でい率測定原理説明図

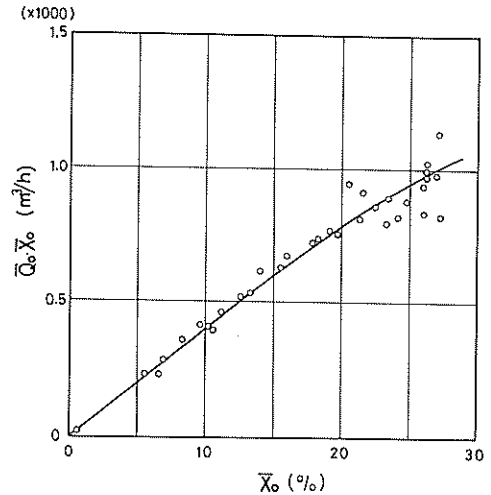


図-10 含でい率と揚土量

という新しいパラメータを導入して、カッタ近傍の濁りと運転条件の関係をうまく説明することができた。しかしながら、今回の調査のように、海底地形が複雑な場合、カッタ最大径以上の土厚をかけたり、土砂のない場所をスイングしたりすることが十分考えられる。間隙率  $n$  は混合砂のゆるい砂で自然状態で0.40が標準的である。<sup>5)</sup>  $n = 0.40$  と仮定すると、必ずしも濁りが発生するという条件、

$$(1-n)l_a t_s V_s \geq QX$$

が満たされるとは限らない。今回の調査では、スパッド前進距離  $l_a$  を1.5mとした。表-4から  $\bar{Q}_0 \bar{X}_0 / l_a t_s V_s$  が、 $(1-n) = 0.6$  を超える場合が、ほとんどであることから上の仮定が正しいことがわかる。その原因としては他に、前のスイングによって掘り残された土砂の吸込などが考えられる。

含でい率と運転条件がどのように関係づけられるかを見るために、1実験ケースの平均値としての  $\bar{l}_a \bar{V}_s$  と含でい率  $\bar{X}$  をプロットすると、図-11の関係が得られる。原点を通る直線として、両者の関係を最小乗法で求めると、

表-4 測定値

実験 ケース	ラダー 深度(m)	土厚 $\bar{L}_s$ (m)	ス イ ン グ		回転数 (rpm)	モータ 電流(A)	流量 $\bar{Q}_0$ (m <sup>3</sup> /h)	含でい率 $\bar{X}_0$ (%)	$\bar{L}_s \bar{V}_s$ (m <sup>3</sup> /min)	$\bar{Q}_0 \bar{X}_0$ (m <sup>3</sup> /h)	$\bar{Q} \bar{X}$ (m <sup>3</sup> /h)	$\frac{\bar{Q}_0 \bar{X}_0}{\bar{L}_s \bar{V}_s}$	$\frac{\bar{Q} \bar{X}}{\bar{L}_s \bar{V}_s}$	SS下層 (mg/l)		
			方 向	速度 $\bar{V}_s$ (m/min)											電流(A)	
C1-1	1	9.8		R(右)												
	2	10.3	0.5	L(左)	836	85	310		4200	21.62	5.1	908	697	297	228	7.5
	3	11.0	0.7	R	844	80	310		4000	16.12	8.9	405	298	0.76	0.56	13.5
	4	11.4	0.4	L	720	80	310		3400	23.27	4.4	791	791	300	300	34.5
	5	12.1	0.7	R	827	90	310		3600	24.42	8.7	879	766	1.68	1.47	32.0
	6	12.2	0.1	L	708	80	310		3400	24.03	1.1	817	740	1238	11.21	15.5
			$\bar{L}_s=24$			$\bar{V}_s = 7.55$										
C1-2	1	10.0		R	788											
	2	10.5	0.5	L	687	90	290		3600	25.97	5.2	935	840	300	269	7.0
	3	11.5	1.0	R	830	78	310		3800	21.29	12.5	809	805	108	107	9.5
	4	11.9	0.4	L	704	80	310		3700	26.25	4.2	971	883	385	350	7.5
	5	12.8	0.9	R	762	85	310		3200	26.04	10.3	833	815	135	132	6.5
	6	12.8	-	L	751	75	320		3000	27.31	-	819	713	-	-	8.0
			$\bar{L}_s=28$			$\bar{V}_s = 7.47$										
C1-3	1	9.9		R	796											
	2	10.4	0.5	L	733	80	285		4000	26.25	5.5	1050	861	3.18	2.61	5.5
	3	11.3	0.9	R	887	90	310		3800	19.80	12.0	752	593	104	0.82	12.5
	4	11.8	0.5	L	695	82	310		3800	23.4	5.2	891	799	286	2.56	13.5
	5	12.6	0.8	R	835	85	310		3800	21.35	10.0	811	971	1.35	1.62	12.0
	6	12.9	0.3	L	690	85	310		4200	27.15	3.1	1140	1126	6.13	6.05	19.0
			$\bar{L}_s=30$			$\bar{V}_s = 7.70$										
C1-4	1	10.3		R	834											
	2	11.1	0.8	L	696	80	280		4600	20.54	8.4	945	557	188	1.11	12.5
	3	12.0	0.9	R	851	88	310		4100	11.17	11.5	458	402	0.66	0.58	17.0
	4	12.6	0.6	L	706	80	310		3800	26.11	6.4	992	832	2.58	2.17	9.0
	5	13.4	0.8	R	814	80	310		3800	22.48	9.8	854	773	1.45	1.31	35.5
	6	13.7	0.3	L	701	79	310		3600	27.22	3.2	980	935	5.10	4.87	10.0
			$\bar{L}_s=34$			$\bar{V}_s = 7.61$										
C2-1	1	11.3		R	666											
	2	11.9	0.6	L	656	88	310		3900	23.05	5.9	899	781	2.53	2.21	5.0
	3	12.8	0.9	R	835	100	310		3900	15.66	11.3	611	688	0.90	1.01	5.0
	4	12.6	-	L	707	80	310		3400	24.55	-	835	749	-	-	7.0
	5	13.2	0.6	R	807	80	310		3800	10.50	7.3	399	472	0.91	1.08	3.5
	6	12.9	-	L	701	80	310		3500	20.08	-	703	521	-	-	3.5
			$\bar{L}_s=16$			$\bar{V}_s = 7.28$										
C2-2	1	8.9		R	1036											
	2	9.2	0.6	L	650	80	280		4100	21.57	5.9	884	-	2.50	-	6.5
	3	9.8	0.6	R	820	85	310		3800	14.97	7.4	569	-	1.28	-	5.0
	4	10.0	0.2	L	718	80	290		3800	24.31	2.2	924	-	7.00	-	4.5
	5	10.5	0.5	R	812	80	310		4100	7.00	6.1	287	-	0.78	-	5.0
	6	10.7	0.2	L	588	85	310		4000	24.21	1.8	976	-	9.04	-	5.0
			$\bar{L}_s=2.1$			$\bar{V}_s = 7.45$										
C2-3	1	10.5		R	557											
	2	11.0	0.5	L	751	77	290		4000	26.81	5.6	1072	812	3.19	2.42	9.0
	3	11.6	0.6	R	800	80	290		4200	20.62	7.2	866	713	2.00	1.65	6.5
	4	12.0	0.4	L	771	80	290		4000	21.99	4.6	880	840	3.19	3.04	10.0
	5	12.5	0.5	R	792	88	310		4000	19.10	5.9	764	678	2.16	1.92	27.0
	6	13.0	0.5	L	743	80	315		3200	27.65	5.6	885	782	2.63	2.33	19.5
			$\bar{L}_s=2.5$			$\bar{V}_s = 7.40$										
C2-4	1	9.8		R	762											
	2	10.3	0.5	L	748	80	290		4000	25.46	5.6	1018	712	3.03	2.12	15.5
	3	10.8	0.5	R	803	80	310		4200	5.37	6.0	226	249	0.63	0.69	7.5
	4	11.2	0.4	L	719	85	290		4000	18.25	4.3	730	640	2.83	2.48	10.5
	5	11.6	0.4	R	832	92	310		4000	5.59	5.0	224	253	0.75	0.84	12.0
	6	12.0	0.4	L	709	80	310		4000	22.66	4.3	906	636	3.51	2.47	39.0
			$\bar{L}_s=2.2$			$\bar{V}_s = 7.80$										
C3-1	1	9.6		R	604											
	2	9.8	0.2	L	493	85	285		4200	21.65	1.5	909	793	10.10	8.93	6.5
	3	10.7	0.9	R	566	90	290		4000	15.49	7.6	620	587	1.35	1.28	6.5
	4	11.0	0.3	L	434	95	310		4000	26.31	2.0	1052	796	8.99	6.80	5.5
	5	11.6	0.6	R	593	85	310		4000	16.68	5.3	667	573	2.08	1.79	6.5
	6	11.9	0.3	L	393	87	310		4000	22.07	1.8	883	746	8.31	7.02	7.0
			$\bar{L}_s=2.3$			$\bar{V}_s = 5.02$										
C3-2	1	9.8		R												
	2	10.6	0.8	L	579	-	285		4100	23.84	7.0	977	761	2.34	1.82	11.0
	3	11.4	0.8	R	477	-	300		4200	9.69	5.7	407	343	1.19	1.00	38.5
	4	12.0	0.6	L	536	-	300		4000	17.92	4.8	717	729	2.48	2.52	12.0
	5	12.8	0.8	R	454	-	310		4000	13.16	5.5	526	469	1.61	1.43	10.5
	6	13.5	0.7	L	385	90	310		4000	25.10	4.0	1004	832	4.14	3.43	10.0
			$\bar{L}_s=3.7$			$\bar{V}_s = 4.69$										
C4-1	1	9.3		R	453											
	2	9.7	0.4	L	432	-	280		4200	6.99	2.6	294	189	1.89	1.22	4.5
	3	10.8	1.1	R	450	-	280		4100	12.62	7.4	517	410	1.16	0.92	9.0
	4	11.0	0.2	L	409	-	290		3700	23.84	1.2	882	794	11.95	10.76	4.0
	5	11.7	0.7	R	451	95	310		4100	13.19	4.7	541	548	1.90	1.93	5.0
	6	11.7		L	420	-	310		3800	21.05	-	800	653	-	-	4.0
			$\bar{L}_s=2.4$			$\bar{V}_s = 4.35$										
C4-2	1	10.6		R	719											
	2	11.1	0.5	L	565	-	285		4800	5.66	4.2	272	230	1.07	0.91	20.0
	3	11.6	0.5	R	554	-	285		4800	0.54	4.2	76	7	0.10	0.03	16.0
	4	12.2	0.6	L	458	90	185		4200	14.52	4.1	610	443	2.47	1.79	20.0
	5	12.8	0.6	R	492	-	190		4300	8.25	4.4	355	336	1.34	1.26	12.5
	6	13.0	0.2	L	560	85	290		3800	27.08	1.7	1030	879	10.22	8.72	18.5
			$\bar{L}_s=2.4$			$\bar{V}_s = 5.35$										

