

# 港 湾 技 研 資 料

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

No. 420      June. 1982

ポンプ浚渫船のカッタによる濁りの模型実験 (その2)

白	鳥	保	夫
増	田	勝	人
加	藤	英	夫
山	内		栄

運輸省港湾技術研究所



# 目 次

要 旨 .....	3
1. ま え が き .....	3
2. 模型の速度縮尺の選定 .....	4
3. 供試土砂の性状 .....	4
4. 実験装置と実験方法 .....	5
4.1 実験装置 .....	5
4.2 実験方法 .....	5
4.3 実験パラメータ .....	5
5. 計 測 項 目 .....	6
5.1 濁度と懸濁物質量の関係 .....	6
5.2 含泥率の測定 .....	6
6. 実験結果と考察 .....	7
6.1 濁りの状況 .....	7
6.2 沈降能力 .....	9
6.3 濁りの発生量と運転条件 .....	11
6.4 実機での濁りの発生量の試算 .....	18
7. 結 論 .....	19
8. あ と が き .....	20
参 考 文 献 .....	20
主 要 記 号 表 .....	20
付 録 .....	21

## Model Experiment on Turbidity Caused by Pump Dredging (Part-2)

Yasuo SHIRATORI\*  
Katsuto MASUDA\*\*  
Hideo KATO\*\*  
Sakae YAMAUCHI\*\*

### Synopsis

Authors carried out model experiments on turbidity caused by pump dredging to investigate the relationships between turbidity and operating conditions. The model bottom material consists of flyash and bentonite. The scale ratio of the operating conditions is 1.

Turbidity is mainly caused by the contact of the cutter head with the bed. Owing to the dredging mechanism, SS concentration at the right side of the cutter head is greater than that at the other side regardless of the swing direction. And turbidity is mainly generated in the right swing operation. The amount of turbidity depends greatly on the peripheral velocity of the cutter and does not depend on the swing velocity.

The cutting depth, that is one of the operating conditions, is also an influential factor on turbidity. When it is less than a half of cutter diameter the amount of turbidity is greater than those in other cases.

The influence of operating conditions on turbidity can be expressed by the following equation according to the dimension analysis.

$$w_0 = \frac{C}{X_a} \phi^\beta F_r^\gamma (\beta/2 + \gamma) \left(\frac{V}{V_p}\right)^\gamma \left(\frac{l_s}{D}\right)^{2\gamma}$$

where,  $\phi$  is non-dimensional number for the similarity of cutter's trace,  $V/V_p$  is that for transfer of turbidity and  $l_s/D$  is that of the contact length of the cutter with the bed. In this experiment,  $\beta, \gamma$  equal to 2.12, 2.06 respectively.

The converting formula of turbidity proposed by authors gives reasonable value compared with empirical field data.

---

\* Chief of the Sludge Treatment Laboratory, Machinery Division

\*\* Member of the Sludge Treatment Laboratory, Machinery Division

# ポンプ浚渫船のカッタによる濁りの模型実験（その2）

白鳥保夫\*  
増田勝人\*\*  
加藤英夫\*\*  
山内栄\*\*

## 要 旨

縮尺 1/10 のポンプ浚渫船の模型を用いて実験を行い、濁りの発生に与える運転条件の影響について検討した。

供試土砂は、フライアッシュとベントナイトから成る模擬汚泥であり、運転条件等の速度の縮尺は 1/1 とした。

濁りの発生は、カッタによる供試ベッドの攪乱によるものが主であり、カッタが右回転である機構上カッタの右側面で多くの濁りを発生し、また右スイング時に多くの濁りを発生させた。

濁りの発生量に与える運転条件の影響は、カッタ周速度、潮流によるものが強く、スイング速度による影響は、比較的小さかった。また、土厚の変化はカッタと土面との接触面の長さに関係するため、濁りの発生に大きな影響を与えている。特に、土厚がカッタ直径の 1/2 以下の薄い土厚では、濁りの発生量は多くなる。

濁りの発生量を運転条件などの各パラメータの積の形で表すことにし、これを次元解析の手法により求めた結果、次の無次元数からなる関係式が得られた。

$$W_0 = \frac{C'}{X_a} \phi^\beta F_r^{(\beta/2 + \gamma)} \left( \frac{V}{V_p} \right)^\gamma \left( \frac{l_s}{D} \right)^{\gamma \tau}$$

$F_r$  は、フルード数で、 $\phi$  はカッタの軌跡の相似に、 $V/V_p$  は濁りの移送に、そして  $l_s/D$  は接触面の大きさに関する無次元数である。本実験では、 $\beta = 2.12$ 、 $\gamma = 2.06$  であった。また、この換算式を用いて実機による濁りの発生量を推算した結果、経験的な現地データと比べてほぼ妥当な値が得られた。

## 1. ま え が き

へどろなどの汚泥の浚渫埋立工事では、環境保全の立場から規制値が設けられ汚濁防止策を講ずることが要請されている。浚渫による濁りの発生機構の解明および発生量の把握は、この水質汚濁防止上重要であり、濁りの発生が少ない浚渫機および工法を開発する上で基本となるものである。

浚渫による濁りの発生原因としては、浚渫工法や運転条件、周辺海域の状況および浚渫土砂による要因が上げ

られ、これらの要因が絡み合っ濁りの現象を複雑にしている。

前報<sup>1)</sup>の実験は、スイング速度やカッタ周速度等の速度の縮尺を水平縮尺と等しくした模型とそれらの縮尺を水平縮尺の平方根と等しくした模型の2種類について行い、濁りの発生量と運転条件の関係および模型実験の手法について検討した。

浚渫機構上ポンプ浚渫船による濁りは、カッタによる海底土の攪乱によるもので、特に右スイング時の刃先との接触が主因であることがわかった。また、発生量に影

\* 機材部 汚泥処理研究室長

\*\* 機材部 汚泥処理研究室

響する運転条件として、 $|V_c - V_s|$  や  $\phi (=V_c/V_s)$  のパラメータを選んでいる。前者は、カッタ刃先の対水速度、後者は、カッタと土面との接触回数を意味し、ともに発生量に関連づけられた。

しかしながら、ポンプ吸込力の関係など浚渫状況の模型化が不十分であり、実機への適用に当たって問題があった。

本研究では、ひき続きポンプ浚渫船に着目し、実機に近い状態について考えてスイング速度やカッタ周速度等の速度の縮尺が現尺である模型について実験を行って濁りの発生量と運転条件の関係について検討を進めた。

## 2. 模型の速度縮尺の選定

原型と模型の間に力学的相似を成立させることは、模型実験で必要とされる要件である。

しかし、濁りの発生量と運転条件との関係は複雑であり模型実験の相似則については未解明の点もある。ここでは、前報<sup>1)</sup>の継続としてスイング速度やカッタ周速度等の速度の縮尺を1とした模型を選定した。これを模型Ⅲとする。

カッタ刃先の描くトロコイド曲線を構成する直径比  $K$  は、(2.1)式で表される。

$$K = \frac{d}{D} = \frac{V_s}{V_c} \equiv \frac{1}{\phi} \quad (2.1)$$

ここに、 $D$ ：カッタ刃先円直径、 $d$ ：ころがり円直径、 $V_s$ ：スイング速度、 $V_c$ ：カッタ周速度、 $\phi$ ：パラメータ。

カッタの描く軌跡の相似条件は  $K_r = 1$  であり、前報の模型Ⅰ、Ⅱと同様に模型Ⅲもこの条件を必要とするが、これは、(2.1)式と運転条件の設定より明らかである。

次に、原型と模型の関係を(2.2)式のようにおく。

$$l_r = \frac{x_R}{x_M} = \frac{y_R}{y_M}, \quad h_r = \frac{h_R}{h_M}, \quad D_r = \frac{D_R}{D_M}, \quad V_r = \frac{V_R}{V_M} \quad (2.2)$$

$x, y$ ：水平座標、 $h$ ：水深、 $V$ ：潮流である。また、添字  $R, M$  はそれぞれ原型、模型を表し、 $r$  は縮尺を意味する。

浚渫ポンプの吸込流量の縮尺  $Q_r$  は、管内の含泥率が同じとすると、掘削量の縮尺で与えられ、(2.3)式となる。

$$Q_r = b_r \cdot t_{sr} \cdot V_{sr} = D_r^2 \quad (2.3)$$

ここに、 $b_r, t_{sr}$  はそれぞれカッタ幅、浚渫土厚の縮尺である。また、カッタと土面との接触長さ  $l_{sr}$  の縮尺  $l_{sr}$  は、(2.4)式で表される。

$$l_{sr} = D_r \quad (2.4)$$

模型実験では、 $l_r = D_r = 10$  の縮尺を使用した。表-2.1に縮尺の関連について、表-2.2に原型の諸元および実験範囲について示した。参考のため模型Ⅰ、Ⅱの値も併記している。

表-2.1 縮尺の関連

	水 平 座 標 $x, y$	ス イ ン グ 速 度 $V_s$	カ ャ タ 周 速 度 $V_c$	潮 流 $V$	ポ ン プ 流 量 $Q$	ポ ン プ 吸 込 速 度 $V_p$	接 触 面 の 長 さ $l_s$
模型Ⅰ	$l_r$	$D_r$	$D_r$	$D_r$	$D_r^2$	$D_r$	$D_r$
模型Ⅱ	$l_r$	$D_r^{1/2}$	$D_r^{1/2}$	$D_r^{1/2}$	$D_r^{5/2}$	$D_r^{1/2}$	$D_r$
模型Ⅲ	$l_r$	1	1	1	$D_r^2$	1	$D_r$

表-2.2 原型と模型の諸元関係

	ス イ ン グ 幅 $B$ (m)	水 深 $h$ (m)	ス イ ン グ 速 度 $V_s$ (m/min)	カ ャ タ 同 速 度 $V_c$ (m/min)	潮 流 $V$ (m/min)	ポ ン プ 流 量 $Q$ (m <sup>3</sup> /h)
原 型	11.0	4.0	6 ~ 10	60 ~ 120	6 ~ 18	4200
模型Ⅰ	1.1	0.4	0.6 ~ 1.0	60 ~ 120	0.6 ~ 1.8	4.2
模型Ⅱ	1.1	0.4	1.9 ~ 3.2	19.0 ~ 37.9	1.9 ~ 5.7	13.3
模型Ⅲ	1.1	0.4	3.2 ~ 5.3	32.0 ~ 63.0	3.2 ~ 9.5	22.4

## 3. 供試土砂の性状

浚渫土砂の粒度組成、含水比および比重などの汚泥の性状は、浚渫による濁りの発生量や拡散領域の範囲に影響を与える。

供試汚泥には、フライアッシュ ( $F$ ) とベントナイト ( $B$ ) の混合割合を重量比 ( $B/(B+F)$ ) で  $1/8$  とした模擬汚泥で、含水比が  $60\%$  で調整したものをを用いた<sup>1)</sup>。また、供試ベッドの圧密状態は、土のせん断強度で評価した。表層、下層ともに経過時間が  $10 \sim 100$  時間においてせん断強度がほぼ一定値を示し、ベッド作成時から実験終了時までの含水比の低下が小さく、供試ベッドとして良好な特性と言える。供試汚泥の真比重は、 $2.21$ 、単位体積重量は、 $1.52 \text{ g/cm}^3$ 、含水比  $60 \sim 70\%$  である。図-3.1に粒径加積曲線を示す。

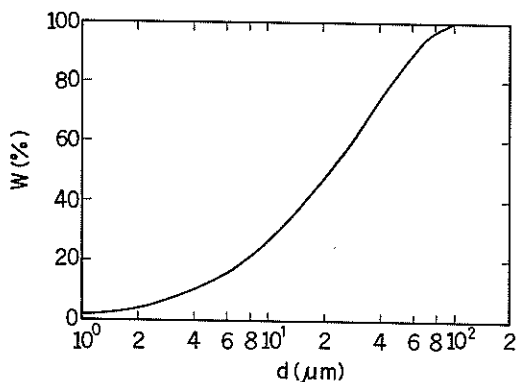


図-3.1 供試土砂の粒径加積曲線

## 4. 実験装置と実験方法

### 4.1 実験装置

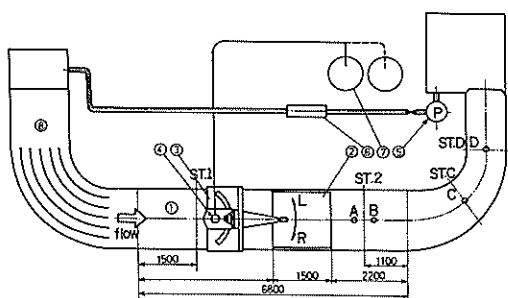


図-4.1 実験装置の概要

図-4.1に実験装置の概略を示す。装置は、試験水槽①、循環水槽⑥、波渾装置④そして循環ポンプ⑤などで構成されている。試験水槽①は、全長6.8 m、幅1.5 m、深さ1.5 mの形状であり、供試ベッド②は、長さ1.5 m、幅1.4 m、深さ0.2 mである。カッタの形状は、クローズ型である。

