

港湾技研資料

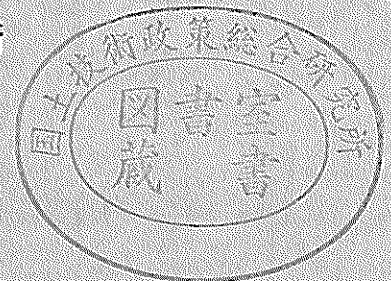
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 217 June 1975

模型ドラッグヘッド走行時における
掘削用ジェットの効果

八 木 得 次
是 石 昭 夫
岡 山 義 邦
佐 藤 義 博
斉 藤 勝

運輸省港湾技術研究所



模型ドラッグヘッド走行時における 掘削用ジェットの効果

目 次

要 旨	3
1. ま え が き	4
2. 実 験 装 置	4
3. 実 験 条 件	5
3.1 模擬ヘッドと模型ドラッグヘッド	5
3.2 流量とドラッグヘッド走行速度	7
3.3 ジェット圧力およびノズル角度	8
3.4 ドラッグヘッドの接地条件	8
4. 実 験 結 果 と 解 析	8
4.1 ドラッグヘッド停止時における土砂吸込性能	8
4.2 ドラッグヘッド走行時における土砂吸込性能	9
(1) ジェット圧力 $P_j = 0$ の場合	9
(2) ジェット圧力 P_j が吸込性能に及ぼす影響	12
5. ま と め	17
6. あ と が き	17
参 考 文 献	17

Study on the Benefits of Water - Jets
Equipped with Modeled Drag Head

Tokuji YAGI *
Akio KOREISHI **
Yoshikuni OKAYAMA **
Yoshihiro SATO **
Masaru SAITO **

Synopsis

A hopper dredger is utilized widely and effectively for the soil ranging from soft mud to sand and, especially for sand, some auxiliary excavation devices equipped with a draghead have been developed in order to expect more effective dredging.

This paper presents the results of room experiment on the suction effects of water-jets attached to trailing model suction head.

The sham bed was consisted of comparatively fine sand.

The experiment was carried out with two-step pump delivery (0.165 and 0.283 m^3/min) , three-step trailing speed (0.052, 0.088 and 0.129 m/s) and the jet pressure was varied from 0.0 to 1.0 Kg/cm^2

In the whole case, though the increasing tendency of concentration is seen as jet pressure increases the obvious increment can't be expected.

However, it is revealed that in the area enclosed with suction head the mixture is sucked under stable flow condition due to compulsory suspension of solids by water-jets and, hereby, the suction head can be moved smoothly.

* Chief of the Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division.

** Member of the Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division.

模型ドラッグヘッド走行時における 掘削用ジェットの効果

八 木 得 次 *
是 石 昭 夫 **
岡 山 義 邦 **
佐 藤 義 博 **
青 藤 勝 **

要 旨

ドラッグアクション浚渫船の対象土質は、軟泥から砂質土まで比較的広範囲のものであるが、特に砂質土に対しては浚渫能率の向上を図るために、ドラッグヘッド等に補助的な掘削手段を装備することが試みられている。その一つに掘削用水ジェットがある。

本資料は、水ジェットがドラッグヘッドの吸込性能に如何なる影響を及ぼすか模型実験を行ない、その結果を述べたものである。

模擬ベッドは比較的ルーズな細砂地盤とした。また、実験条件は、ポンプ流量 0.165 及び 0.283 m^3/min 、浚渫速度 0.052, 0.088 及び 0.129 m/S の組合わせとし、ジェット圧力は 0 ~ 1.0 Kg/cm^2 の範囲とした。

いずれの実験ケースにおいても、ジェット圧力の増加に伴って含泥率の増加傾向は見られるが、ルーズ砂質土のために顕著な増加量は期待できない。しかしながら、ヘッドに囲まれた地盤内では、ジェットによって土砂は掘削攪乱されて浮遊状態が助長されるから、極めて安定した吸込状態を保つことが出来、またヘッド前面に堆積する土砂が減少し、ヘッドの走行を円滑にらしめる効用があることが判った。

* 機材部 流体輸送研究室長
** 機材部 流体輸送研究室

1. ま え が き

ドラグサクソン浚渫船は、浚渫・運土・捨土の各作業を単独で行い得、航路浚渫が可能なことなどにより、従来船舶の輻湊する航路、泊地あるいは狭隘な航路の浚渫作業に使用されている。

その対象土質は、浚渫ポンプにて吸泥可能な軟泥から砂質土の範囲のものである。最近は港の水深が増す傾向と共に外港の浚渫作業も増大していることから対象土質も硬い砂地盤の能率的浚渫が望まれている⁽¹⁾この種の船の浚渫能力を決めるもっとも重要な要因は、ドラグヘッドの土砂吸込性能であると言われている。それは、ドラグヘッドが海底を掘削し、同時に土砂を吸上げるという2つの働きをする浚渫システムの入口要素を構成しているからである。現在、各浚渫船が装備しているドラグヘッドは、比較的広範囲の土質に適用でき、海底地形に常に好ましい状態で接地すると言われている自動調節式のカリフォルニア型がもっとも多いようである。しかし、この種のヘッドにしても硬砂質土の浚渫においては、積極的に海底土砂を掘削する装置をもたないため、土砂吸込能力の低下はまぬがれない。その能力の増加をはかる

ために種々のアタッチメント等が考えられている⁽²⁾が、現在のところもっとも有効とされているのは掘削用ジェットおよび爪であろう。

ジェット装置の場合は、一般の浚渫に用いられている機械的な切削装置と比較して摩擦部分がなく構造が簡単である等の利点を有するが、各種土質に対する適用範囲が狭く、その土質に対するジェットの切崩し特性は明らかでない現状である。過去港研で実施したジェット効果の現地試験では、硬砂質土において吸込能力の増加が期待される結果を得ている。本実験は、第五港湾建設局の依頼により行ったもので、ドラグヘッド内に装備された掘削用ジェットが浚渫ポンプの土砂吸込能力に如何なる効果を及ぼすか調べたものである。使用した模型ドラグヘッドは角型のカリフォルニアタイプのもので、そのヘッドのヒール部に2mm ϕ のジェットノズルを4個取り付けノズル噴射角は鉛直下方向とした。ジェット圧力水は、水道水を弁操作で1Kg/cm²程度までの圧力変化を行った。