$$\bar{X} = 5.03 \bar{t}_s \bar{V}_s$$

で示される。

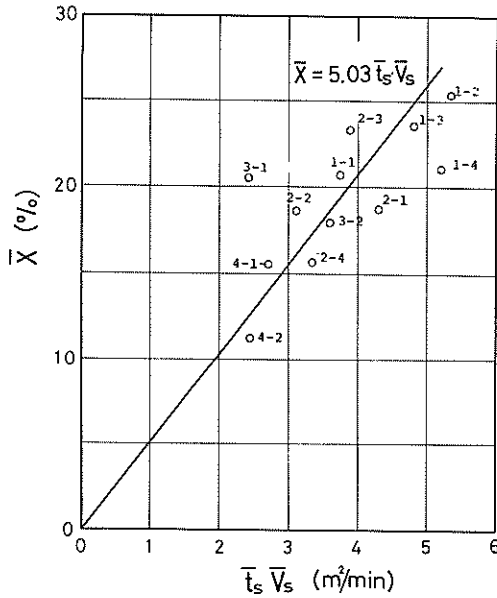


図-11  $\bar{t}_s \bar{V}_s$  と含いで率

### 5.3 しゅんせつ時の濁り

ポンプしゅんせつ船のまわりの濁りは、カッタ回転数、土厚、スイング速度などの運転条件に支配されることは勿論、しゅんせつ土質さらには潮流等の水理条件によっても著しく影響される。本調査ではカッタ近傍の濁りを中心に、しゅんせつ船周辺の濁りを測定した。前述のように、しゅんせつ土の  $d_{50} = 0.4 \text{ mm}$  の土粒子の沈降速度は  $0.87 \text{ m/min}$  であり、採水の周期は  $10 \sim 15$  分であるので、この間に土粒子は  $8.7 \text{ m}$  以上沈降することになる。従って、大部分の土粒子は次の採水までには掘跡に沈積するものと思われる。すなわち、スイングとともにSSが累積的に増加する傾向はほとんどないと言ってよいであろう。

その様子を图示したのが図-12である。濁りとして、A、B点下層のSSの平均値をとり、スイング回数との関係で示した。突発的に発生したと思われるような高いSSが表われているケースがある。これらの図からも、SSがスイングとともに累積的に増加する傾向は見られない。図-13はカッタの回転方向によって、A、B点のSSがどう異なるかを明らかにするために描かれたものであるが、顕著な差は見られない。