以下に各装置の仕様を示す。

#### (1) 波渾模型装置④

波渾ポンプ：0.5 m<sup>3</sup>/min × 5 m × 2.2 kW

スイング幅：1.1 m

スイング速度：0～5.3 m/min

カッタ周速度：0～87 m/min

カッタ形状：180 mmφ × 150 mm、クローズ型

ポンプ口径：50 mm

#### (2) 循環ポンプ⑤

4.2 m<sup>3</sup>/min × 20 m × 11 kW × 1450 rpm

#### (3) 濁度計測器

吸光式透過率：0～100%，三段切換

散乱光式濁度計：0～1000 ppm，四段切換

採水装置：真空式

### 4.2 実験方法

波渾は、1スイングのみの場合と連続8スイングの場合の二種類を合わせて1ケースとした。連続スイングの波渾は、平面掘削であり、その際の前進距離は、100 mmである。

それぞれの波渾の開始は、濁りのバックグラウンドが十分に小さく、安定した状態で行われた。濁りの検出はカッタ回り6点とA、B点各4点、C、D点およびバックグラウンド各1点の合計17点において濁度計もしくは採水によって行った。図-4.2に各点の配置を示す。

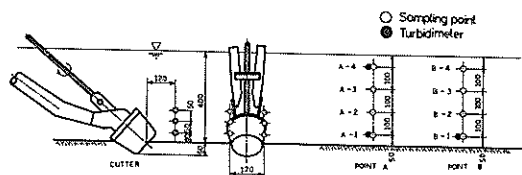


図-4.2 採水点、濁度測定点の配置

カッタ回りの採水は、1スイング波渾時にはスイング中央で、そして連続スイング時では5スイングめの中央点で行った。前者は、左スイング時の採水で、後者は右スイング時の採水であり、スイング方向の違いによる濁りの比較に用いた。AおよびB、C、D点での採水は、濁りが到達したところ合いを見計らって適宜1回行った。

また、A1およびA4、B1点では散乱光濁度計で、C、D点では吸光式透過率計で濁りの連続測定をしている。

### 4.3 実験パラメータ

波渾による濁りに影響を与える運転条件としてカッタ周速度、スイング速度および潮流をパラメータに選んだ。

実験は、カッタ周速度 $V_c$ が0～56 m/minの4種類、スイング速度 $V_s$ が1.3～5.3 m/minの3種類、潮流 $V$ が2.78～5.7 m/minの2種類の計12ケースについて行った。さらに、波渾土厚の影響を調べるためカッタ直径の1/3、1/2、2/3土厚と変化させた実験を行った。

## 5. 計測項目

### 5.1 濁度と懸濁物質量の関係

濁りの測定では連続記録が不可欠な要素であるため散乱光式濁度計や吸光式透過率計を用いている。しかし、光の透過率や散乱率の変化を計測原理としている濁度計では水中の懸濁物質の粒径の大きさや色調によって透過率や散乱率が影響を受けるため、その指示値から濁度を求める場合に注意を要する。

懸濁物質濃度（以下、SSと呼称する）は、濁水の単位体積当たりの浮遊物質の質量で定義され、細粒子による濁りの表示に適していると考えられる。本実験における濁りの評価はすべてSS量に換算して行った。

図-5.1, 5.2は、供試土砂に用いた模擬汚泥を試料

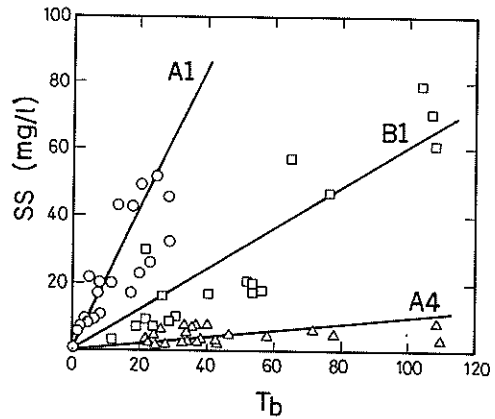


図-5.2 散乱光式濁度計の検量線

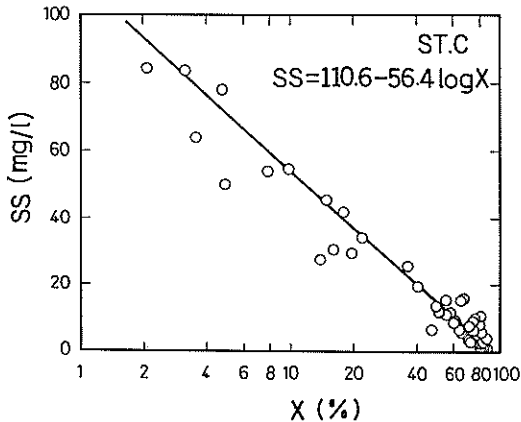


図-5.1(a) 透過率計の検量線（C点）

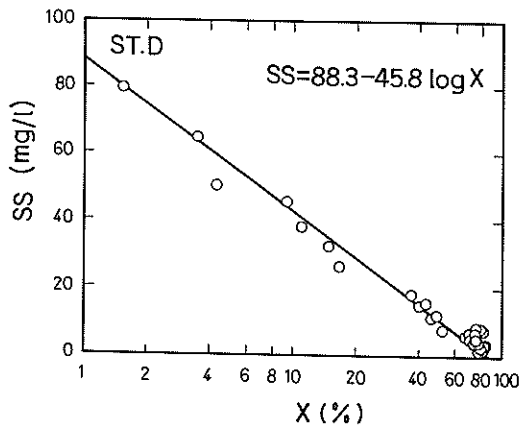


図-5.1(b) 透過率計の検量線（D点）

として作成した検量線である。濁度測定点に到達する粒子群の組成と供試土砂の粒度組成が異なるため各測定点で採水した試料を用いている。

吸光度は、SS量に反比例し、また散乱光式濁度計の指示値は、SS量に比例している。いずれの場合も強い相関が認められた。

### 5.2 含泥率の測定

含泥率の測定は、浚渫泥水のSS量の平均値から求める方法をとった。SS測定は、懸濁物質の粒径が2mm以下を対象としており2mm以上の成分が存在するときには補正をしなければならない。模擬汚泥は、前記の粒径加積曲線からもわかるように粒径が十分に小さく、その補正は必要ない。

SSと含水比の関係および含水比と真容含泥率、さらに、真容含泥率と見掛け含泥率の関係から管内の含泥率 $X_a$ が求められる。それらの関係式を(5.1)式に示す。

$$\begin{aligned}
 w &= 100(10^G/S_D - 1/G_s) \\
 X_v &= 100 / (1 + G_s w/100) \quad (5.1) \\
 X_a &= (G_s - 1) \cdot X_v / (G_a - 1)
 \end{aligned}$$

ここに、 $G_{a,s}$ ：汚泥のみかけ、真の比重

$S_D$ ：浚渫した濁水のSS量の平均値

$X_{a,v}$ ：みかけおよび真容含泥率

$w$ ：含水比

ただし、堆積土砂の飽和度は100%としている。

## 6. 実験結果と考察

### 6.1 濁りの状況

#### (1) カッタ周辺の濁り

カッタ前方 12 cm の点において鉛直方向に左右それぞれ 3 点合計 6 点で採水を行った。図-6.1 にカッタ近傍の濁りの鉛直分布の 1 例を示す。また、付表-6.1 にその他のデータを示す。図中の SINGLE とは 1 スィング

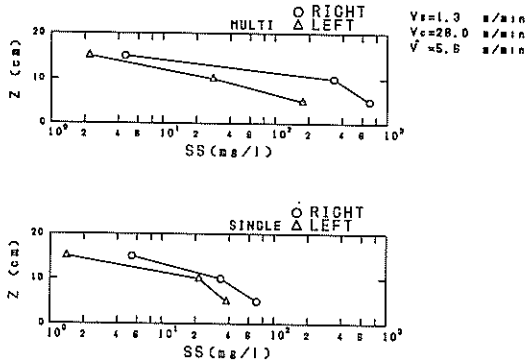


図-6.1(a) カッタ回りの濁りの鉛直分布

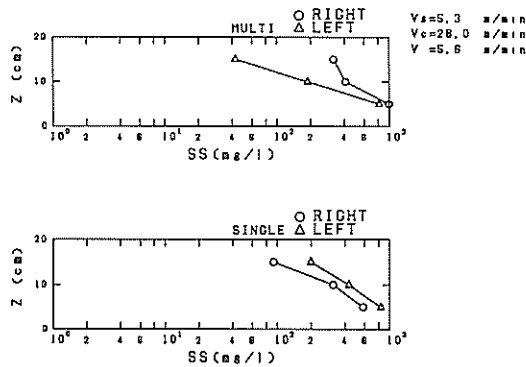


図-6.1(b) カッタ回りの濁りの鉛直分布

のみの波濺であり左スィング時のものである。MULTI は、連続スィングによるもので右スィング時の値を意味する。

スィング方向による濁りの発生状況を見比べると SS 量は、総じて右スィング時に大きい。そして、カッタの側面の濁りは、スィングの方向に係わらず右側面で大きいケースがほとんどであった。これは、カッタが右回転であることによる。つまり、濁りの発生の主因である土

面とカッタの接触がいずれのスィングの場合にもカッタの右側面で生じているためである。

カッタ回りの採水点での SS の平均値  $\bar{S}_c$  をカッタによって発生した濁りの代表値として、これに与える運転条件の影響について調べる。

図-6.2 にスィング速度の影響を示す。カッタに付着

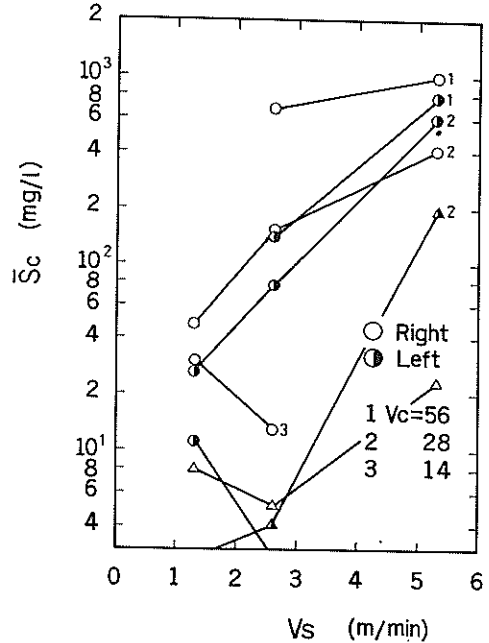


図-6.2(a)  $V_s$  とカッタ回りの濁り (左スィング)

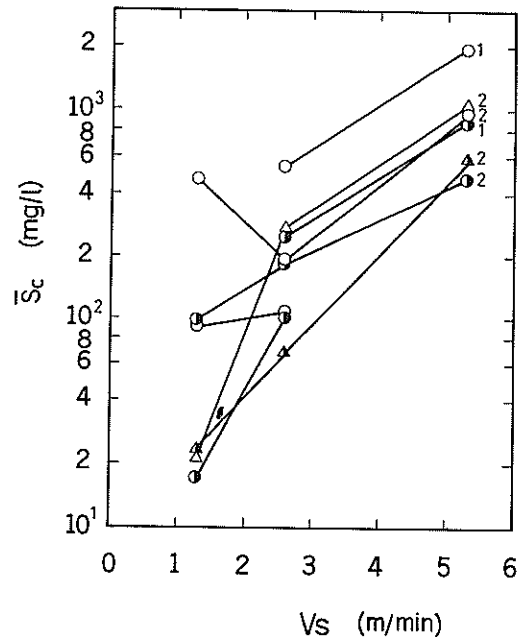


図-6.2(b)  $V_s$  とカッタ回りの濁り (右スィング)