模擬ベッドとしては、鹿島港で浚渫された細砂を十分に締め固めたが、注水すると殆んどルーズ状態に近くまで復元した。

2. 実 験 装 置

図-1と写真-1に使用した実験装置およびその概略を示す。

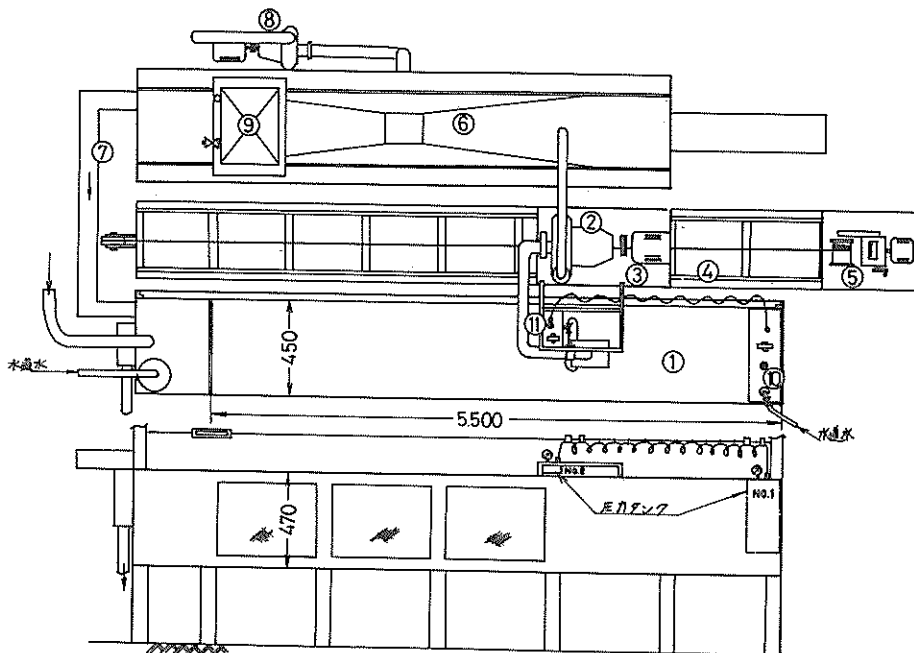


図-1 実験装置概略図

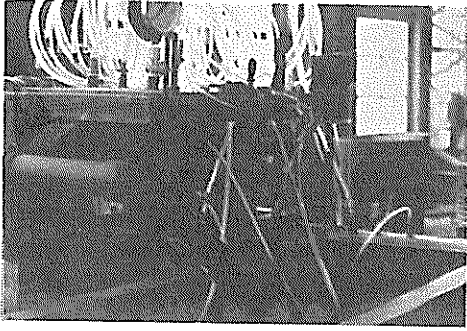


写真-1 実験装置

①は鋼製の水路で長さ6m×巾4.7cm×深さ4.4cmの大きさを持ち、床上約5.2cmの位置に設置されている。水路の一端は、貯水槽となっており注水口と溢水口がある。水路の中央約3mは両側壁とも強化ガラスの観察窓となっており中を透視することが出来る。この水路の中に長さ5.5m×巾4.5cm×高2.3cmの木枠を組み、そこに細砂を容れ模擬ベッドとした。

ポンプ装置②は走行台車③上にあり、水路に平行に敷かれた軌条④の上を移動する。⑤は駆動装置で電動機と無段変速機とからなり、エンドレスのワイヤーロープを介して台車をけん引している。台車の走行速度は、0~0.173m/sの範囲で任意の速度を撰択できる。流量の制御は、吐出弁の開度によって行い。ポンプ系の配管は、吸込側 $\frac{3}{4}$ のガス管で管長約1.83m、吐出側は $1\frac{1}{2}$ の1.65mである。吸込管は、リンク機構とゴムスリーブの組合わせによりドラグアームの角度を自由に調節することができる。吐出土砂水は、⑥の排水槽で土砂を分離し、水のみ環槽⑦を経てもとの貯水槽へ戻る。ポンプ流量が大きい場合は、循環水だけでは水路の水位を一定に保つことはできないので、循環水ポンプ⑧を併用し、⑥の水を貯水槽に強制循環させた。

流量および吐出濃度の計測は、排水槽上を移動する台車上の計量槽⑨で行った。

ジェットの供給圧力水は、水道水を水路槽の一端に設置した圧1タンク⑩にホースで導き、それからさらに移動台車上のフレームに取付けた圧2タンク⑪に8mmφビニールホースで導いた。圧2タンクから分岐され、ドラグヘッドのノズル取付管(内径6mm)両端にビニールホースで接続した。タンクにはブルドンゲージおよびバルブを取付け、ゲージをみながらバルブ操作を行いノズル供給圧力を設定する。なお、ノズル入口圧力は、ノズル取付管の一端から、ポンプの吸入負圧は基準面上6.5cmの吸入管位置から歪ゲージ式圧力変換器に導き、連続

記録させた。

3. 実験条件

3.1 模擬ベッドと模型ドラグヘッド

実験に供したベッドは、鹿島港で浚渫された極めて細かい砂を用いて作った。図-2にその構造を示す。

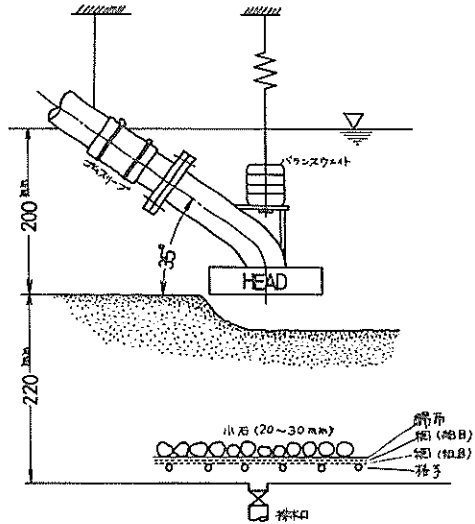


図-2 砂ベッドとドラグヘッド設定条件

図から判るように水路の底に鋼製の格子を敷き、その上に金網(並目), 合成繊維(細目), 綿布および20~30mmの小石の順に敷いて最後に供試砂を約15cmの厚さに容れた。