図-14はA、B点の上層と下層のSSを比較したも

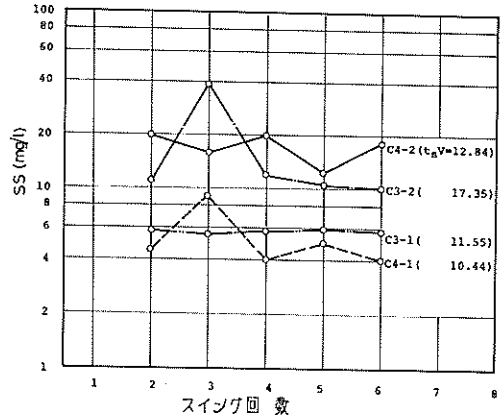


図-12-1 スイングとSS

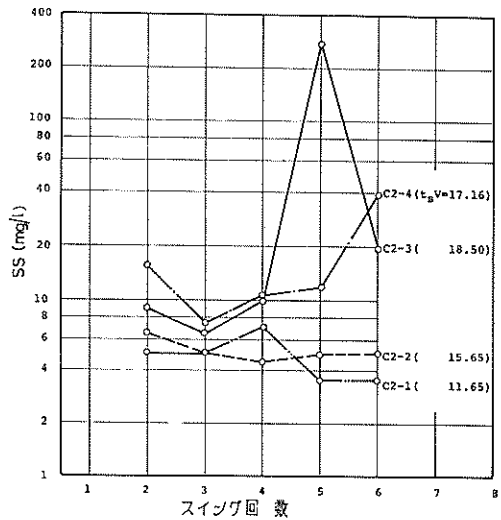


図-12-2 スイングとSS

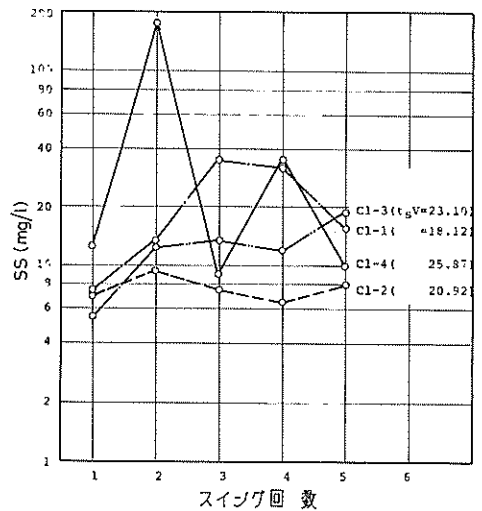


図-12-3 スイングとSS

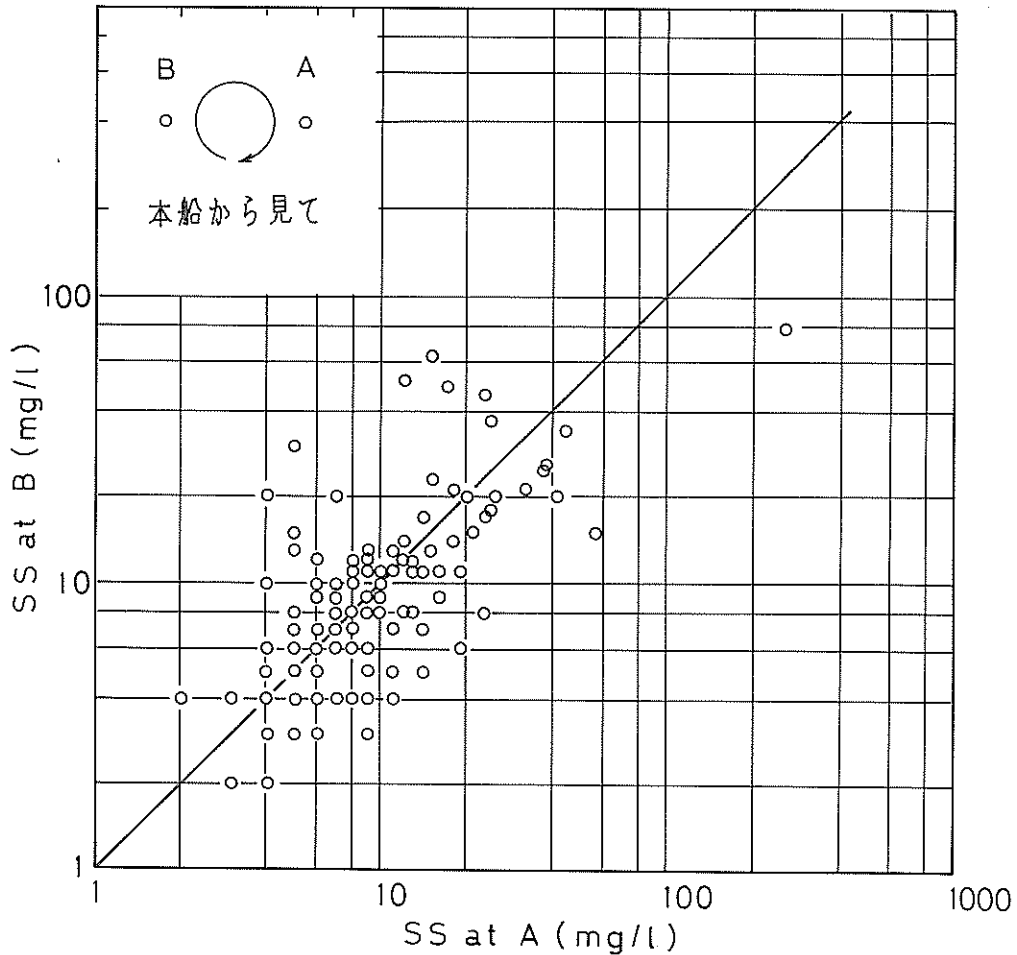


図-13 カッタ両側のSS

のであり、発生源のカッタに近い下層の方が当然ながら、SSが高い。以上の理由から、以後カッタ近傍の濁りをA、B点の下層のSSの平均値で代表させた。

実験ケースS-1はカッタを回転、スイングしながら吸込を行わないという運転条件である。この場合のカッタ近傍のSSの変化をスイング別に示したのが図-15である。通常運転（他の実験ケース）と比較しても、必ずしもSSが高いとは言えない。またスイング方向は異なるが、ほぼ同一採水地点と見なされる図-15の横軸の2と4、5と6は1と4、4と7に比べてSSが増加している。これは前者の方が後者よりも採水間隔が短いことから、SSが掘跡に沈積してしまわないうちの次の採水を行ったためであると考えられる。

図-16は調査船におけるSS測定結果である。すべ

て水深の中央における値である。これらの結果はA、Bの採水と同時刻のものである。しゅんせつによって発生した濁りが調査船に達するには、潮流の影響が大きく作用する。潮流測定結果から、流速がほとんどない場合が多いが、0.1m/sの流速だとしても、カッタに最も近い調査船までの距離は30mであるので、5分間の遅れで濁りが達することになるが、土粒子の沈降を考慮に入れると、濁りは調査船にはほとんど達しないと考えられる。しかしながら、調査船のSSはカッタまわりのSSよりも必ずしも低いとは言えない。ちなみに、海底上2mの位置に発生した濁りを構成する土粒子の中で、調査船の下層（海底上1m）に達する土粒子を上記の流れの条件の下に求めると、沈降距離が1mとなるので、沈降速度の0.2m/minの粒子となり、ストークスの式から、