した土粒子は、スイングによる流れを相対的に受けるため濁りの発生量はスイング速度の影響を受ける。左スイング時で一部分減少傾向が見られるが、左右のスイングに関係なく増加傾向にある。前報<sup>1)</sup>の模型Ⅰのようにスイング速度の変化範囲が小さい場合 ( $V_s = 0 \sim 1.2 \text{ m/min}$ ) には左スイングで低下傾向にあった。

図-6.3は、カッタ周速度  $V_c$  による  $\bar{S}_c$  の変化を示して

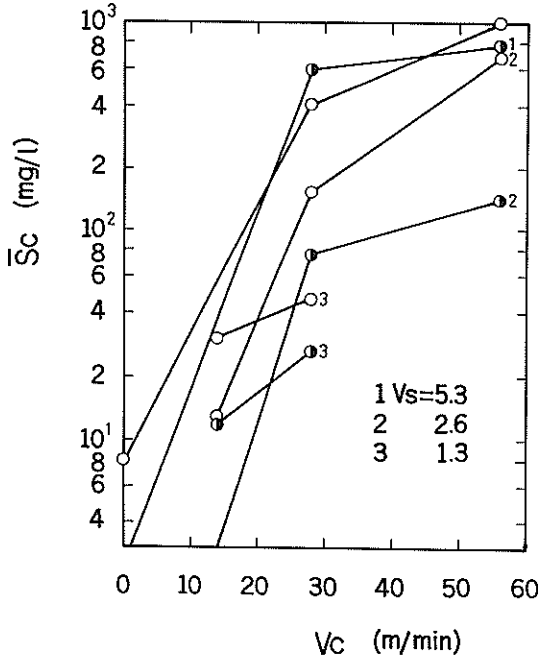


図-6.3(a)  $V_c$  とカッタ回りの濁り (左スイング)

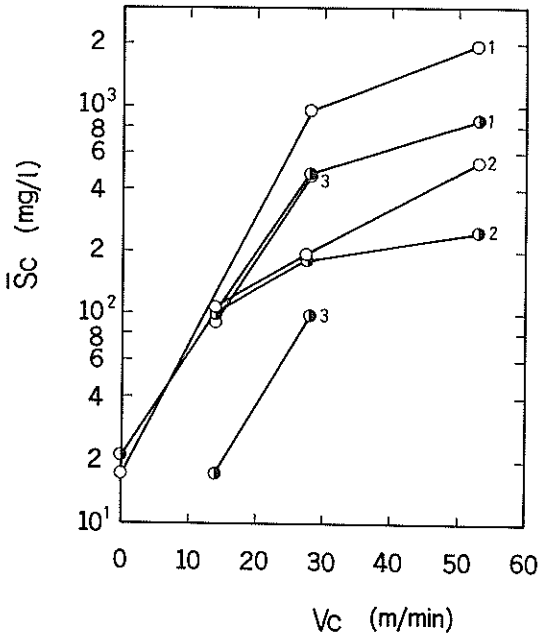


図-6.3(b)  $V_c$  とカッタ回りの濁り (右スイング)

いる。図-6.2と同様にスイング方向に係わらず、 $V_c$  の増加によって  $\bar{S}_c$  は増大している。しかし、その増加傾向は  $V_c$  が  $30 \text{ m/min}$  以上では、にぶるようである。

土粒子を付着したカッタが上面にある区間のカッタ刃先の代表速度を左右スイング時で、それぞれ  $V_c - V_s$ 、 $V_c + V_s$  として  $\bar{S}_c$  を整理したのが図-6.4である。この代表速度は、左スイングの  $V_s$  を正の値とした時のカッタ

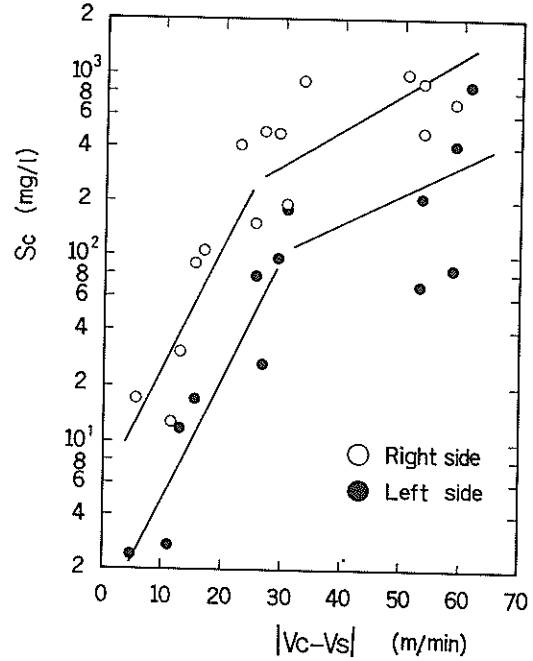


図-6.4 対水速度と  $\bar{S}_c$  の関係

刃先が最上面でもつ対水速度  $|V_c - V_s|$  にあたる。

$\bar{S}_c$  は、対水速度の増加に伴って増大する。しかも、このパラメータで整理するとスイング方向に係わらず直線で近似できた。そして、カッタの左右側面での濁りの差が明らかになり、右側面での濁りが高いことがわかる。

また、 $\bar{S}_c$  と対水速度  $|V_c - V_s|$  の増加傾向は、二段に分けることができ、 $|V_c - V_s|$  が  $30 \text{ m/min}$  以上では、増加傾向が小さくなっている。

#### (2) 周辺の濁り

図-6.5に水槽中央部におけるA、B点の濁りの鉛直分布の1例を示す。その他のデータは付表-6.2に示す。水深の減少とともに濁りは、指数関数的に減少している。そして、その鉛直分布は片対数分布で近似できた。

付図-6.2, 6.3にA、B点およびC、D点における濁りの経時変化の1例を示す。なお、これらで示されているSS量は、すべて5.1で求めた検量線によって換算した値である。

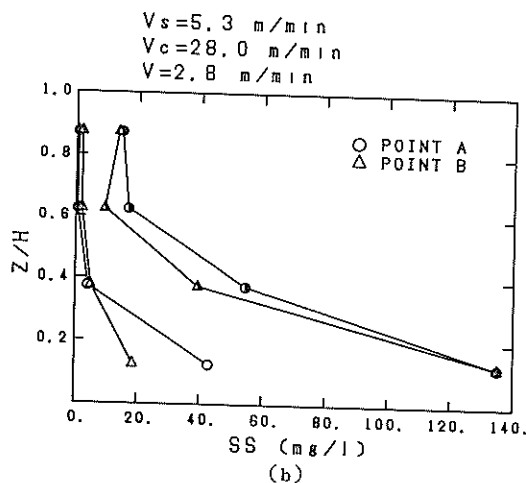
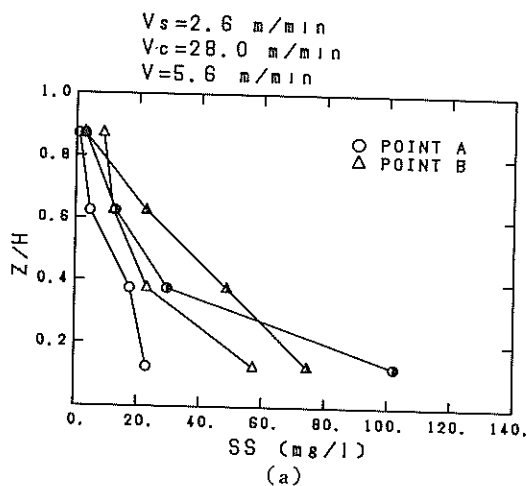


図-6.5 濁りの鉛直分布 (A, B点)

## 6.2 浚渫能力

### (1) 含泥率と運転条件

含泥率の測定は、ポンプ泥水のSS測定値から求める以外に掘り跡断面とポンプ流量の関係からも求めることができる。図-6.6は、上記の2種類の方法で求めた含

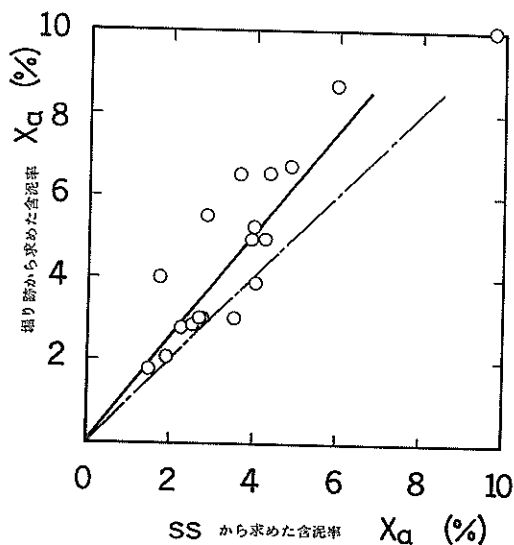


図-6.6 SSおよび掘り跡から求めた含泥率の相関

泥率の関係を示している。わずかながら掘り跡から求めた値が大きいが、左右の寄切り時に排斥される土量や最終スイングによって前方に排斥される土量を考慮すると、ほぼ正比例の関係にあると言えるが、以後SS量から求めた含泥率を用いる。

図-6.7では、左右スイング時の含泥率の相関を示し

ている。ほぼ正比例の関係でスイング方向による差異はない。一般には左スイングの場合に含泥率が高く、浚渫能力が良いと言われている。しかし、今回の実験のように軟泥の浚渫ではカッタの掘削効果が小さく、含泥率に明らかな差が生じなかったと考えられる。

浚渫能力である浚渫土量（もしくは管内含泥率）は、浚渫土厚およびスイング速度の影響を受ける。これらの積 $\delta_s V_s$ をパラメータとして含泥率の変化を図-6.8に示す。 $\delta_s$ は、切込み形状を考え $2t_s/D$ とした無次元土厚である。また、SINGLEスイングとMULTIスイングでは、掘削形状から負荷状態が異なるので、ここではMULTIスイングについて示し、含泥率は左右スイング時の平均値を用いた。

含泥率は、能力パラメータ $\delta_s V_s$ に比例して増加する

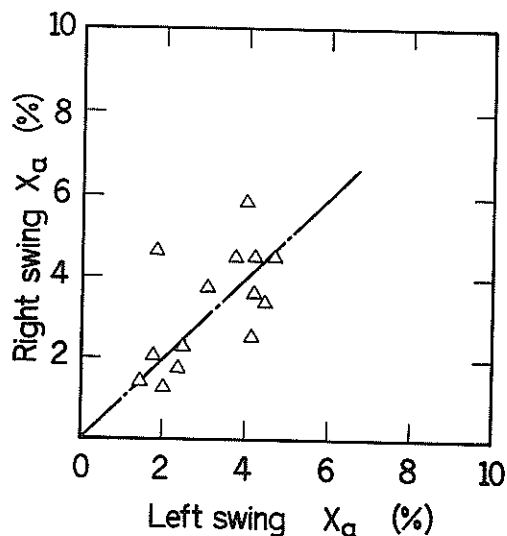


図-6.7 スイング方向による含泥率の違い

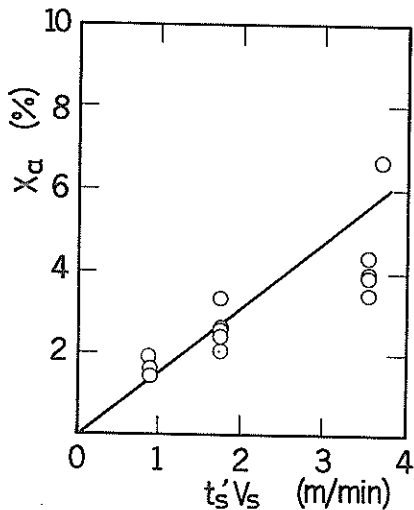


図-6.8 能力パラメータと含泥率

が、能力パラメータの大きな領域では比例関係がくずれてくる。また、図-6.8に関連することであるが、含泥率に与えるカッタの周速度の影響は弱かった。カッタの回転は土砂の切り崩しが目的であるため、軟泥を供試土砂とする場合わずかな回転で十分である。それ以上のカッタの回転による含泥率の上昇はあまり期待できない。