供試砂は、あらかじめ大き目の篩で砂利やゴミ等を除いて用いた。その物性を表-1に、粒度分布を図-3に示す。

表-1 供試砂の物性

分類	産地	中央粒径 d_{50} (mm)	真比重 ρ_s	間隙率 p	沈降速度 cm/s
細砂	鹿島港	0.16	2.68	0.40~0.45	1.94

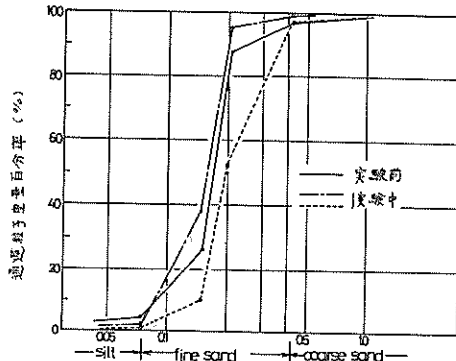


図-3 供試砂の粒度加積曲線

このタイプのものは、比較的広範囲の土質に適用される
といわれ多くの実船に用いられているものである。模型
の形状大きさを選定するにあたっては、吸込口面積と吸
込管断面積とのバランスおよび吸込口の周辺長さの影響
を考え、しかも実船との相似を考えるべきであろうが、
これらの関係は明らかでなく決めてはない。今回は、ジ
ェットの効果に主眼を置き、当研究室で実施しているド
ラグヘッドの実験と対比し得るよう考慮してその1つに
近いものにした。なお、ヘッド底面にグレートはつけて
いない。

3.2 流量とドラグヘッド走行速度

まず、ポンプ流量の実験範囲を検討してみよう。

ドラグヘッドの土砂吸込性能は、ヘッド入口部における
流入速度が主要なファクターとなる。土粒子の吸上げ過
程では粘性項より重力項が大きくなるので模型と実船と
の間にフルードの相似則が成り立つと仮定する。いま、
長さのディメンションとして吸込口部面積の平方根をと
れば、フルード数 Fr_g は、

$$Fr_g = V_g / \sqrt{g \sqrt{A_g}}$$

ここに、 V_g : 吸込口部の平均流入速度

A_g : 吸込口面積

模型ヘッドと実船のものと比較してみると表-2のよ

表-2 模型ドラグヘッドと実船の比較

項 目	海鷗丸	白山丸	模 型		
吸 込 管 径 (mm)	630	510	52		
吸 込 管 断 面 積 A_p (cm ²)	3,117	2,041	21.2		
吸 込 口 面 積 A_g (cm ²)	11,590	5,472	85.4		
吸 込 長 さ L (cm)	144	110	10.2		
" 幅 B (cm)	211	180	9.2		
A_g / A_p	3.72	2.68	4.03		
ポンプ吐出量 Q (m ³ /h)	5,000	3,000			
" (m ³ /min)	83.3	50	0.1	0.2	0.3
$V_g = Q/A_g$ (m/s)	1.2	1.52	0.195	0.39	0.585
$\sqrt{A_g}$	107.7	74	9.42		
$g \sqrt{A_g}$	325	269	95.2		
$V_g \sqrt{g \sqrt{A_g}}$	0.369	0.565	0.205	0.41	0.615

うになる。表からみれば、模型の場合のポンプ流量(Q)
は、0.1~0.3 m³/min の範囲であればよいものとなる。
本実験では、 $Q = 0.165$ と 0.283 m³/min ($Fr_g =$
0.34, 0.58) に限定した。

一方、ドラグヘッドの走行速度は、揚土能力に影響を
及ぼす要因の1つである。実船における最適浚渫速度は、
土質条件、ドラグヘッド形、ジェットまたは爪の有無、
船動力等により異なるものである。通常は、2kt~5kt
の範囲で、砂質土の場合は3kt前後が最適とされている。

模型実験を行なう場合には、相似律なる考えを導入し

なければならないが、現在ドラグヘッドの浚渫機構に対
する適切な相似律はない。いま、ドラグヘッドが速度 V_H
で移動するとベッド上の1点をヘッドが通過する時間は
 L/V_H である。ドラグヘッドの吸込性能とは、この L/V_H
の時間内における吸込砂量と供給土砂量とのバランスの
問題と考えられる。言い換えれば、 L/V_H を長くって
深くから土砂を吸い上げた方が得か、或は L/V_H を短か
くして表層の土砂のみを広く浅く吸込んだ方がよいかの
比較とも言える。そこで、実船における L/V_H を調べて
みると表-3のように数秒以下である。この L/V_H の時

表-3 ドラグヘッドの L/V_H

船 速	実船の L/V_H (sec)	模型ベッドの ※ V_H (m/sec)				
		海鷗丸	白山丸	海鷗丸	白山丸	平均
ノット	V_H (m/sec)					
2.0	1.03	1.4	1.07	0.073	0.095	0.084
2.5	1.29	1.12	0.854	0.091	0.119	0.105
3.0	1.55	0.932	0.712	0.109	0.143	0.126
3.5	1.8	0.8	0.61	0.128	0.167	0.147
4.0	2.06	0.7	0.534	0.146	0.191	0.168

※: $V_H = (\text{模型の } L = 0.102) / (\text{実船の } L/V_H)$

間で模型ヘッドを移動させるとすると、表中の模型ヘッドの走行速度 V_H が求まる。そこで本実験では、表3及び駆動装置の能力を考慮して、 V_H を 0.088 m/s 及び 0.129 m/s とした。

3.3 ジェット圧力及びノズル角度

水中でジェットによる掘削を行なう場合、掘削量はジェットの強さ、ノズル移動速度、ノズル径、対象土質等によって大きく変えることは2, 3の文献に見られるが、その定量的な取扱いは未だ明らかでないようである。

本実験に用いたジェットノズルは、図4に示すように、ヘッドのヒール部に内径 2 mm のものを4個取り付け、その噴射角度はいずれも鉛直下方向のみとした。また、ノズルとベッド表面の距離は 5 mm とした。

ジェット圧力の調節範囲は、ベッドの層厚及び予備実験結果を考慮して最高 1 Kg/cm に抑えた。図5は、ノズル直前のジェット圧力 (P_j) とノズル出口における流量 (Q_j) および噴出流速 (V_j) との関係である。なお、上記各値から求めたノズルの速度係数 C_v も併記してある。