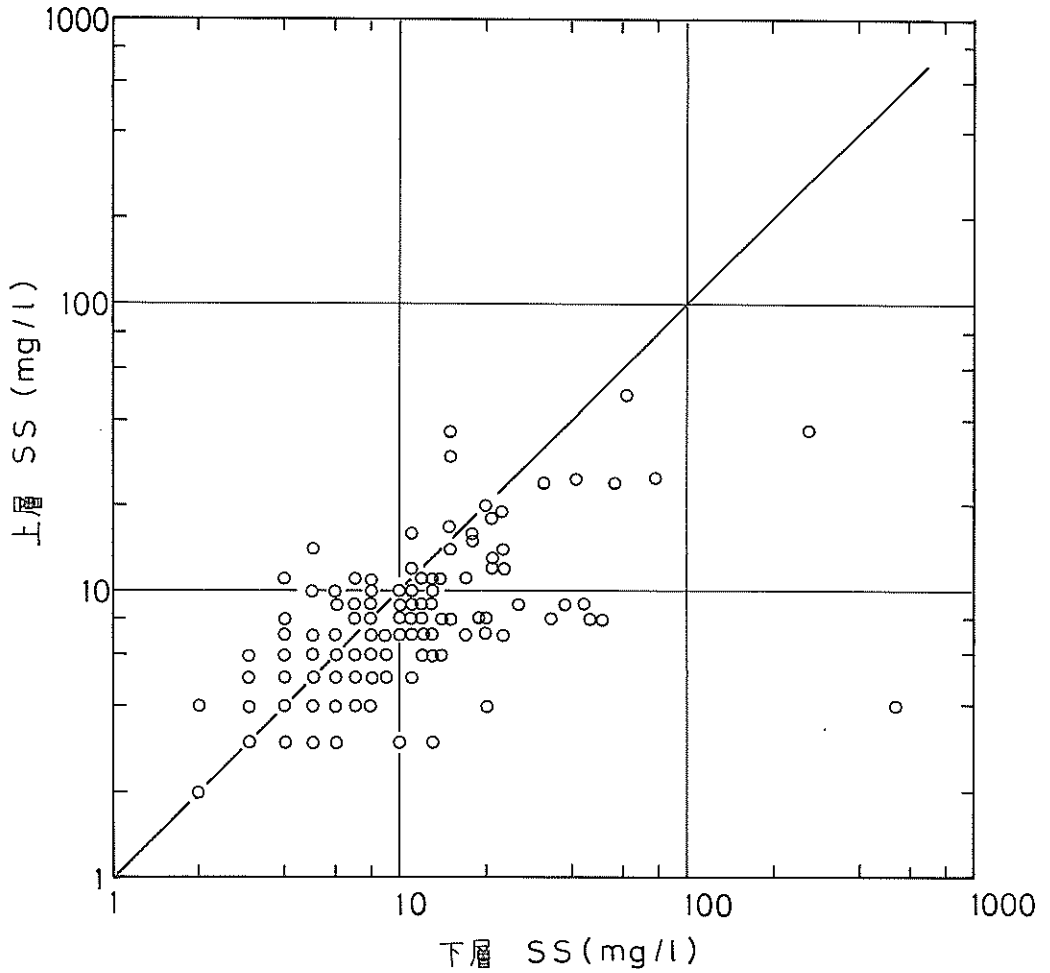


図-14 上層と下層のSS

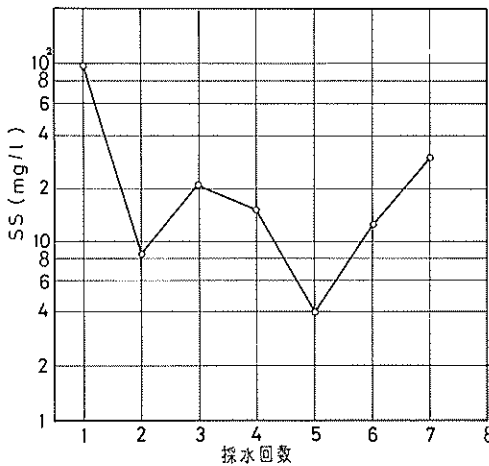


図-15 スィングとSS (S-1)

$d = 0.061\text{mm}$ となる。カッタ附着土の粒径加積曲線から、濁りとして発生した土砂の35%が調査船に達することになる。それにもかかわらず、上記の現象が起るのは、海底土砂の舞い上り等により下層のSSがかなり不安定であることに起因すると考えられる。調査船におけるSSのデータから、運転条件と濁りの拡散について論ずることは一見して困難である。

カッタ近傍および調査船において、SSの測定と同時に濁度の連続測定を行った。しかし、カッタ近傍の4点においては、センサを取付けたヤグラの振動等による厳しい使用条件のためか、明らかに濁度計の故障と思われる記録が得られたので、ここでは、カッタにおける濁度記録については触れない。