カッタがスイングによって排土される容量が、すべてポンプによって吸込まれたとすると、管内の換算含泥率  $X_c$  は(6.1)式で定義される。

$$X_c = \frac{A_c V_s}{Q_m} \quad (6.1)$$

ここに、 $A_c$  : 排土断面積 (m<sup>2</sup>)  
 $Q_m$  : ポンプ流量 (m<sup>3</sup>/min)

機械的にカッタが取扱う土量を表す含泥率  $X_c$  のうち実際に浚渫された土量を表す含泥率  $X_a$  がどの程度の割合を占めるかが濁りの発生量にかかわってくる。その値は、有効吸込率で定義され、また逆の関係で残土率  $R$  が(6.2)式で定義される。

$$R = 1 - \frac{X_a}{X_c} \quad (6.2)$$

実験範囲では、含泥率の増加による流量の低下が少ないため(6.1)式より  $X_c$  は、能力パラメータ  $ts'Vs$  に比例する。したがって、図-6.8の能力パラメータは換算

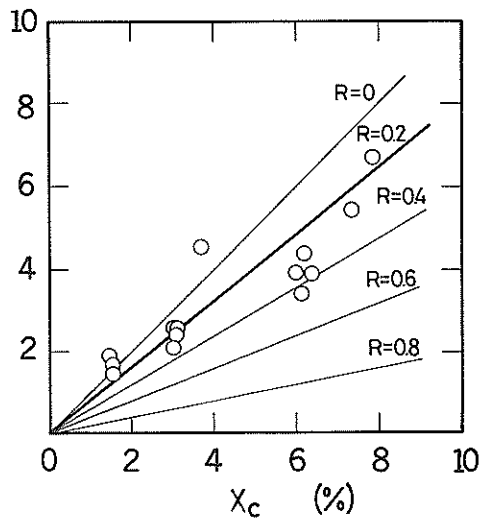


図-6.9  $X_a$  と  $X_c$  の関係

含泥率で置き換えられる。

これを図-6.9に示す。 $X_a = X_c$ の直線を境にして右領域では残土率が正の値をとり掘り残しのある状態である。

左領域は、残土率が負ということになる。また、両者の関係が直線で表されるならば、残土率は一定である。

実際の浚渫では、 $V_s$  が大きい領域で山成りの曲線となり、能力パラメータが増加すると残土率は漸次増加することになる。

## (2) 掘り跡形状

掘り跡の滑らかさは、カッタ刃が土面を掘削する回数に依存する。幅  $B$  を浚渫するときカッタの掘削回数  $N$  は(6.3)式で表される。

$$N = \frac{BZ\phi}{\pi D} \quad (6.3)$$

ここで、 $Z$  : カッタの刃数、 $\phi = V_c/V_s$  である。

図-6.10に掘削断面の形状を示す。 $\phi$  が大きい場

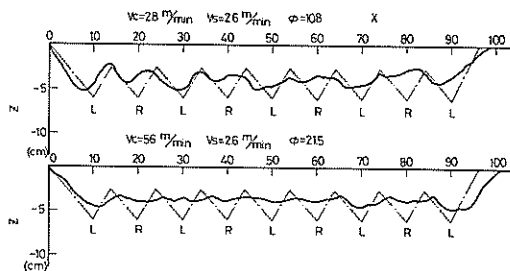


図-6.10 掘り跡の形状

合の断面は、スイング方向の違いによる深さの変化は少なく滑らかな形状となる。 $\phi$ が小さく掘削数が少ない場合には掘削断面は凹凸が大きくなり、不規則な形状となる。

また、極端に小さく $\phi=0$ の場合は、切り込み形状である三角形が顕著に現れ図-6.10の破線に近い状態の形状となる。

スイングごとの掘り跡を比較すると、左スイングの掘り跡(図中L)が右スイングのものに比べて深くなっている。左スイングでは、カッターで切り取られた土砂のうち浚渫しきれない土砂は、進行方向に堆積し次の刃の掘削土砂に付加される。したがって、掘り跡は切り込み状態に近く深い形状となる。一方、右スイングでは掘り残し土砂は、そのまま掘り跡に堆積するため浅い形状となる。

### 6.3 濁りの発生量と運転条件

#### (1) 濁りの発生量

A, B点での濁りの平均濁度を $\bar{S}(z)$ とし、潮流を $V(z)$ とすると1スイング当たりの濁りの発生量 $W$ は、(6.4)式で与えられる。

$$W = BT \int_0^{h_0} V(z) \bar{S}(z) dz \quad (6.4)$$

ここに、 $B$ : 浚渫幅(m),  $h_0$ : 水深(m),  $T$ : 濁りの発生時間(sec)である。

濁りの経時変化は、両点とも最下層のみで測定しているため平均濁度 $\bar{S}$ の鉛直分布を想定しなければならない。

一つには、各スイングごとの採水によって求めたA, B各点のSSの鉛直分布をそのまま用いる方法が考えられる。また、A, B点のSS鉛直分布が、片対数分布で近似できることからA1, B1のSS値を含む片対数分布で平均濁度 $\bar{S}$ の鉛直分布を与える方法がある。ここでは、両者の方法を併用した。おもに、採水によるA, B点の鉛直分布を $\bar{S}$ の分布と仮定し、明らかに特異なデータについては、片対数分布によって修正した。すなわち、

$$\bar{S}(z) = \alpha \bar{S}(z_1) \quad (6.5)$$

となる。ここに、 $z_1$ : 最下層採水点の水深、 $\alpha = S_2/S_1$ である。

さらに、流速分布を放物線近似とすれば(6.4)式は(6.6)式で表される。

$$W = B \cdot T \sum_{i=1}^M \left[ 1 - \delta \left( \frac{z_i}{h_0} \right)^2 \right] V(h_0) \bar{S}(z_i) \Delta z_i$$

$$(6.6)$$

$$\Delta z_i = (z_{i+1} - z_{i-1})/2$$

ただし、 $M$ は鉛直方向分割数で、 $z_0 = -z_1$ ,  $z_{M+1} = 2h_0 - z_M$ とする。

カッターが取扱う土量が多ければ、(6.6)式で与えられる濁りの発生量も多くなるのは当然であり、発生量の総量だけで濁りの状態を論ずるのは問題である。濁りの発生量を取扱う一つの方法に、浚渫土量単位体積当たりの濁りの発生量を用いることがある。これは、(6.7)式で与えられる。

$$W_0 = \frac{V_s W}{B Q_m X_a} \quad (6.7)$$

ここに、 $W_0$ : 単位浚渫土量当たりの濁りの発生量 (g/l)

$Q_m$ : 浚渫ポンプ流量 (l/min)

$X_a$ : 見掛けの管内含泥率

#### (2) 濁りの発生量と運転条件

MULTIスイングの浚渫は、SINGLEスイングの場合と異なり左右スイングによる濁りの合計値として発生量が得られるので、その取扱いに注意を要する。

SINGLEスイングの濁りが左スイングによる濁りの発生量を表すことからMULTIスイングの右スイングによる濁りの発生量を推定することができるが、その際にSINGLEスイング時の発生量の測定が安定して、その運転条件下での発生量として現れること、そして各測定点で確実に濁りを捕えることが必要条件となっている。

この条件を満たしていなければ、推定した右スイング時の発生量がばらつきの大きな値となる。本報告では、以上の点を考慮して、MULTIスイングに発生した濁りと区別せずMULTIスイング時の濁りの発生量とした。

図-6.11に発生量とスイング速度 $V_s$ の関係を、図-6.12に発生量とカッター周速度 $V_c$ の関係を示す。

$V_s$ が小さい領域では減少傾向が見られ、大きな領域では増加傾向が見られる。だが概して、 $V_s$ の影響は小さく、ほぼ一定状態と見なすことができよう。

一方、 $V_c$ の濁りの発生量に与える影響は大きく、左右のスイングのいかに問わず、増加傾向にあった。

濁りの発生に寄与するものは、掘削の強さや浚渫時間そして浚渫の負荷状態である。掘削の強さは、単位時間当たりの掘削回数 $(ZV_c/\pi D)$ であり、カッター周速度が

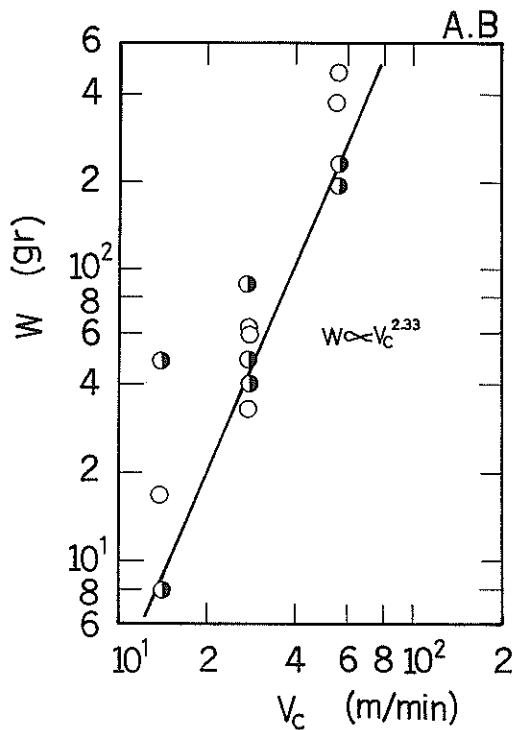
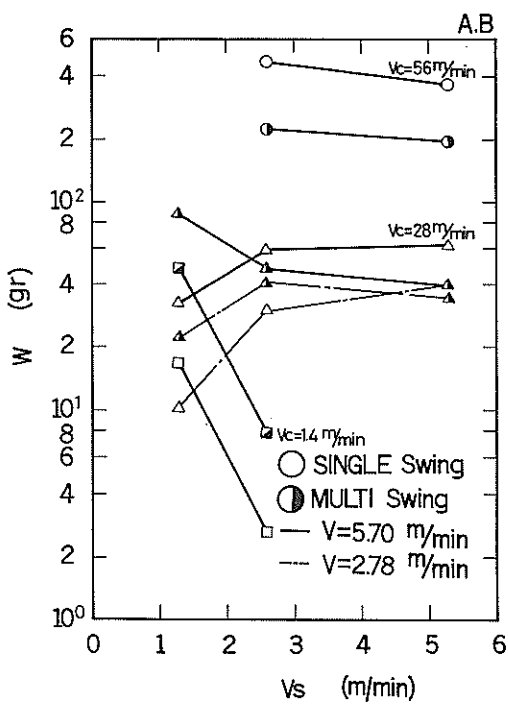


図-6.11(a) 発生量とスイング速度の関係(A, B点)

図-6.12(a) 発生量とカット周速度の関係(A, B点)

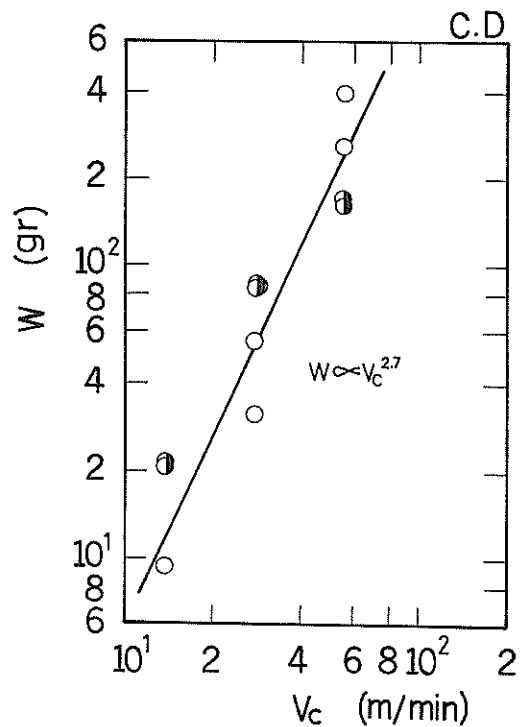
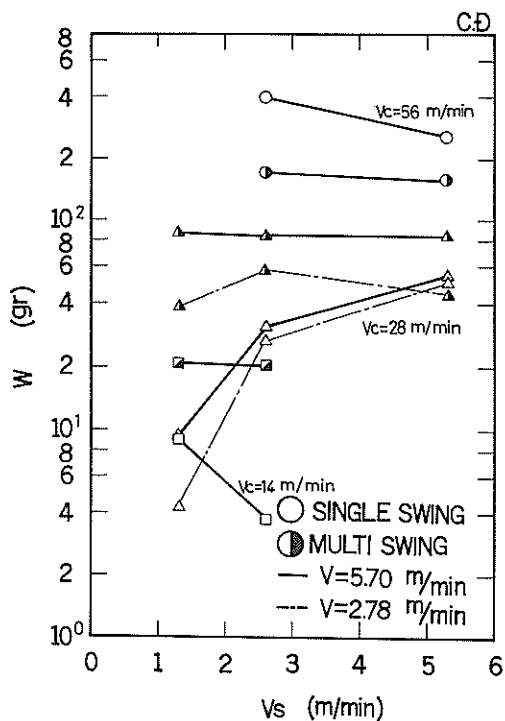