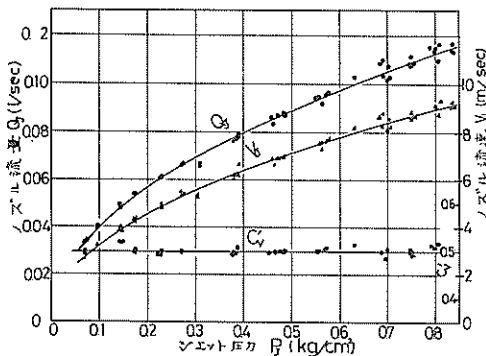


図-5 ノズルの流量、流速および速度係数

3.4 ドラグヘッドの接地条件

図-2に示すようにドラッグヘッドのベッドに対する接地条件は、ドラッグアームの角度をベッド面に対し 35° とした。この角度は大体突船に近い条件である。ドラッグアームとの連結はゴムスリーブで行ない、またヘッド中央をばね秤で懸垂したので、ヘッドは上下左右に若干動きうる状態にある。さらに、ヘッドの安定性を増すためと、吸込口がベッド面に水平に接地するようバランスウェイトをのせた。この際、バランスウェイトは接地圧とは無関係である。さて、ドラッグヘッドが土面にもぐり込む深さ、つまり掘削土厚は吸込土量に直接関係するところであるが、硬砂質土の場合、もぐり量が極めて少ないであろうと考え、初期土厚は零とした。したがって、ヘッド

は土面に水平接触する状態である。水深は、オーバーローレベルで 20 cm になるが、ポンプ流量と供給水のバランスにより多少変動する程度である。

4. 実験結果とその解析

4.1 ドラグヘッド停止時における土砂吸込性能

ドラッグヘッドは、通常走行状態で使用されるものであるが、本実験に用いたヘッドの基本的な性能を知る上から、まづヘッドが停止状態にある場合の土砂吸込性能について調べてみた。

ドラッグヘッドを停止させた状態で土砂を吸込ませていくと、ある一定時間経過後には、土砂はもはや吸込まれなくなり平衡状態に達する。この平衡時間は、そのときのポンプ流量およびジェット圧力と対象の土質によって決まる。本実験条件下では、ジェット無しの場合、数分以内で、ジェットを用いても多少のびる程度であった。

平衡状態に達したときの掘削跡形状は、写真-3~4



写真-3 掘削跡(ドラッグヘッド停止時、流量小)

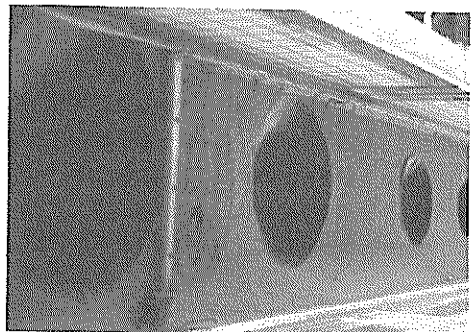


写真-4 掘削跡(ドラッグヘッド停止時、流量大)

でも判るように流量が小さいと穴中に段ができ、その表面の形状がヘッドの吸込形状に極めて似ている。ジェットを用いると、この形状は流量が大きいときと同じ円錐状を呈する。

図-6は、ジェットを用いない場合で平衡状態に達し

たときの掘削跡形状をヘッドの横方向の掘削巾 b 、長さ方向の掘削幅 ℓ および掘削跡中央の掘削深さ Z_0 とポン

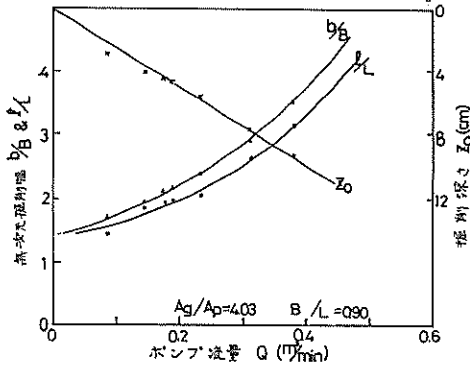


図-6 ドラグヘッド停止時における掘削幅と掘削深さ(ジェットなし)

プ流量 Q との関係においてみたものである。ここで、 b および ℓ は、ヘッドの吸込口形状 B および L に依存することから、 b/B および ℓ/L の無次元量で示した。

いずれもポンプ流量の増加とともに増大しており、その傾向は、掘削深 Z_0 より掘削幅の方が大きく、 ℓ/L より b/B の方が大きい。これは、吸込口の周囲で、しかも幅の狭い方で流入速度が大きくなるためと考えられる。

つぎに、ジェットを用いた場合、ジェットを用いないときの掘削跡がジェットによって如何なる変化をするか調べてみた。

図-7 は、ポンプ流量 (Q) が $Q = 0.165 \text{ m}^3/\text{min}$ のとき、

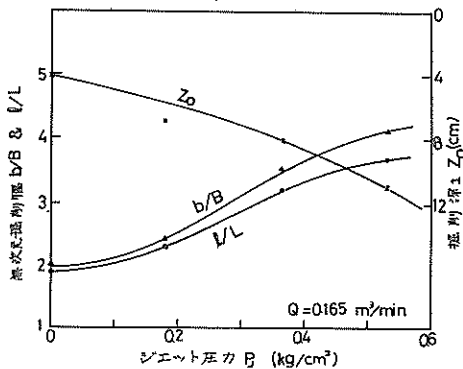


図-7 ドラグヘッド停止時におけるジェットの掘削幅と掘削深さに及ぼす影響

ジェット圧力 (P_{\perp}) の変化に対する掘削幅と掘削深さの変化を示したものである。ここで、 P_{\perp} はノズル入口における圧力をいうが、ベッドの層厚及び有効幅の関係でこの P_{\perp} の範囲にとどめた。この図から、 P_{\perp} の増加に対していずれも増加しているが、掘削幅のその増加率は漸次減少する傾向である。

それに反して掘削深さの方はその増加率が増している。このことは、ジェットの掘削性が、深さに影響を及ぼし

掘削量の増加をなすことを示しているといえるであろう。

いま、掘削量 G_0 と掘削跡断面積 S_0 および限界吸込面積 A_{cr} についてみると図-8、9のようになる。ここで、

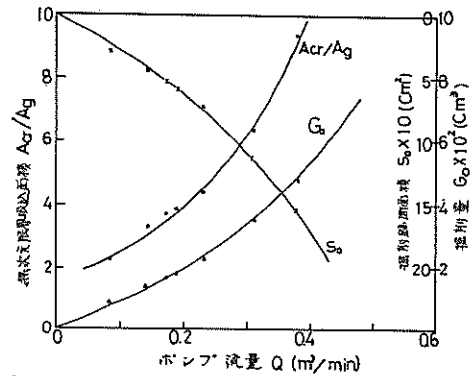


図-8 ドラグヘッド停止時における限界吸込面積掘削跡断面積および掘削量(ジェットなし)