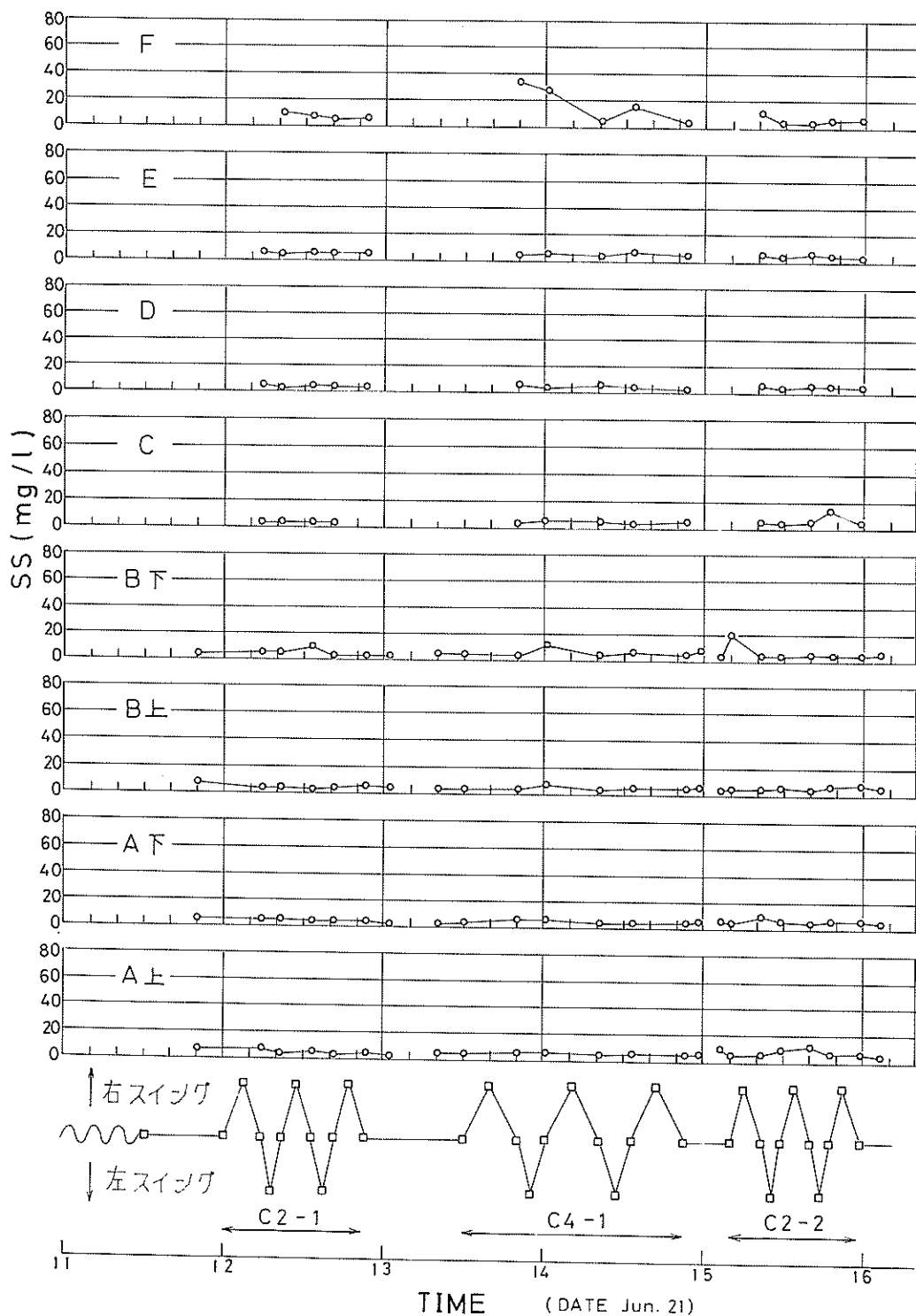


図-16 調査船でのSS



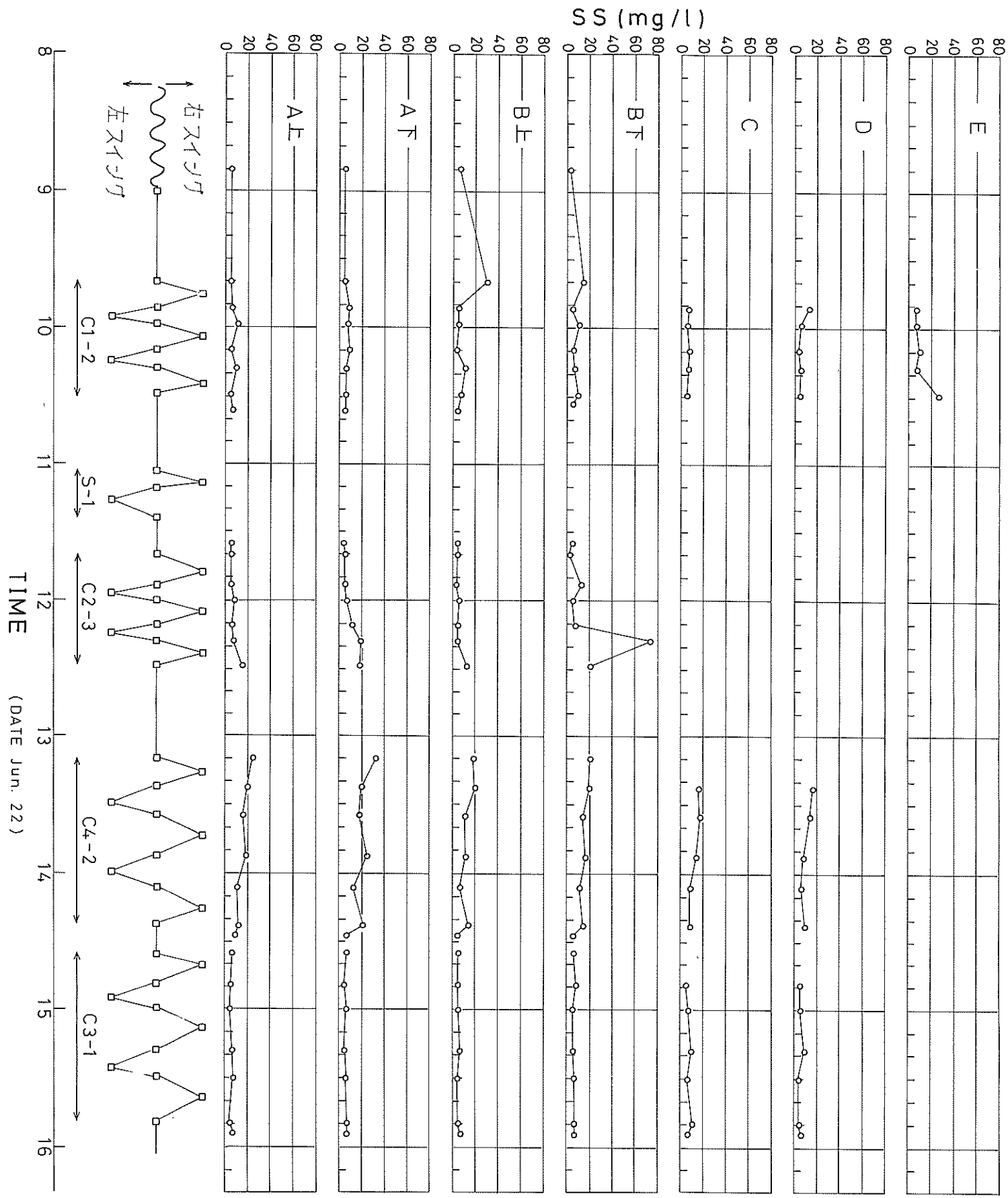


図-16 調査船でのSS

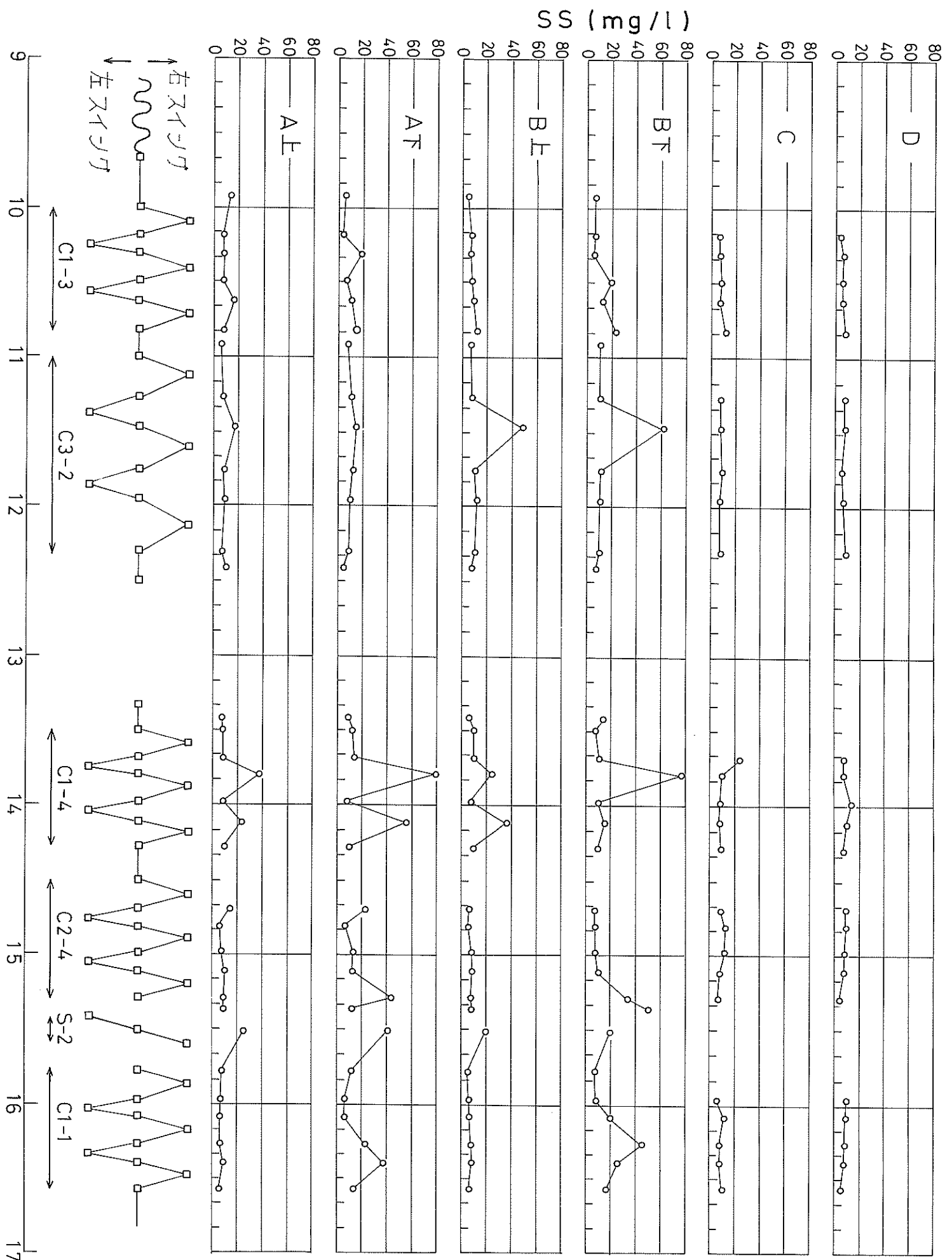


図-16 調査船でのSS  
 (DATE. Jun. 23)