図-6.11(b) 発生量とスイング速度の関係(C, D点)

図-6.12(b) 発生量とカット周速度の関係(C, D点)

大きければ当然発生量も多くなる。

浚渫時間や負荷状態に関する運転条件は、スイング速度と浚渫土厚である。土厚による濁りの発生に与える影響は6.4で述べるので、ここではスイング速度について検討してみる。

同じ掘削強さの浚渫では、浚渫時間が長ければそれだけ濁りの発生量は多くなる。ポンプ浚渫では一定幅浚渫が原則であるから浚渫時間は、 $V_s$ に反比例する。したがって、 $V_s$ が大きいほど発生量は減少する。しかし、浚渫の負荷状態を考えると逆の傾向になる。カッタが切り崩す土量は、能力パラメータ $g$ 、 $V_s$ に比例するが、実際の揚土量もしくは含泥率 $X_s$ は、スイング速度が大きい状況で、運転パラメータとの比例関係が徐々に崩れて山成りの曲線となる。このように、スイング速度が大きくなると、浚渫負荷が大きくなり残土率が増加する。そして濁りの発生量が増すと考えられる。すなわち、濁りの発生量に及ぼすスイング速度の影響は、浚渫時間による効果と負荷状態による効果との2つの作用である。発生量に対して前者は減少傾向、後者は増加傾向にある。その概要を図-6.13に示す。総じて両者は相殺する形となり、 $V_s$

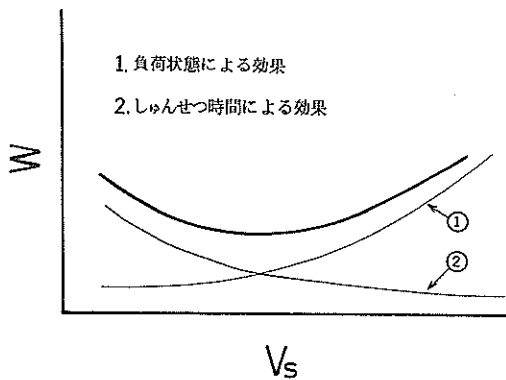


図-6.13 発生量に及ぼす $V_s$ の影響

による濁りの発生量の変化は小さいと見なすことができる。

以上、カッタと土面の接触を中心に、濁りの発生量に与える運転条件の影響について述べた。ここでは、さらに前記のカッタ回りの濁りと同様にカッタに付着した土砂について考え、カッタの対水速度の影響について調べてみる。

図-6.14に濁りの発生量と対水速度 $|V_c - V_s|$ の関係を示す。 $|V_c - V_s|$ が小さい範囲で多少ばらつくけれども直線関係が認められ、漸増傾向にある。前報の結果から図-6.14の初期値および直線の傾きは、潮流、

浚渫土厚の影響を受けて変化することが予想されたが、潮流の影響はさほど大きくなかった。

濁りの発生に関して潮流とポンプの吸込速度は相反する作用があり、浚渫ポンプの吸込速度が潮流より大きく卓越していれば、潮流の変化による濁りの発生状況の変化は少ないと考えられる。

(3) 単位浚渫土量当たりの濁りの発生量と運転条件

濁りの発生量については、前記のごとくスイング速度やカッタ周速度等の運転条件や潮流およびカッタ周辺の水の流れそして供試土砂の粒径や粒子間の結合状態など多くの要因が影響して複雑な現象を呈し、力学的解析は困難をきわめる。

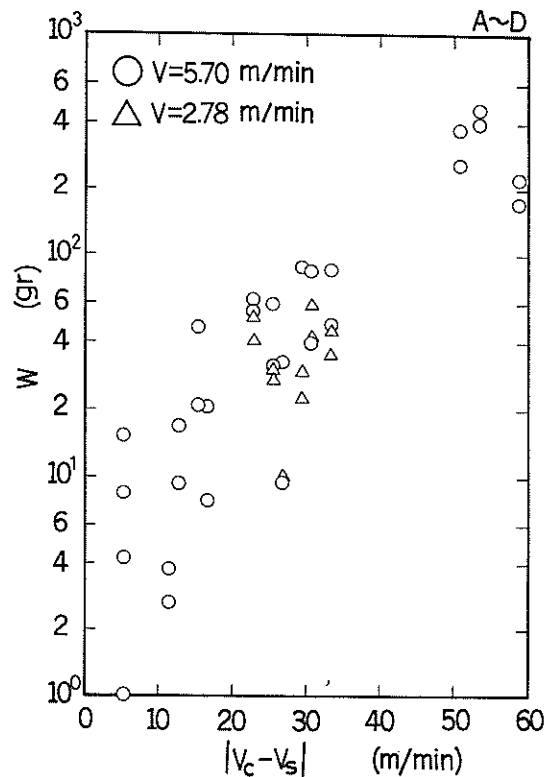


図-6.14 発生量と対水速度の関係

ここでは、濁りの発生に関して次元解析を行い濁りの発生量と運転条件の関係について検討してみる。

供試土砂の粒径の大小は、直接に濁りの発生量に影響を及ぼすが、本実験の主目的は運転条件の濁り発生に与える効果の把握であるため次元解析は、同一の供試土砂について行い、粒径を濁り発生の影響要素からはずくことにする。

濁りの発生量に關係する物理量は、次のように考えられる。なお、単位はMKS絶対単位系を用いるものとする。

- 濁りの発生量:  $W_s$  [kg<sup>\*</sup>/s]
- ポンプ流量:  $Q_m$  [m<sup>3</sup>/s]
- スイング速度:  $V_s$  [m/s]
- カッタ周速度:  $V_c$  [m/s]
- 潮流:  $V$  [m/s]
- 供試土砂の密度:  $\rho_a$  [kg<sup>\*</sup>/m<sup>3</sup>]
- カッタと土面の接触長さ:  $l_s$  [m]
- 重力加速度:  $g$  [m/s<sup>2</sup>]
- ベッドのせん断強度:  $\tau$  [kg<sup>\*</sup>/ms<sup>2</sup>]

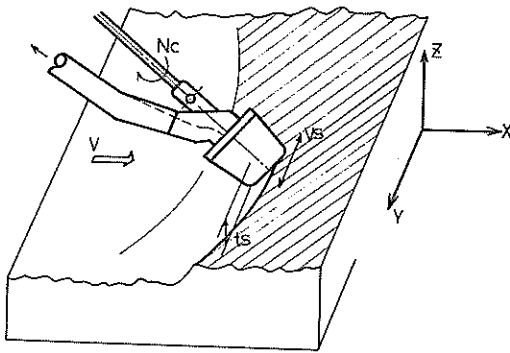


図-6.15 浚渫の状況

濁りの発生量 $W_s$ をこれらの物理量の積で関係づけ次式で表す。

$$W_s = c V_s^\alpha V_c^\beta V^\gamma Q_m^\delta \rho_a^\epsilon l_s^\zeta g^\eta \tau^\theta \quad (6.8)$$

基本単位量は、長さ、力、時間の3個であるが、ベクトルの概念を次元解析に導入する。

長さについては、 $L_x, L_y, L_z$ の3方向に分割し、力については、質量力 $K_m$ と慣性力 $K_i$ の2種類に分割して取扱うことにする<sup>2,3)</sup>。したがって、前記の物理量の次元は、次のようになる。

$$\begin{aligned} [W_s] &= [\text{kg}^*/\text{s}] = [M_m T^{-1}] \\ [Q_m] &= [\text{m}^3/\text{s}] = [L_x L_y L_z T^{-1}] \\ [V_s] &= [\text{m}/\text{s}] = [L_y T^{-1}] \\ [V_c] &= [\text{m}/\text{s}] = [L_y^{1/2} L_x^{1/2} T^{-1}] \\ [V] &= [\text{m}/\text{s}] = [L_x T^{-1}] \\ [\rho_a] &= [\text{kg}^*/\text{m}^3] = [M_m L_x^{-1} L_y^{-1} L_z^{-1}] \\ [l_s] &= [\text{m}] = [L_x] \\ [g] &= [\text{m}/\text{s}^2] = [L_x T^{-2}] \\ [\tau] &= [\text{kg}^*/\text{ms}^2] = [M_i L_x^{-1/3} L_y^{-2/3} L_z^{-1/3} T^{-2}] \end{aligned} \quad (6.9)$$

(6.9)式を(6.8)式に代入して、各基本単位量ごとに整理し、連立一次方程式を解き、再び(6.8)式に代入して整理すると、(6.10)式が得られる。

$$W_s = c Q_m \rho_a \phi^\beta F_r^{\beta(\beta+1)} \left(\frac{V}{V_p}\right)^\gamma \left(\frac{l_s}{D}\right)^{2\gamma} \quad (6.10)$$

- ここに、 $\rho_a$ : 供試土砂の単位体積質量
- $\phi$ : パラメータ
- $F_r$ : フルード数
- $V_p$ : ポンプ吸込流速

$\phi$ はカッタの軌跡の相似に関する無次元数であり、 $V/V_p$ は濁りの移送に関する、そして $l_s/D$ はカッタと土面との接触面の大きさに関する無次元数である。また、フルード数の代表速度、代表長さにはそれぞれ $V_s, l_s$ をとっている。

ここで、管内含泥率を $X_a$ とすると、単位浚渫土量当たりの濁りの発生量 $W_o$ は、(6.11)式で表される。

$$W_o = c' \frac{1}{X_a} \phi^\beta F_r^{\beta(\beta+1)} \left(\frac{V}{V_p}\right)^\gamma \left(\frac{l_s}{D}\right)^{2\gamma} \quad (6.11)$$

濁りの発生量 $W$ を、単位時間当たりの発生量 $W_s$ に浚渫時間をかけたものとする(6.10)式より発生量 $W$ に与えるスイング速度の影響は、 $V_s^{(\beta+1)}$ となる。

一方、図-6.11の $W$ と $V_s$ の關係から $V_s$ による影響を無視すると係数 $\beta$ と $\gamma$ の關係は次式で与えられる。

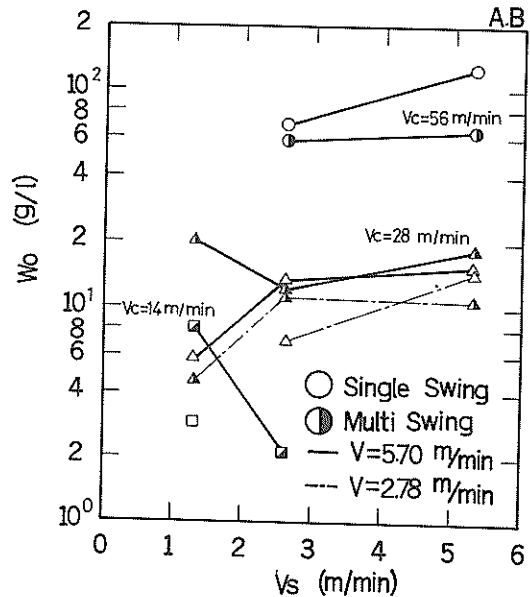


図-6.16(a)  $W_o - V_s$ の關係(A, B点)

$$r = \frac{\beta}{2} + 1 \quad (6.12)$$

図-6.16に $W_0$ と $V_s$ の関係を示す。 $V_s$ が小さい領域では $V_c$ の値によって傾向が異なり不安定であるが、大きい領域では一定状態もしくは微増傾向にある。図-6.17に $W_0$ と $V_c$ の関係を示す。図中の直線は、最小自乗法で求めた式である。図-6.17と(6.12)式から $\beta, r$ を求めると、

$$\beta = 2.12, \quad r = 2.06 \quad (6.13)$$

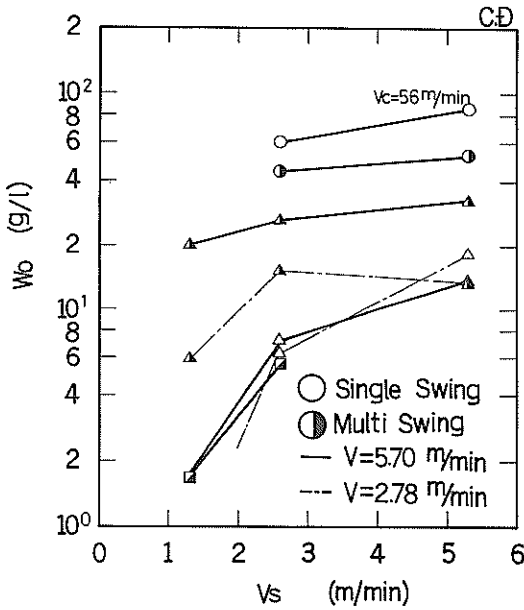


図-6.16(b)  $W_0 - V_s$  の関係 (C, D点)