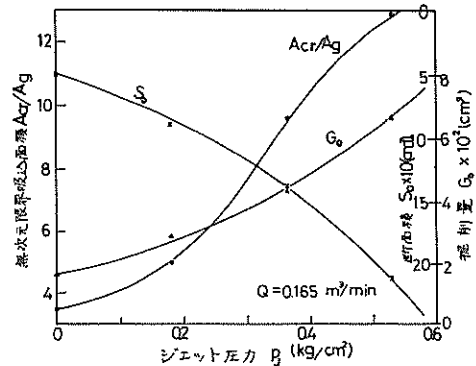


図-9 ドラグヘッド停止時におけるジェットの限界吸込面積、掘削跡断面積、および掘削量に及ぼす影響

A_{cr} とは平衡状態に達したときの掘削跡のベッド表面での大きさをいい、吸込域の限界を表わす面積である。 A_{cr} は吸込口面積 A_g に関係があるので無次元量 A_{cr}/A_g で表わした。 S_0 は、掘削穴を円錐形状とみなし横方向 (B) と長さ方向 (L) の断面積の平均値であり、 G_0 は、 S_0 を基準に掘削穴が軸対称の回転体と考えた場合の体積である。図-8 は、ジェットなしの場合で、ポンプ流量が増加すれば当然吸込口での流入速度も増し、その結果として A_{cr} 、 S_0 および G_0 が増すことを表わしている。図-9 は、 $Q = 0.165 \text{ m}^3/\text{min}$ においてジェットを用いた場合で、図-7 で述べたことをうらづけるものであろう。

4.2 ドラグヘッド走行時における土砂吸込性能

(1) ジェット圧力 $P_{\perp} = 0$ の場合

まず、ドラグヘッドの走行時における土砂吸込性能が

初期条件であるジェット圧力 $Q = 0$ のときに、ポンプ流量 Q および走行速度 V_H の変化に対してどのような関係にあるのか調べる必要がある。これによって本実験での Q および V_H の設定値がどのような領域にあるか知ることができ、ドラグヘッドの初期能力が判る。

実験中のポンプ吐出流量 Q 、吐出濃度 r_m および断面の計測は、ドラグヘッドを水槽中 4 m 前後走らせその中間の安定した 2~3 m 区間で行った。

ドラグヘッドの走行中の浚渫状態は、浚渫開始時には吸込圧力及びゴムスリーブの撓性によって、ヘッド下面が土面より下に引き寄せられ、したがってヘッド前面には土砂が多少盛り上がった状態で進むため、ヘッドは首振りを繰返ししながら走行する。その結果、掘削跡は均一でなく幅の広いところ狭いところ、深さの深いところと浅いところが出てきて、ヒョウタンのような形状を呈した。この状態は、ポンプ流量が大きくなると落着き、スムーズに走行した。

(a) 含泥率と吸込土量

ドラグヘッドを一定速度 V_H で走らせながらポンプ流量 Q を変えると吸込土砂水の混合比重 r_m は図-10の

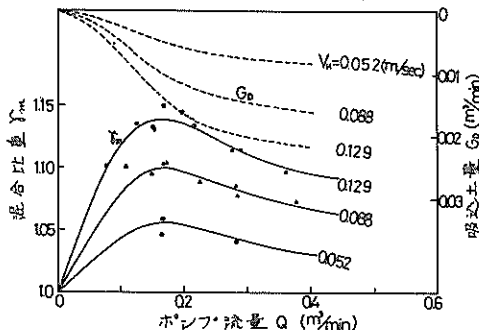


図-10 ポンプ流量に対する濃度と吸込土量の変化(ジェットなし)

ごとく変化した。図から、各々の V_H において r_m が最大となる点は、 $Q = 0.16 \text{ m}^3/\text{min}$ 付近である。ところで、浚渫作業においては、むしろ時間当りの吸込土量 G_D が問題であるからして、いま G_D を $G_D = C_p \cdot Q$ (ここに、 C_p は真容積含泥率で $C_p = (r_m - r_w) / (r_s - r_w)$) より求めてみると図中の点線で示したようになる。図の $V_H = 0.052 \text{ m/sec}$ は、テストケース外であったが、低速度における $r_m \sim Q$ の傾向を知るために試みたもので測点は少ない。

この図からは、 Q の増加とともに G_D の増加を示し、その増加率は漸次減少の傾向である。また、 V_H が大きくなるほど r_m および G_D は大きい。これは図-11からでも明らかである。図-11には、ポンプ流量を一定

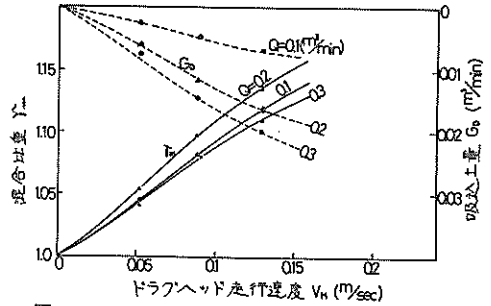


図-11 ドラグヘッド走行速度が土砂吸込性能に及ぼす影響(ジェットなし)

にして走行速度を変化させたときの r_m と G_D の変化を示したもので、ほぼ一次的な増加とみなされる。

したがって、ドラグヘッドの吸込能力は、主に走行速度の影響を受け、つまり速度の速い方がよいことになる。しかし、過去実施した実船試験では、ある海底の土質において含泥率の最大となる点の船速を見いだして(2)(5)このことを考慮しても、本実験条件下では、まだ増加領域内であり、最速速度はわからない。

(b) 掘削幅と掘削深さおよび掘削跡断面積

掘削跡の断面は、計測区間において必ずしも均一でないで、平均 4 個所の位置で計測して合成断面を描きこれから平均の断面を求めた。各位置の断面図は透明アクリル板(厚 2 mm)を掘跡に垂直に挿入し片面の土砂を除いて掘跡をトレスしたものである(写真-5 参照)。