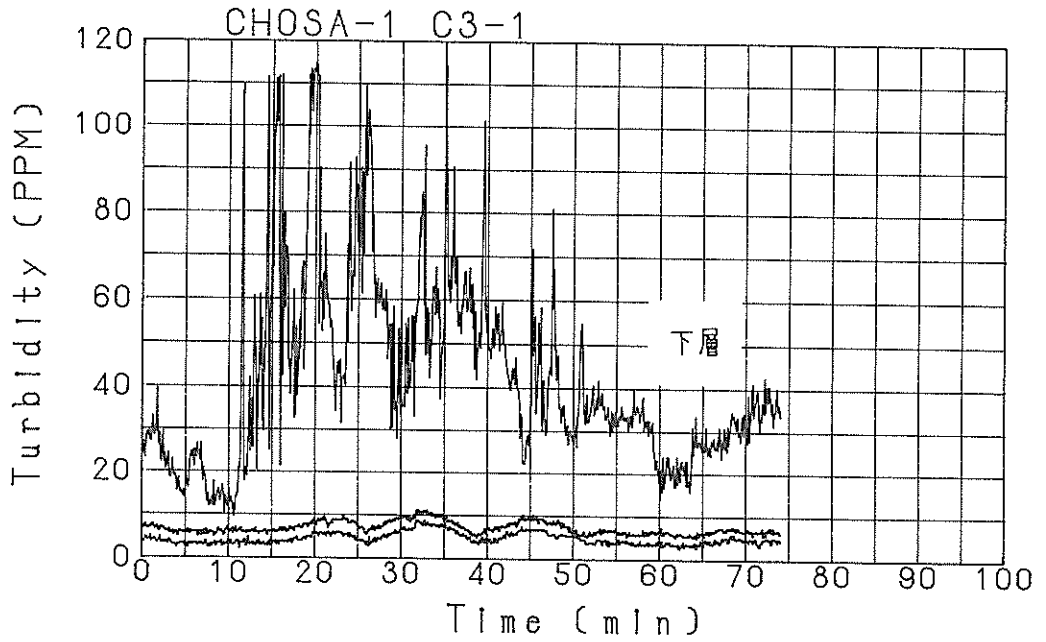


図-17 調査船での濁度測定例

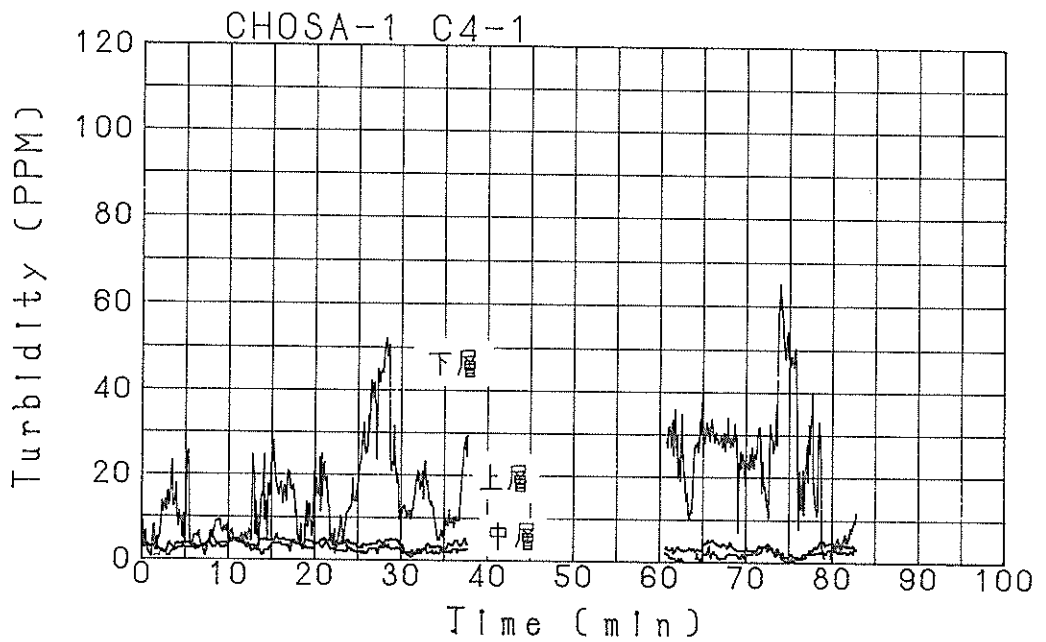


図-17 調査船での濁度測定例

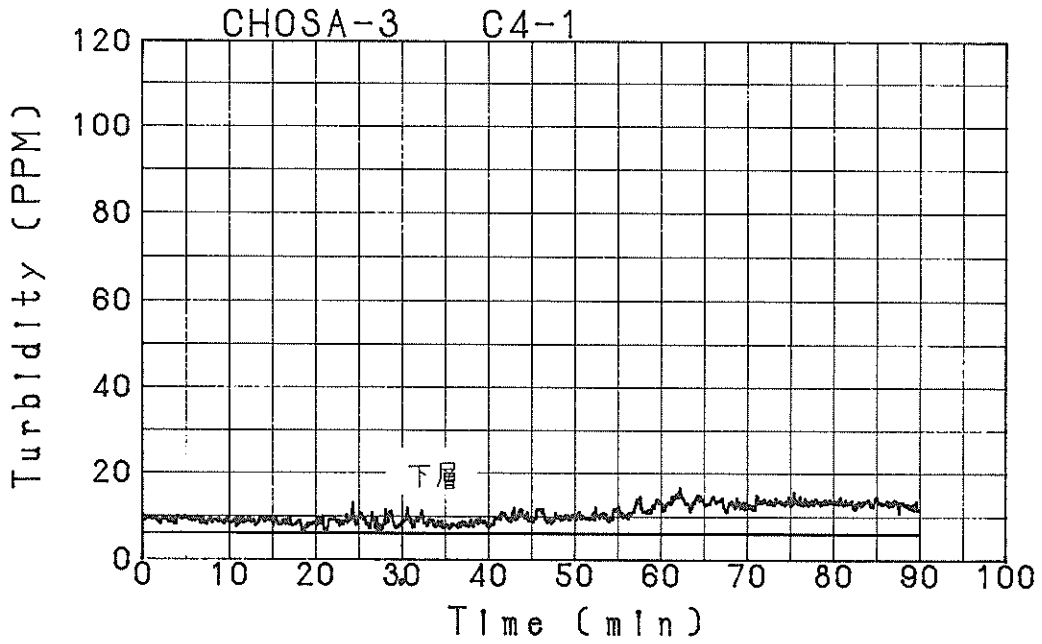


図-17 調査船での濁度測定例

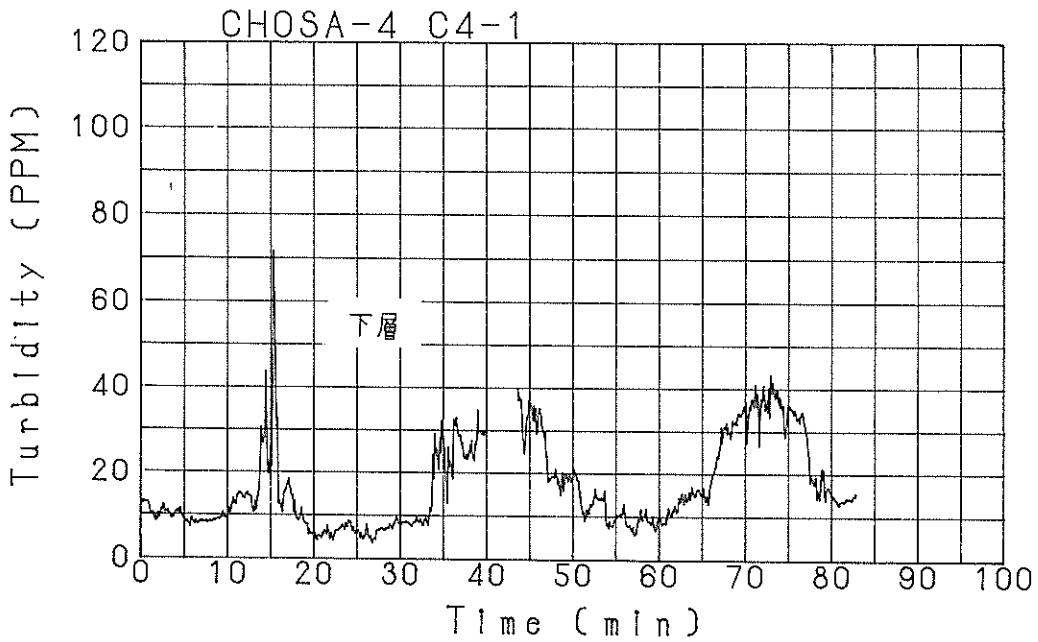


図-17 調査船での濁度測定例

図-17に調査船における濁度測定結果の一例を示す。濁度は上, 中, 下層の3点で測定した。下層において異様な濁りを示すものがある。本調査に使用した濁度計は前方散乱光方式であるために, センサの前方に物体が近づくと(50 cm程度)と, 濁りとして捉える性質がある。下層は海底上1 mの点であるので, 調査船の波による上下運動によってセンサが海底に近づいたために, こういう現象が検出されたものと考えられる。しかしながら, これらの図から, 下層の異様な濁りを除いても, 上層, 中層は下層よりも濁りが低いことがわかる。下層の濁りは調査船1, 4で高く, 調査船2, 3では低い。