となる。(6.11)を書き直すと、

$$W_0 = \frac{C'}{X_a} \cdot \frac{V_s}{\sqrt{l_s g}} \left( \frac{V_c}{\sqrt{l_s g}} \right)^{2.12} \left( \frac{V}{V_p} \right)^{2.06} \left( \frac{l_s}{D} \right)^{4.12} \quad (6.11)'$$

となる。係数 $r$ の値は、(6.12)式とは別に潮流の影響からも求められる。図-6.18に $W_0$ と $V$ の関係を示す。 $V_c$ が、2.6 m/minより小さい場合に係数は安定し、 $r = 1.51 \sim 2.14$ であった。これは、(6.13)の値を満たしている。

今回の実験において、土厚が1/3直径、基準潮流 $V_c = 5.7$  m/minとした場合の $W_0$ は、

$$W_0 = 0.01 V_c^{2.12} \left( \frac{V}{V_0} \right)^{2.06} \quad (6.14)$$

で表される。

結局、濁りの発生に影響を与える運転条件は、土厚の変化に伴う土面との接触面の長さが重要であり、次にカッタ周速度と潮流となる。スイング速度の影響は、含泥

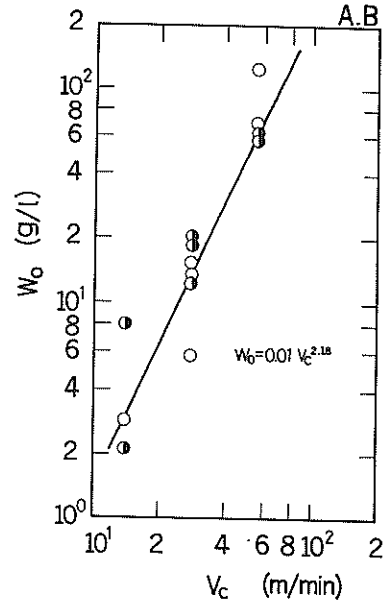


図-6.17(a)  $W_0 - V_c$  の関係 (A, B点)

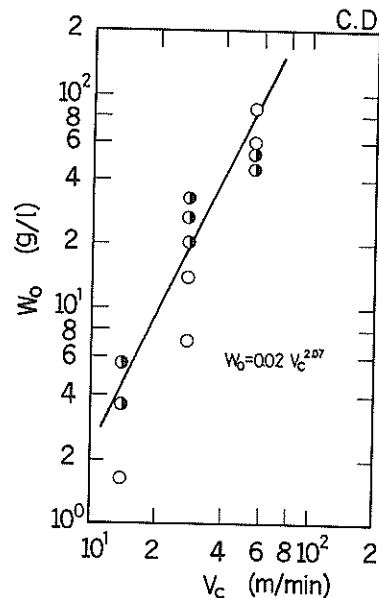


図-6.17(b)  $W_0 - V_c$  の関係 (C, D点)



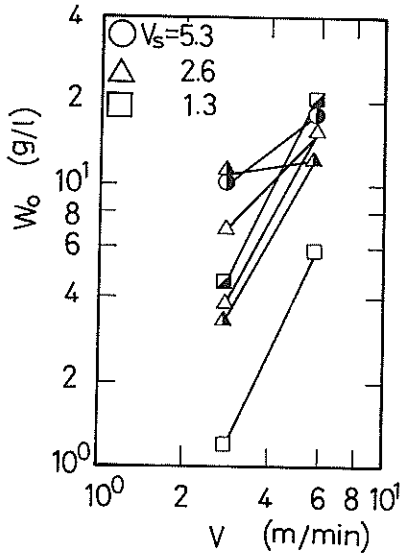


図-6.18  $W_0$ - $V$ の関係

率との比例関係が成立する範囲内であり表れないと考えられる。

(4) 残土率と $W$ 。

残土率は、取扱い土量(カッタによる排土量)のうち浚渫されずに水底および濁りとして取り残される土量の割合であり、濁りの発生量に影響を及ぼす。

図-6.19に残土率 $R$ と $X_c$ の関係を示す。 $X_c$ はスイ

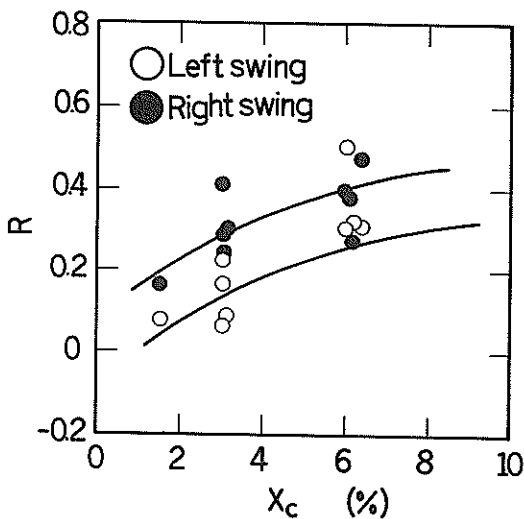


図-6.19 残土率と $X_c$ の関係

グ速度に比例することから横軸をスイング速度と見ることが出来る。残土率は、右スイング時により大きな値をとり、スイング速度の増加によって増大する。図-6.21との関連で右スイング時に濁りの発生量が大いことがうかがえる。

濁りの発生に大きな影響を及ぼしたカッタ周速度は、管内含泥率 $X_c$ に与える影響は少なかった。供試土砂が軟らかいため切り崩しの効果は、わずかの回転数で満たされ、過度に回転数を上げてても含泥率の上昇に効果的でなく、逆にマイナスであると考えられる。このことからカッタ周速度は、残土率に与える影響は小さく、 $V_c$ による残土率は、ほぼ一定値をとる。この状況を図-6.20に示している。

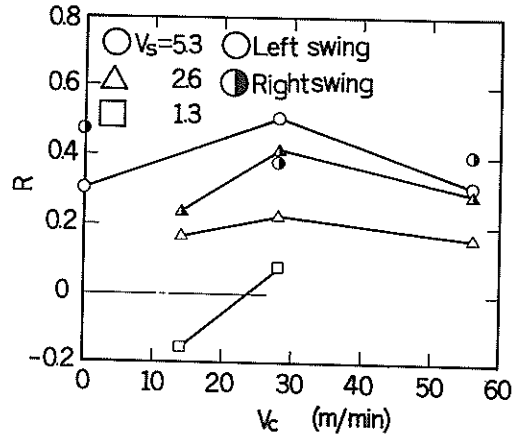


図-6.20 残土率に与える $V_c$ の効果

図-6.21は、残土率と単位浚渫土量当りの濁り発生量 $W$ の関係を示している。左右のスイングを問わず、残土率が大きくなるにつれて $W$ は、増加する傾向にある。

また、両者の関係においてかなりのばらつきが見られるが、これは、濁りの発生については $V_c$ の影響を主に受けるにも係らず、残土率は $V_c$ の影響を主に受けることによる。

(5) 土厚による濁りの発生量の変化

土厚が変化することによって、取扱い土量が変わりポンプに対して負荷状態が変わる。その結果、濁りの発生量に変化をもたらす。今回、土厚をカッタ直径の1/3, 1/2, 2/3厚さとして濁りの発生量に与える効果を見た。

図-6.22に残土率 $R$ と土厚の関係を示す。残土率は左右スイングとも土厚に対して増加傾向にあり、そして

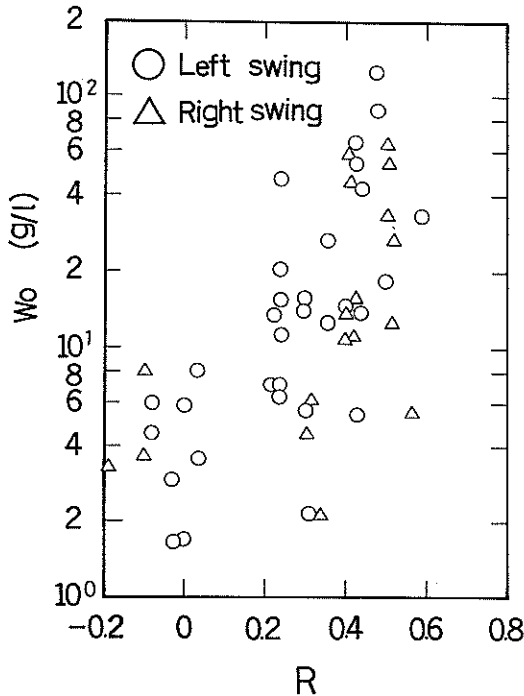


図-6.21 残土率と $W_0$ の関係

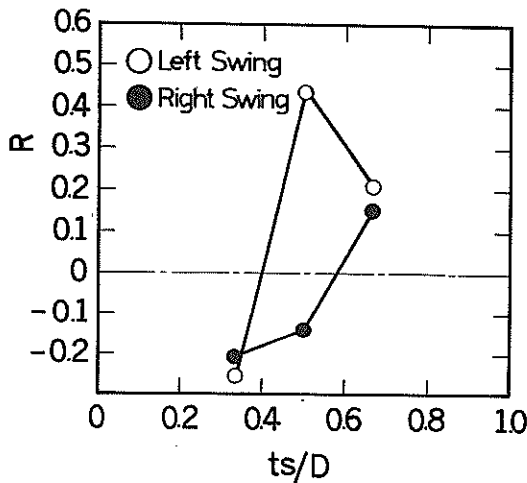


図-6.22 土厚と残土率の関係

土厚が小さい場合には負の値をとっている。土厚を大きくすることは、取扱い土量を増加させるものであり、図-6.19から残土率の増大を意味する。

図-6.23に土厚による発生量の変化を示す。左スイングではわずかながら増加傾向が、右スイングでは減少

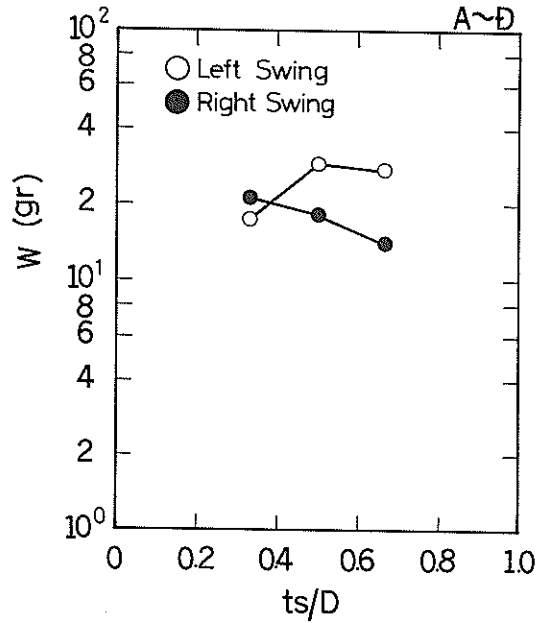


図-6.23 土厚と発生量の関係

傾向が見られる。

濁りの要因は、掘削開始時のカッタおよびその付着土砂と土面の接触であり、特に、右スイング時には供試ベッドの水平面で接触するためその影響は大きい。土厚をかけた状態を図-6.24に示す。カッタが土面より上と水と接する表面は斜線部分である。斜線部分が、カッタ