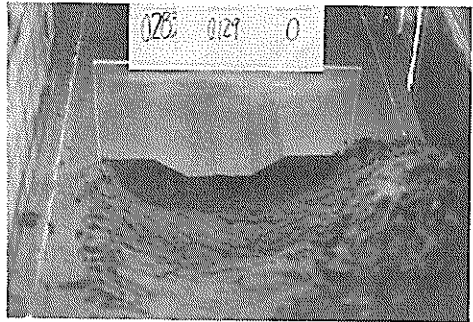


写真-5 掘削跡断面(ドラグヘッド走行時)

図-12に、合成断面を示す。この図から判るように、ポンプ流量が小さいとき吸込口縁が最も深く中央部は浅く掘れている。本来なら、前部に凹部のあるヘッドでは中央部に吸込口縁と同じ効果が期待される場所である。合成図のパラッキは、前述した通り、首振り現象の結果を表わすもので、これも流量が大きくなるとなくなり、底部は平らになる。全体として掘削跡断面は台形断面とみなすことができる。その斜面の傾斜は、流量および走

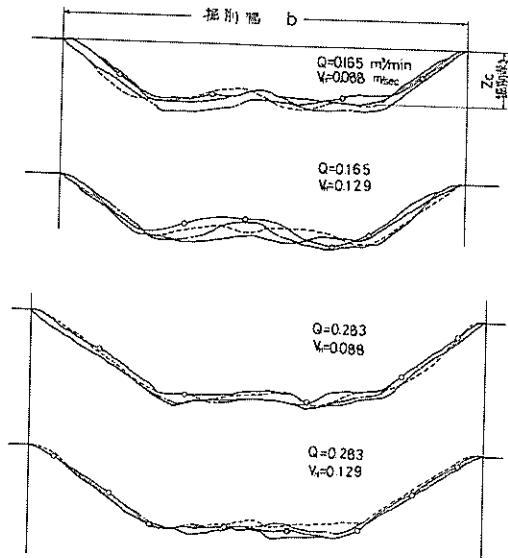


図-12 ドラグヘッド走行時における掘削跡断面(ジェットなし)

行速度に関係なく、傾斜角 θ は： $\theta = 35^\circ \pm 2^\circ$ の領域であった。

さて、ドラグヘッドの吸込性能を掘削跡の断面から調べてみよう。

図-13は、 V_H が一定で Q を変化させたときの掘削幅と掘削深さおよび掘削跡断面積の変化をプロットしたもので、いずれも Q の増加と共に増加しているが、その増加率は漸次減少の傾向を示す。特に、掘削幅ではそれが大きい。

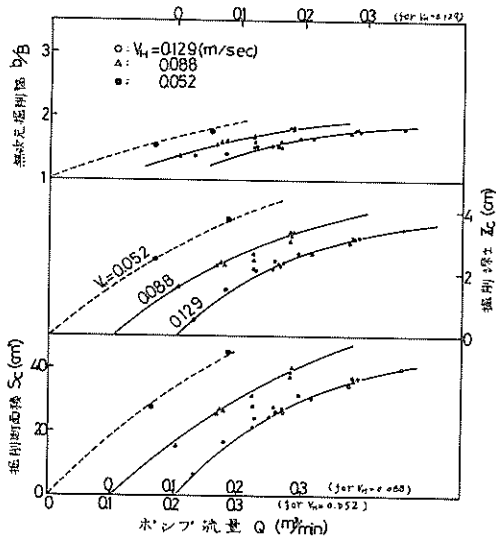


図-13 ドラグヘッド走行時における掘削幅と掘削深さおよび掘削断面積(ジェットなし)

図-14は、 Q が一定で V_H を変えた場合の断面の変化を示したもので、走行速度によって断面が大きく変わるとはいえない。

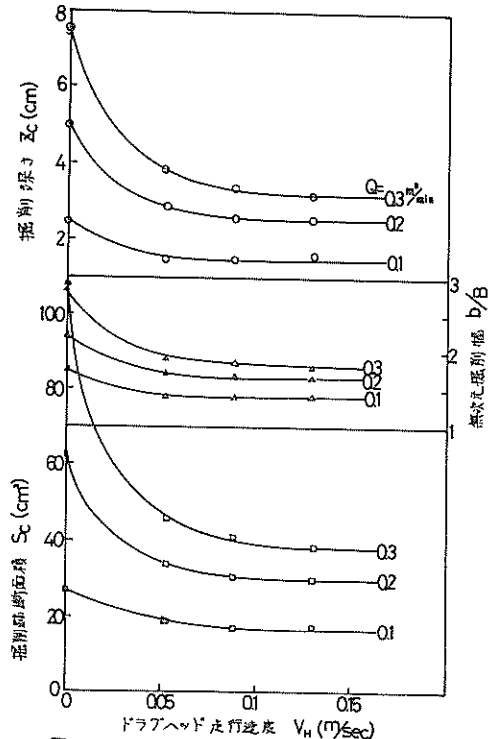


図-14 ドラグヘッド走行速度が掘削幅と掘削深さおよび掘削断面積に及ぼす影響(ジェットなし)

すなわち、走行時におけるドラグヘッドの掘削跡断面は、概して走行速度に関係なく、ポンプ流量のみによってその絶対値が変わることがある。

(c) ドラグヘッドと土面との間隙が吸込性能に及ぼす影響

ドラグヘッドと土面との間隙は、吸込口の流入速度に変化を期たすので、吸込土量に直接関係するところである。

図-15に、間隙 δ と混合比重 γ_m および吸入土量 G_m の関係を示し、図-16に、掘削深さ、掘削幅および掘削跡断面積との関係を示した。いずれも間隙が増すにつれて吸込能力の低下を表わしているが、流量の小さい方が顕著である。このときのドラグヘッドの吸込状態を観察すると、流量が大きいと吸込圧力が強くヘッドは土面に吸着されるため、小流量に比べて間隙の影響は少ないといえる。