#### 5.4 しゅんせつ能力と濁りの関係

今回の調査はポンプしゅんせつ船の運転条件と濁りの関係を明らかにすることが目的であった。しかし, 前述したようにカッタ近傍における濁度の連続測定がうまくできなかったために, 採水によるSSを濁りの指標として整理することになった。採水による濁りの測定では一般に採水間隔を現象の変化に応じて調節するのが望ましいが, 濁りの変化のパターンが不明な場合が多いので, 今回の調査では, 分析試料の数の関係から, 1スイングに1回の採水とした。ここではカッタ近傍の濁りをA, B点下層の平均SSで代表して検討した。

ポンプしゅんせつ船の通常作業における能力評価は, 単位時間当りの揚土量, つまり(含でい率)×(流量)で行うべきである。ポンプ流量は含でい率と逆の関係, すなわち含でい率が增加するとポンプ流量は減少するという関係にある。しかしながら, 図-11に見られるように, 含でい率と揚土量は単調増加の関係にあるので, 含でい率を能力評価のパラメータとしてもよい。含でい率が高ければ揚土量も多く, 濁りの要因である浮遊土砂の発生量は少くなると考えられる。しかし一方では, 揚土量の増加はカッタのスイングによる排土量の増加にもつながるので, 一概に含でい率の増加, すなわち濁りの減少という単純な関係は成立しないであろう。

図-18は採水時前後を含む含でい率の平均値とSSの関係プロットしたものである。O1-4, O2-3の実験で高いSSが測定されたが, 全体的に見れば, 単に含でい率のみでは濁りとの関係を決定できないことがわかる。

それでは, 濁りはどんなパラメータによって支配されるのであろうか。前報<sup>1)</sup>と同様の考え方を導入すると, カッタ近傍の濁りはスイングによって排土された土量と実際の揚土量との差, つまり残土量に関係すると考えら

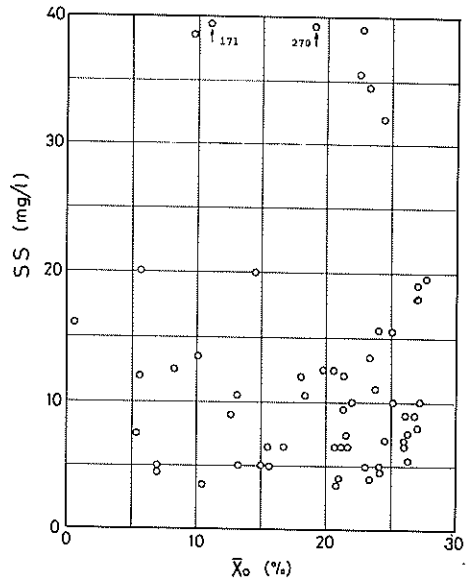


図-18 含でい率とSS

れる。そこで採水時前後の平均揚土量を, そのスイングを代表する揚土量として, スイングによる排土量との比, つまり有効吸込率  $R_0$  を

$$R_0 = \frac{\bar{Q}_0 \bar{X}_0}{(1-n) \bar{V}_0 \bar{V}_s l}$$

で定義すると, 前報<sup>1)</sup>で定義した残土率  $R'$  は

$$R' = 1 - R_0$$

となる。

図-19は各スイングごとの  $R_0'$  とSSの関係プロットしたものである。 $R_0$ が1を超える, つまり残土率が負の値になる場合がほとんどである。 $R_0$ が1を超えるということは, スイングによって排土された土量よりもポンプによって吸込まれた土量の方が多いということで, 前にも述べたように, 実際には, ラダーを下げたことによる見かけの土厚よりも, 真の土厚の方が大きいことが考えられる。これは前のスイングによる残土が次のスイングによって吸込まれることなども原因であろう。

したがって, 前のスイングによる残土の影響も考慮に入れた, 第  $k$  スイングにおける有効吸込率  $R_{0k}$  を

$$R_{0k} = \frac{\sum_{i=1}^k (\bar{Q}_0 \bar{X}_0)_i}{\sum_{i=1}^k (1-n) \bar{V}_0 \bar{V}_s l} \left[ \text{正しくは} \times \frac{1}{1-n} \right]$$

で定義すると,  $R_{0k}$  とSSの関係は図-20のように図

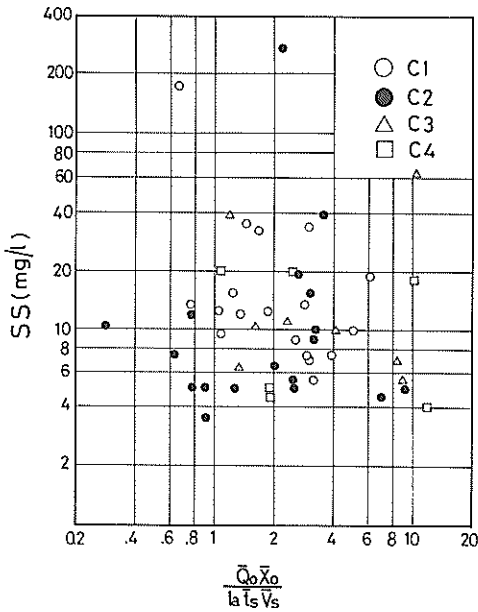


図-19 有効吸込率とSS (スイング毎)

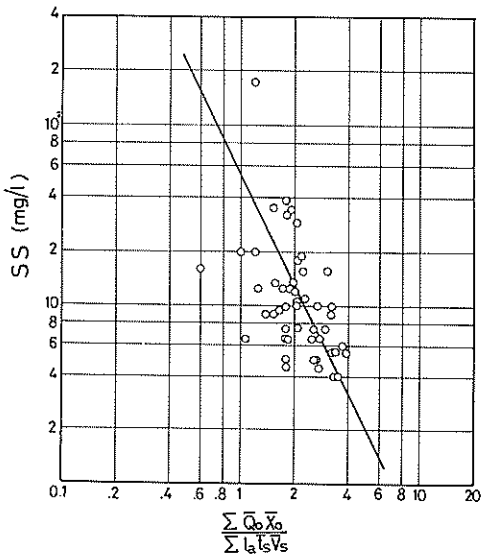


図-20 有効吸込率とSS (累積)

示される。図-19と比較すると、ばらつきがかなり小さくなっていることがわかる。さらに $k$ を最終スイングの番号として、 $R_{0k}$ を一つの実験ケースを代表する有効吸込率と見なして、SSとの関係をプロットしたのが図-

21である。図-19, 20と比べると、バラツキはかなり小さくなっている。同図には、昭和49年度に四日市港で行った、ポンプしゅんせつ船による濁りに関する調査結果から求めた関係<sup>1)</sup>を併記している。最終スイングにおける $R_{0k}$ とSSとの関係は、

$$SS = 7332 R_{0k}^{-7.4}$$

で表わされる。 $R_{0k}$ の増加とともにSSは急激に減少する。

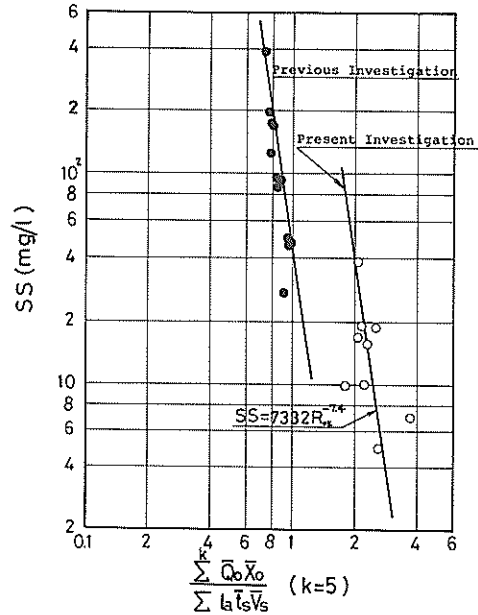


図-21 有効吸込率とSS (最終スイング)