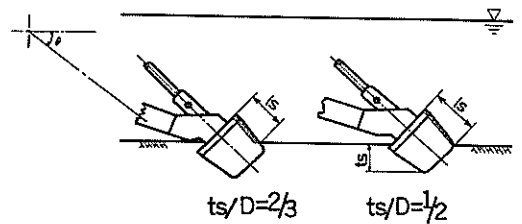


図-6.24 負荷状態と $l_s$

の回転によって土面との接触を引き起こすことから、その表面積 $A_s$ の大小が直接濁りの大小に結びつくと考えられる。図-6.25に土厚と接触面の長さ $l_s$ の関係を示す。

$l_s$ は $A_s/\pi D$ である。 $\theta$ はラダーの附角であって水深によって変化する。今回の実験の附角は約30度であった。 $l_s$ は土厚が1/3で最大値をとり、以下漸次減少し

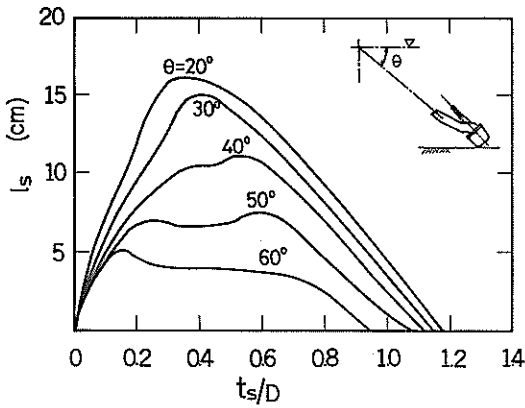


図-6.25 土厚と $l_s$ の関係

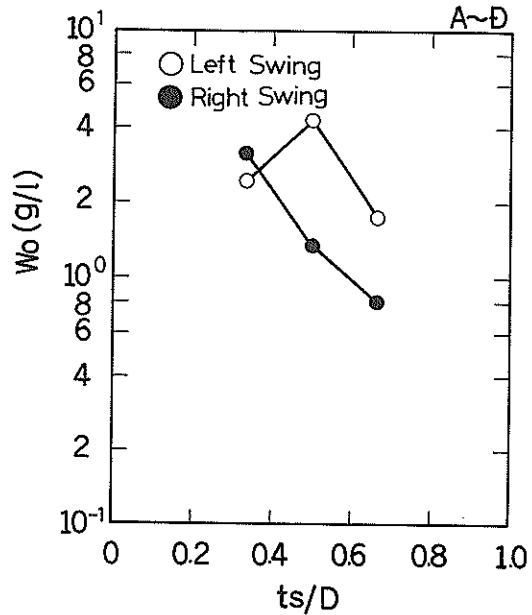


図-6.27  $W_0$ と土厚の関係

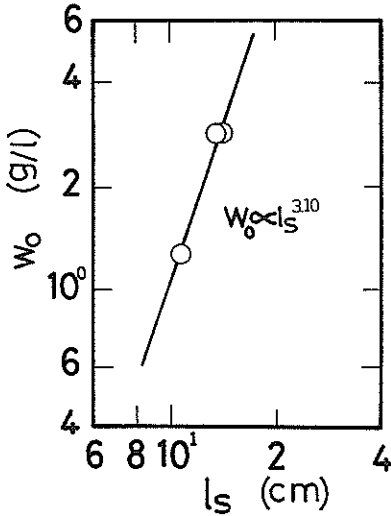


図-6.26  $W_0$ と $l_s$ の関係

ている。この傾向は、濁りの発生量の右スイングの時の変化と一致している。

図-6.26に接触面の長さ $l_s$ と $W_0$ の関係を示す。データ数が少ないが $W_0$ は $l_s$ に比例している。(6.11)式の関係から $\gamma$ の値を求めると2.43となり、先の方法で求めた値とほぼ一致した。

図-6.27に土厚と $W_0$ の関係を示す。実験の土厚 $t_s/D$ は、 $1/3 \sim 2/3$ の範囲で軽負荷状態と言える。実験中の含泥率の最高10数%と通常の値より小さいことからもうかがえる。以上のとおり、土厚が $1/2$ 以下と小さい液状では、濁りの発生量が多いことがわかる。

#### 6.4 実機での濁りの発生量の試算

単位液状土量当たりの濁りの発生量 $W_0$ は、(6.11)式もしくは(6.14)式で表された。これらの関係式を用いて実機での濁りの発生状況について検討してみる。

添字は実機を $R$ 、模型を $M$ とし、 $r$ を縮尺を意味するものとするれば、単位液状土量当たりの濁りの縮尺 $W_{0r}$ は、(6.11)式より(6.15)式で表される。

$$W_{0r} = \phi_r^\beta (F_r)_r^{(\beta/2 + \gamma)} \left( \frac{V_r}{V_{pr}} \right)^\gamma \left( \frac{l_{sr}}{D_r} \right)^{2\gamma} \quad (6.15)$$

ここでは、実機と模型との管内含泥率 $X_a$ が等しいと仮定している。これらの無次元数の縮尺は、模型の設定条件から次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \phi_r &= 1 \\ (V/V_p)_r &= 1 \\ (l_s/D)_r &= 1 \\ (F_r)_r &= D_r^{-1/2} \end{aligned} \quad (6.16)$$

したがって、(6.15)式は、

$$W_{0r} = D_r^{-1/2(\beta/2 + \gamma)} \quad (6.15)'$$

となる。ここで $\beta$ ,  $\gamma$ は(6.13)式の値を用いることにする。実機の濁りのデータとの比較において運転条件の細かいデータがないので平均的な運転条件を設定して発生量の値を求めることにする。

実際の浚渫の土厚はカッタ直径の1/2~2/3土厚程度であり、本実験の1/3土厚より大きいのが普通である。

ここでは、1/3から2/3土厚について検討する。また、スイング速度は含泥率と比例する範囲内とする。

以下、実機の運転条件の設定値は、

$$V_s = 6 \sim 10 \text{ m/min}$$

$$V_c = 113 \text{ m/min} \quad (D = 1.8 \text{ m}, N_c = 20 \text{ rpm})$$

$$V = 5.7 \text{ m/min}$$

$$t_s/D = 1/3, 1/2, 2/3$$

$$\theta = 30^\circ \quad (\text{ラダー長} 30 \text{ m}, \text{水深約} 15 \text{ m})$$

とする。(6.14)式の値は、 $t_s/D = 1/3$ の値であるため、(6.11)'式によって修正しなければならない。その結果を表-6.1に示す。 $t_s/D = 1/2$ の通常の運転での濁りは現地のデータ範囲内にある。図-6.28に経験的な現地データの濁りの発生量を示す。横軸は、濁りの発生に関する因子として対象土砂の粘土含有量をとっている。

表-6.1 実機の濁り発生量 $W_o$ の試算

	$l_s$ (cm)	$W_{oR}$ (kg/l)	$W_{oR}$ $D^{(\beta/4+\gamma^2)}$	$W_{oR}^*$ (t/m <sup>3</sup> )	$W_{oR}^*$ (t/m <sup>3</sup> )
1/3土厚	14.1	$225.2 \times 10^3$	= 1/36	$6.25 \times 10^3$	$5.43 \sim 4.52 \times 10^3$
1/2土厚	13.9	$217.1 \times 10^3$		$60.3 \times 10^3$	
2/3土厚	10.8	$113.7 \times 10^3$		$3.16 \times 10^3$	

(\*) 現地データのうち対象土砂が粘土およびシルト質粘土のものについて

## 7. 結 論

ポンプ浚渫船の1/10模型を用いて濁りの模型実験を行った。供試土砂には、ベントナイトとフライアッシュから成る模擬汚泥を用い、濁りの発生量はSS量を用いて評価した。その結果、以下の点が明らかになった。

(1) 濁りの発生は、右スイング時に大きく、カッタ側面での濁りはスイング方向に関係なく右側面で大きい。

そして、濁り発生の主因はカッタやそれに付着する土砂と新たな土面の接触である。

(2) 管内含泥率に与えるカッタ周速度の影響は、浚渫土砂が軟泥であるために弱い。また、管内含泥率は土厚とスイング速度の積である能力パラメータに比例するが、パラメータを大きくとり過ぎると比例関係が崩れて掘り残しが多くなる。

(3) 掘り残しを意味する残土率は、スイング速度の増

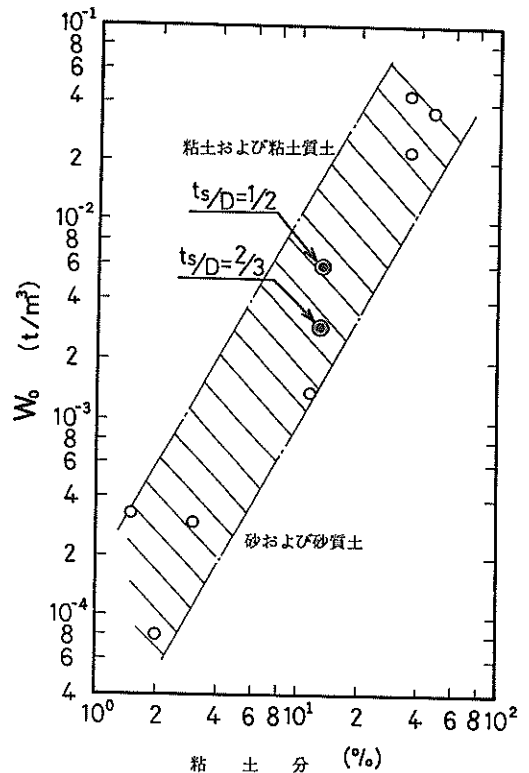


図-6.28  $W_o$ と粒度組成の関係

加によって増大するが、カッタ周速度の影響はほとんど受けなかった。また、残土率はスイング方向によって異なり右スイングの場合に大きい。

(4) 残土率が大きくなるにつれて、濁りの発生量は増大する。

(5) 濁りの発生量は、土面と接触するカッタの表面積に比例すると考えられる。浚渫土厚によってその表面積は変化し、 $t_s/D$ が1/3~1/2程度で最大値をとり、それ以上の土厚では減少傾向にある。

(6) 濁りの発生量に及ぼすスイング速度の影響は、浚渫時間による減少効果と負荷状態による増大効果が相殺されて全般的に小さい。

(7) 次元解析によって、濁りの発生量に及ぼす運転条件の影響は、次の関係で表された。

$$W_o = C' \frac{1}{X_a} \phi^\beta F_r^{(\beta/2+\gamma)} \left( \frac{V}{V_b} \right)^\gamma \left( \frac{l_s}{D} \right)^{\gamma^2}$$

ここで、指数の $\beta$ ,  $\gamma$ は実験によって、それぞれ2.12, 2.06であった。濁りの発生に及ぼす運転条件は、土面とカッタの接触面の長さ $l_s$ が最も影響が大きく、次いで

カッタ周速度，潮流となり，スイング速度の影響は小さい。

(8) (7)の関係式を用いて実機での濁りの発生量を換算する式を導いた。それによって試算した実機での濁りの発生量は，現地データと一致した。

## 8. あとがき

濁りの発生量を運転条件を含む無次元数で関連づけることができた。しかし含泥率の相似すなわちポンプ吸込力の相似および浚渫土砂の相似について検討が不十分である。これらの点について前報<sup>1)</sup>の模型(I)，模型(II)についても今後検討したい。またポンプ浚渫による濁りの発生機構がほぼ把握できたことから，現地適応性の良い汚濁防止アタッチメントなどの開発を進めるとともに，濁りの発生量を予測するためのより良い手法を検討したい。

(1982年3月31日受付)

## 参 考 文 献

- 1) 白鳥保夫，ほか3名；ポンプ浚渫船のカッタによる模型実験，港湾技研資料，No. 390，Sept. 1981
- 2) 浜田賢二，ほか3名；へどろしゅんせつにおける模型前面開口型吸込ヘッドの形状効果，No. 302，Sept. 1978
- 3) 抜山大三；次元解析法の理論と応用，共立出版，1960