一方、吸込能力の低下を図-16の掘削跡断面からみ

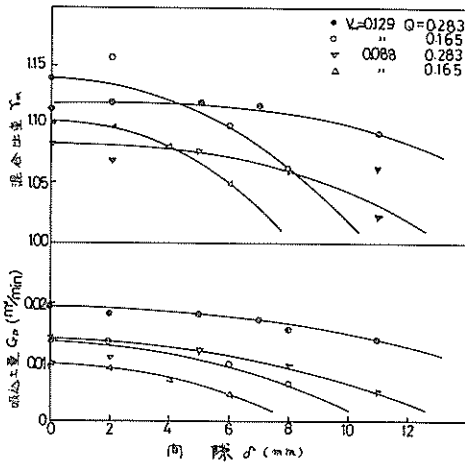


図-15 間隙が吸込土量および濃度
に及ぼす影響 (ジェットなし)

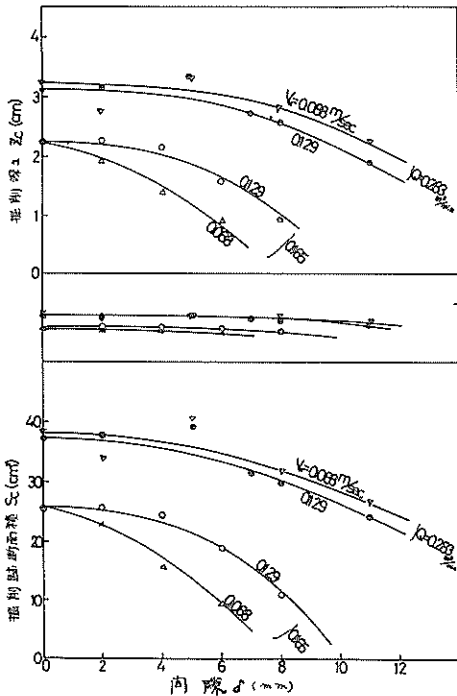


図-16 間隙が掘削深さ、掘削幅および掘削断面積
に及ぼす影響 (ジェットなし)

れば、掘削幅の変化は極めて小さいもので、殆んど掘削深さにその影響が及んでいることが判る。しかも、低流量においては ($Q = 0.165 \text{ m}^3/\text{min}$)、走行速度 V_s が大きく影響を及ぼし、走行速度の遅い方が掘削深さは浅くなる。この点は、さきの間隙がないときの $Z_c \propto 1/V_s$ の関係からすると逆の結果である。これは、流量が小さ

く走行速度が遅いと、間隙がある場合には逆に流体を吸込む要素が強くなるからと思われる。

以上のことから、土面とヘッド底面との間隙を少なくする方が吸込能力の低下をまねかないといえよう。

(2) ジェット圧力が吸込性能に及ぼす影響

(a) ジェットのみによる掘削深さ

ジェット圧力の吸込性能に及ぼす影響を調べるには、まず模型ヘッドに装備されたジェットノズルの水中の掘削能力つまり本実験土質に対するジェット圧力と掘削深さの関係をj知ることである。

ポンプを停止させドラグヘッドを一定速度で走らせながらジェット圧力を変化させると、図-17のようにジェ

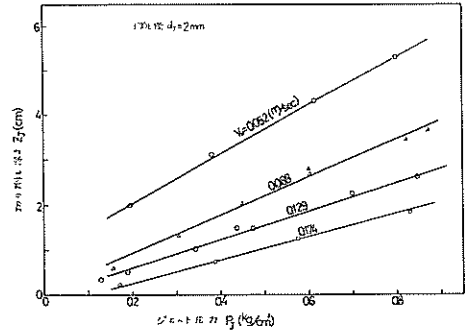


図-17 ジェット圧力と切り削し深さの関係
(ポンプ停止時)

ット水による掘削深さ Z_c は一次的な関係を示した。ここで、掘削深さは測深棒の押し込み深さである。掘削された土砂が、ドラグヘッドの走行とともに再び埋め戻されるので深さを直接計測できないが、一旦掘削されたところは、極めてルーズになっているので、排水後測深棒を押し込んで深さを計測した。

さて、水ジェットによる一般土砂の掘削量 G は、ノズル出口の運動量 mV_j に比例するといわれ、 $G_j \propto (mV_j)^n$ で表わされている。(3)(4) しかるに、ノズルを定速度で移動させて掘削を行なう場合のベッドの任意の点に作用するジェット流の運動量は次のように表わされる。

$$mV_j = K \left(d_j^3 P_j \frac{1}{V_n} \right) \dots \dots \dots (1)$$

- ここに、 d_j : ノズル径
- P_j : ジェット圧力
- V_n : ノズル移動速度
- K : 係数

結局、掘削量 G_j は、ノズル径を一定とすると

$$G_j = K' \left(P_j / V_n \right)^n \dots \dots \dots (2)$$

で表わされるものとする。

一方、掘削断面から単位長さ当りの G は、次のよう

にして求められる。

$$G_s = Z_s \cdot b_s \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 Z_s : ジェットによる掘削深さ

b_s : 平均掘削幅

したがって、(2)及び(3)式から掘削深さ Z_s は次のようになる。

$$Z_s = \frac{K'}{b_s} (P_s / V_H)^n$$

実測値の $P_s \sim Z_s$ の関係は、図-17に示すように $V_H =$ 一定において、直線的な比例関係にある。すなわち、上式の指数 n は、 $n = 1$ となる。しかも、その傾斜は、 V_H が小さくなるほど大きい。図-18に、 V_H と傾き Z_s / P_s の関係を示してみると、 $Z_s / P_s \propto (1 / V_H)^{0.63}$ の

(b) 含泥率と吸込土量

実験は、 $Q = 0.165, 0.283 \text{ m}^3 / \text{min}$ と $V_H = 0.088, 0.129 \text{ m} / \text{sec}$ の組合わせの4ケースについて行ない、補足実験として $V_H = 0.052 \text{ m} / \text{sec}$ (実験装置の最低速度)、 $Q = 0.165 \text{ m}^3 / \text{min}$ についてのみ試みた。

ポンプ流量 Q を一定にしてドラッグヘッドを一定速度 V_H で走らせながらジェット圧力 P_s を変えると、吐出土砂水の含泥率(ここでは混合比重 γ_m をもって表わす)は、