最終スイングでの有効吸込率が運転条件によってどのように変化するかを見るために、一実験ケースにおける総しゅんせつ土厚(最初の半スイングは土厚が不明なため無視した)と全スイングの平均スイング速度との積との関係で示したのが図-22である。すなわち、横軸は全スイングの平均的な単位時間当りの排土量に比例した量である。単位時間当りの排土量の増加ともなうて、有効吸込率は減少、つまりSSが増加する傾向がある。

次に総しゅんせつ土量と濁りとの関係は、汚濁発生原単位<sup>6)</sup>という概念に相当し、しゅんせつによる濁りの予測において重視されているものである。採水間隔が長いために、濁り発生量を求めるには少々粗雑であるが、ここでは発生量としてA, B点上下4点のSSの平均値で代表させた。スイング幅、スパッド前進距離は一定であるので、総しゅんせつ土量として総しゅんせつ土厚をパラメータとして示したのが図-23である。本図から、

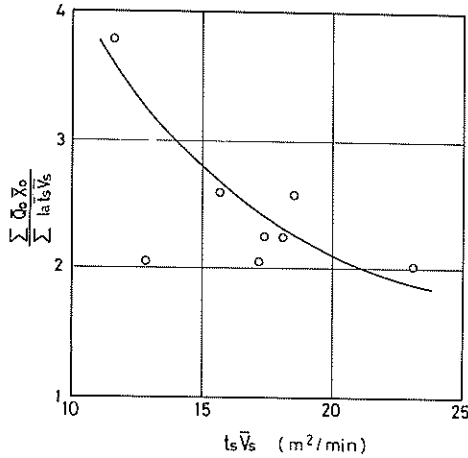


図-2.2 平均排土量と有効吸込率

総しゅんせつ土量の増加にともなって、発生量が増加する傾向がうかがえる。

## 6. まとめ

ポンプしゅんせつ船の運転条件と濁りおよびしゅんせつ能力との関係が明らかになった。まとめると次のとおりである。

- (1) カッタ近傍の濁りはスイングによる排土量とポンプによる揚土量との比、即ち有効吸込率によって支配される。最終スイング時の有効吸込率の増加とともに、SSは急激に減少する。
- (2) 全スイングにわたっての平均排土量の増加にともなって、カッタまわりのSSは増加する。
- (3) 総しゅんせつ土量が増加すれば、発生量も増加する。
- (4) カッタから30m以上離れた点には、しゅんせつによる濁りはほとんど達しない。

問題点として、

- (5) 濁りの拡散と運転条件との関係を明らかにするには、潮流測定を厳密に行う必要がある。潮流の連続測定と微流速まで測定できる計測システムの採用が望まれる。

## 7. あとがき

今回の調査はポンプしゅんせつ船の運転条件と濁りとの関係を調べたものであった。とくに発生源のまわりの濁りについて検討した。この種の調査はまだ例が少ない。発生源での濁りは海水汚濁の予測を行う上で、最も基本的なものであるが、しゅんせつ地点周辺の海域への濁り

の拡散を重視した調査が望まれる。この分野の研究(土粒子の拡散やしゅんせつによる濁り)は未解決の部分が非常に多い。理論的にはほとんど手がつけられていないと言っても過言ではない。したがって、理論的な追求とそれを裏付けるためのこの種の現地調査の積重ねが必要である。

今回の調査において、海底地形の平坦な場所で調査すること、および厳しい使用条件に耐えることのできる濁度計の開発とが反省点及び問題点として挙げられる。

最後に、本調査に当り終始御協力をいただいた港湾局機材課、第四港湾建設局荻田港工事事務所、下関機械整備事務所および五洋建設株式会社の関係各位に感謝の意を表する。

## 8. 補足

ここで、定義した有効吸込率は、海上管内において輸送土砂がたい積しないとして、含でい率計で測定された含でい率をそのまま使用したが、得られた値はほとんど1以上であり、理論的に不合理な結果となった。これには、本文で述べた原因以外に上記の土砂の管内たい積も有力な要因と考えられる。つまり、有効吸込率の定義式中の含でい率は、厳密には海上管の吐出口における吐出物の真容積含でい率を用いるのが正しい。

しかしながら、今回の調査では吐出物の真容積含でい率を測定しなかった。そこで、たい積現象が生じたか否かについて若干の検討をしてみよう<sup>7)</sup>。吐出物の容積含でい率は不明であるが、カッタのスイングによって排土された土量がすべて吸込まれたとしても、4~10%程度であるので、沈殿によるたい積限界流速  $v_l$  は同文献から、

$$F_l = \frac{v_l}{\sqrt{2gD(\delta-1)}}$$

で与えられる。ここで

$F_l$  : 粒径と吐出物容積含でい率で決るフルード数

$g$  : 重力加速度

$D$  : 海上管内径

$\delta$  : 土粒子真比重

である。限界流速を与える  $F_l$  は  $d_{50} = 0.4$  mm、含でい率4~10%に対して、1.1であるので、 $v_l = 5.03$  m/sとなり、表-4から明らかなように、すべて管内流速は  $v_l$  以下であり、管内に輸送土砂がたい積していたということは十分に考えられることである。

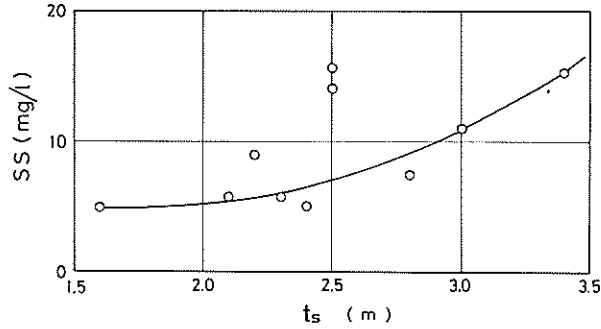


図-23 総しゅんせつ土量とSS

一方、昭和49年度四日市で行った現地調査では、 $d_{50} = 0.006 \text{ mm}$ であり、上記と同様の計算を行うと、管内土砂は十分に浮遊していたことが明らかである。

そこで、管内土砂の粒群としての平均速度を $V_s$ 、混合物としての平均速度を $V_m$ 、管内含でい率を $x$ 、吐出物含でい率を $X$ とすれば<sup>8)</sup>、

$$X = \frac{V_s}{V_m} x$$

となり、 $V_s/V_m$ を一定とみなすことができれば、吐出物含でい率と管内含でい率は比例関係にある。したがって、本文中の有効吸込率は、真の(吐出物含でい率で定義した)有効吸込率に比例することになる。

(1978年6月31日付)

### 参考文献

- 1) 八木得次, 他, 「ポンプ浚渫船の運転条件が浚渫能力及び濁りに及ぼす影響」 港湾技研資料, No. 228, Sept. 1975
- 2) 小岩, 宮崎, 中園, 他, 「グラブ浚渫船の運転条件が濁りに及ぼす影響」 港湾技研資料, No. 257, Mar. 1977
- 3) 八木, 早乙女, 増田, 他, 「ドラグサクシオン浚渫船の浚渫時における汚濁調査」 港湾技研資料, No. 279, Dec. 1977
- 4) 長谷川, 八木, 徳永, 「浚渫ポンプの性格とその使用法」 運輸技術研究所報告別冊, 1958
- 5) テルツェギ・ベック著, 星野ら訳, 「土質力学」基礎編, 丸善K.K.
- 6) 第四港湾建設局海域整備課, 「浚渫埋立影響調査調査指針」 昭和51年3月
- 7) 寺田 進, 「固体混合液の管路輸送」 理工図書
- 8) 長谷川, 八木, 徳永, 「サンドポンプの性能ならびに管抵抗の実験」 運輸技術研究所報告 Vol. 7, No. 6, 1957



港湾技研資料 No. 305

1978・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 目青工業株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.