## 主 要 記 号 表

$B$	： スイング幅	(m)
$d$	： 転がり円直径	(m)
$D$	： カッタ刃先円直径	(m)
$F_r$	： フルード数	

$G_a$	： 模擬汚泥の見掛け比重	
$G_s$	： 模擬汚泥の真比重	
$g$	： 重力加速度	(m/s <sup>2</sup> )
$h_0$	： 水深	(m)
$K$	： トロコイド曲線を構成する直径比	
$l_0$	： I スパッド前進距離	(m)
$l_s$	： カッタと土面の接触長さ	(m)
$N$	： カッタ刃の掘削数	
$Q_m$	： ポンプ流量	(l/min)
$R$	： 残土率	
$\bar{S}_c$	： カッタ周辺のSS平均値	(mg/l)
$S_D$	： 浚渫含泥水の平均懸濁物質量	(mg/l)
$t_s$	： 浚渫土厚	(m)
$V$	： 潮流	(m/min)
$V_c$	： カッタ周速度	(m/min)
$V_p$	： ポンプ吸込速度	(m/min)
$V_s$	： スイング速度	(m/min)
$W$	： 1 スイング当たりの濁り発生量	(g)
$W_0$	： 単位浚渫土量当たりの濁りの発生量	(kg/l)
$X_a$	： 見掛けの平均含泥率	(%)
$X_c$	： 管内の換算含泥率	(%)
$X_v$	： 真容含泥率	(%)
$Z$	： カッタ刃数	
$\gamma_s$	： 汚泥の湿潤状態における単位体積重量	(g/cm <sup>3</sup> )
$\phi$	： 掘削状態の相似に関する無次元数	
$w$	： 含水比	(%)
添字		
$M$	： 模型を表す	
$R$	： 実機を表す	
$r$	： 縮尺を意味する	

付 録

A. MKS 絶対単位系による次元解析

濁りの発生量  $W_s$  は、物理量によって関係づけられ、次式で表される。

$$W_s = c V_s^\alpha V_c^\beta V^\gamma Q_m^\delta \rho_a^\epsilon l_s^\zeta g^\eta \tau^\theta \quad (A.1)$$

各物理量の次元は、MKS 絶対単位系では、

$$\begin{aligned} [W_s] &= [kg^3/s] = [M_m T^{-1}] \\ [V_s] &= [m/s] = [L_y T^{-1}] \\ [V_c] &= [m/s] = [L_x^{1/2} L_y^{1/2} T^{-1}] \\ [V] &= [m/s] = [L_x T^{-1}] \\ [Q_m] &= [m^3/s] = [L_x L_y L_z T^{-1}] \\ [\rho_a] &= [kg/m^3] = [M_m L_x^{-1} L_y^{-1} L_z^{-1}] \\ [g] &= [m/s^2] = [L_x T^{-2}] \\ [\tau] &= [kg^3/m s^2] = [M_m^3 L_x^{1/3} L_y^{-2/3} L_z^{1/3} T^{-2}] \end{aligned} \quad (A.2)$$

となる。ただし、 $kg^*$  は質量を意味し、 $M_m$ 、 $M_i$  は物質の量としての質量と慣性としての質量を表している。

(A.2) 式を (A.1) 式に代入すると、

$$\begin{aligned} [M_m T^{-1}] &= [M_m^{\alpha+\beta+\delta-\epsilon-1} L_x^{\alpha+1/2\beta+\delta-\epsilon-1/3\theta} \\ &\quad L_x^{1/2\beta+\delta-\epsilon+\zeta+\eta-1/3\theta} L_y^{-\alpha-\beta-\gamma-\delta-2\eta-2\theta} \\ &\quad M_m^\epsilon M_i^\theta] \end{aligned}$$

各基本量の指数について連立一次方程式を  $\beta$ 、 $\gamma$  について解くと、

$$\begin{aligned} \alpha &= \gamma - \frac{\beta}{2} \\ \beta &= \beta \\ \gamma &= \gamma \\ \delta &= 1 - \gamma \\ \epsilon &= 1 \\ \zeta &= \frac{3}{2}\gamma - \frac{\beta}{4} \\ \eta &= -\frac{\gamma}{2} - \frac{\beta}{4} \end{aligned} \quad (A.3)$$

となる。(A.3) 式を (A.1) 式に代入すると

$$W_s = c Q_m \rho_a \left( \frac{V_c}{V_s^{1/2} l_s^{1/4} g^{1/4}} \right)^\beta \left( \frac{V_s l_s^{3/2} V}{g^{1/2} Q_m} \right)^\gamma \quad (A.4)$$

となる。

ここで、

$$\begin{aligned} \phi &= V_c / V_s \\ F_r &= V_s / (g \cdot l_s)^{1/2} \\ V_p &= 4 Q_m / \pi D^2 \end{aligned}$$

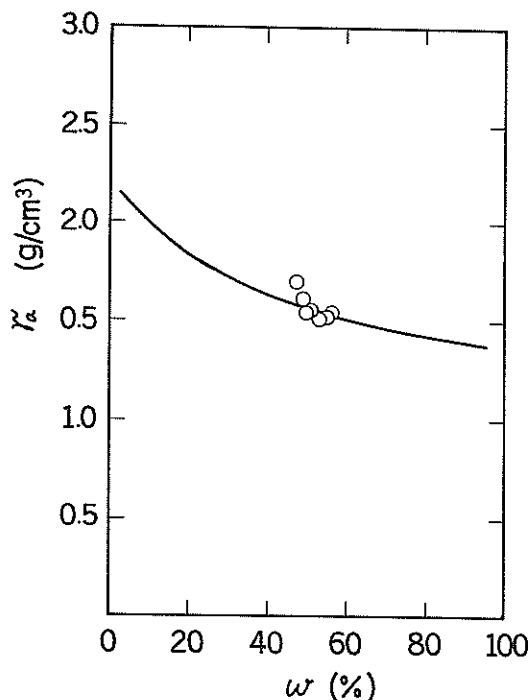
とすると、

$$\begin{aligned} V_c / V_s^{1/2} l_s^{1/4} g^{1/4} &= \phi \cdot F_r^{1/2} \\ V_s l_s^{3/2} V / g^{1/2} Q_m &= \frac{4}{\pi} F_r (l_s/D)^2 \cdot (V/V_p) \end{aligned}$$

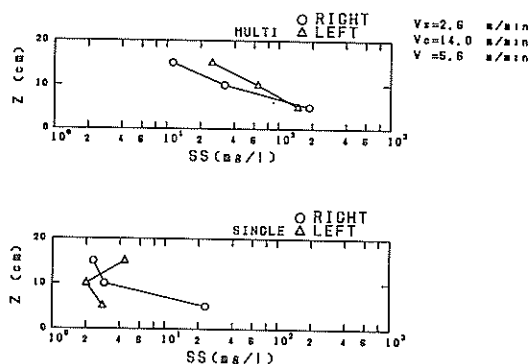
となる。したがって (A.4) 式は

$$W_s = C Q_m \rho_a \phi^\beta F_r^{(\beta/2+\gamma)} (V/V_p)^\gamma (l_s/D)^{2\gamma} \quad (A.5)$$

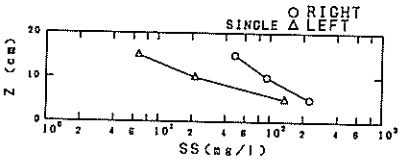
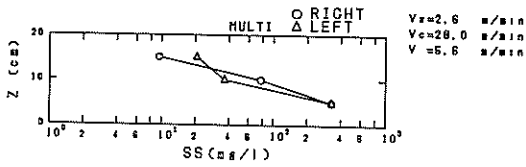
と表される。



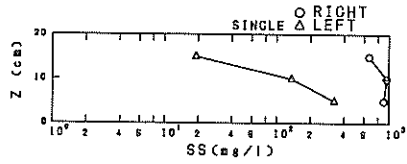
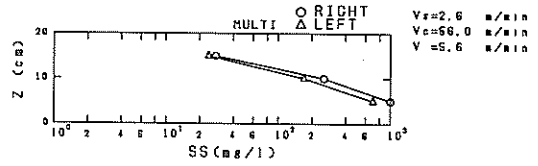
付図-5.1 含水比と単位体積重量



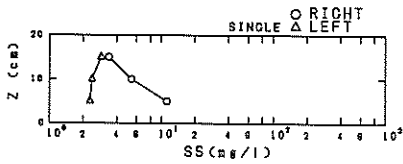
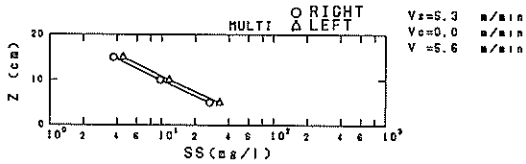
付図-6.1(a) カッタ回りの濁りの鉛直分布



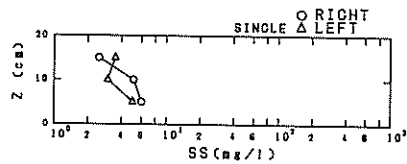
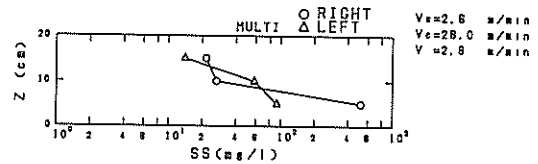
付図-6.1(b) カッタ回りの濁りの鉛直分布



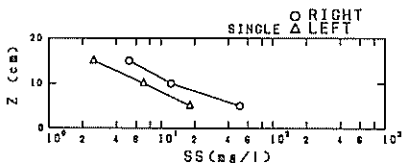
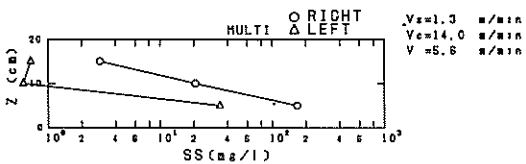
付図-6.1(c) カッタ回りの濁りの鉛直分布



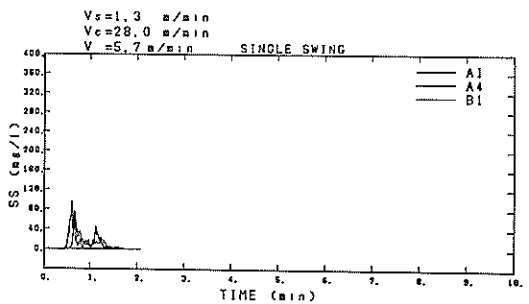
付図-6.1(d) カッタ回りの濁りの鉛直分布



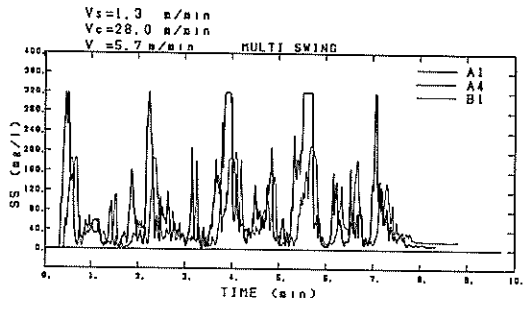
付図-6.1(f) カッタ回りの濁りの鉛直分布



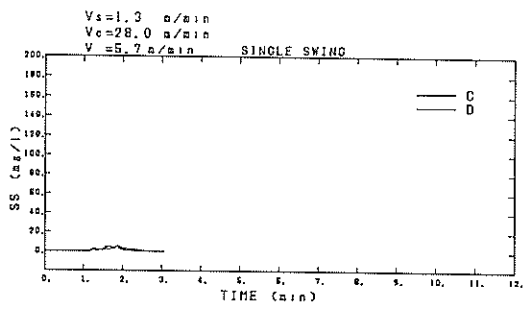
付図-6.1(d) カッタ回りの濁りの鉛直分布



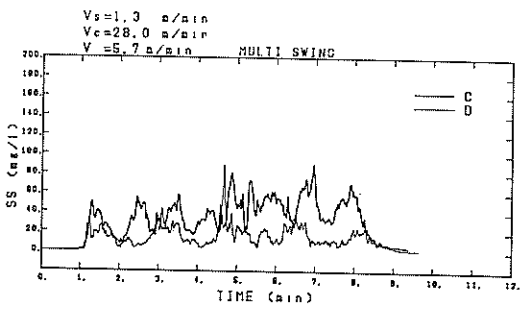
付図-6.2(a) A B点の濁りの経時変化



付図-6.2b) A B点の濁りの経時変化



付図-6.3(a) C D点の濁りの経時変化



付図-6.3b) C D点の濁りの経時変化



港湾技研資料 No. 420

1982・6

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 株式会社 東京プリント

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