関係にあることが判る。ここに、 $n' = 0.63$ となる。

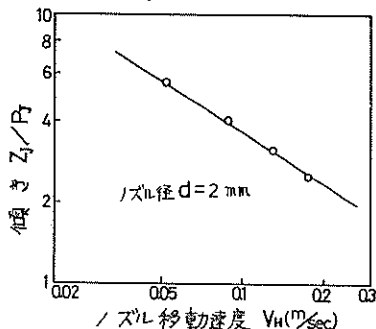


図-18 ノズル移動速度が切り削し深さに及ぼす影響

以上において、ジェットによる掘削深さは、運動量に比例し $Z_s \propto P_s (1 / V_H)^{0.63}$ の関係にあるといえよう。

図-19のごとく変化した。この変化を吸込土量 G_d としてみたのが図-20で、 G_d は $G_d = (r_m - r_w) / (r_s - r_w) \cdot Q$ から求められる。

図からいえば、実測値にバラツキが多くて断定はできないが、 P_s の増加に対してほぼ直線的な増加傾向を示すがルーズ土のため増加量は顕著でない。いずれにしても、この増加分は、ジェットの効果を示すと云えよう。

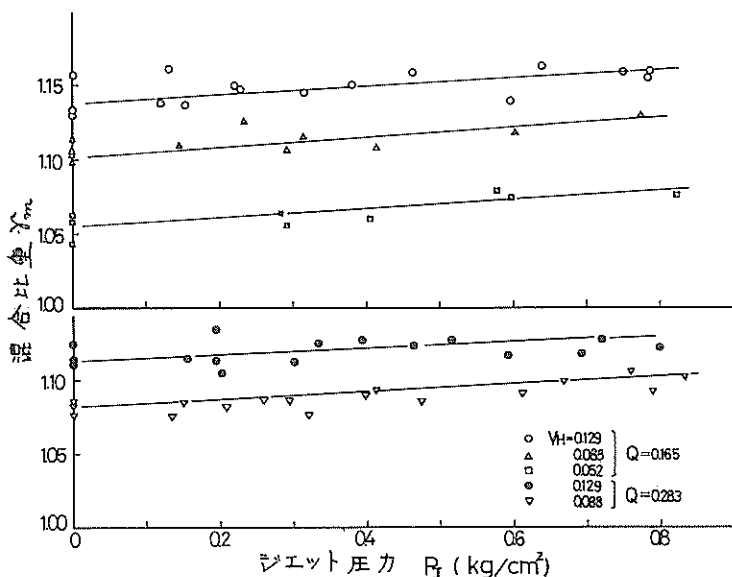


図-19 ジェット圧力が土砂吸込性能に及ぼす影響 (ドラッグヘッド走行時)

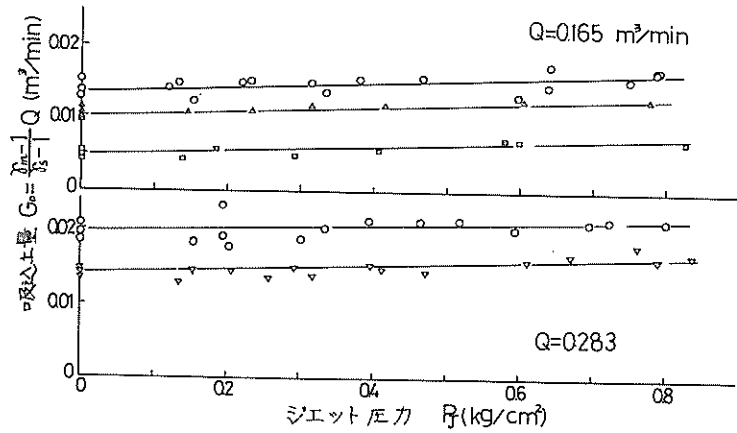


図-20 ジェット圧力が吸込土量に及ぼす影響 (ドラグヘッド走行時)

いま、吸込まれた土量 G_D が一次的な増加をするものとして、その増加率 α_G がドラグヘッドの走行速度と如何なる関係にあるか調べてみると、図-21 に示す如くなる。

これから速断はできないが、 α_G はジェットの運動量に関係するものと推察される。すなわち、 α_G は、

$$\alpha_G = \frac{G_D - G_{D0}}{G_{D0}} \propto P_j (1/V_H)^m$$

ここに、 $G_{D0} : P_j = 0$ のときの掘削土量

G_D : ジェットを用いたときの掘削土量

m : 指数 ($Q = 0.165 \text{ m}^3/\text{min}$ では $m = 1.29$)

図で、 Q の大きい方が α_G は小さいのは、土質が比較的ルーズな細砂のため、 $P_j = 0$ でもかなりの含泥率が確保されるからであろう。

(c) 掘削幅と掘削深さおよび掘削跡断面積

ジェット圧力が掘削断面にどのような変化をきたし、結果として吸込土量の増加になるのか調べてみた。

図-22 に無次元掘削幅 b/B の実測値を示す、殆んど変化はみられなく、 $P_j = 0$ の場合も含めてほぼ一定

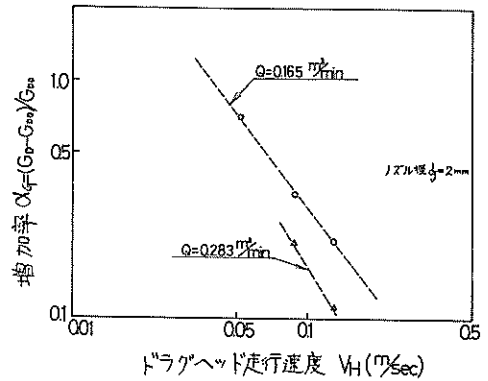


図-21 ドラグヘッド走行速度と α_G の関係

と考えてよい。この点は、図-7 に示した走行速度 $V_H = 0$ での $P_j \sim b/B$ の関係からすると無循環するようであるが、この速度の領域では掘削幅に変化をきたすほどジェットの影響はないものと解される。

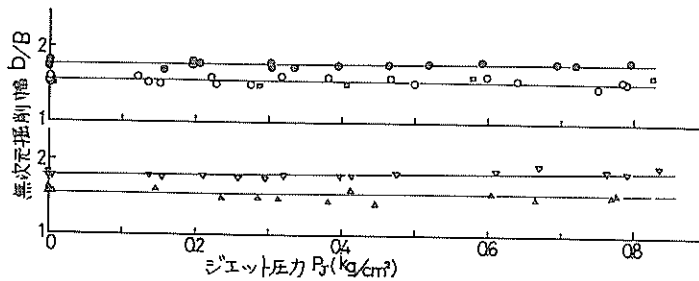


図-22 ジェット圧力が掘削幅に及ぼす影響 (ドラグヘッド走行時)

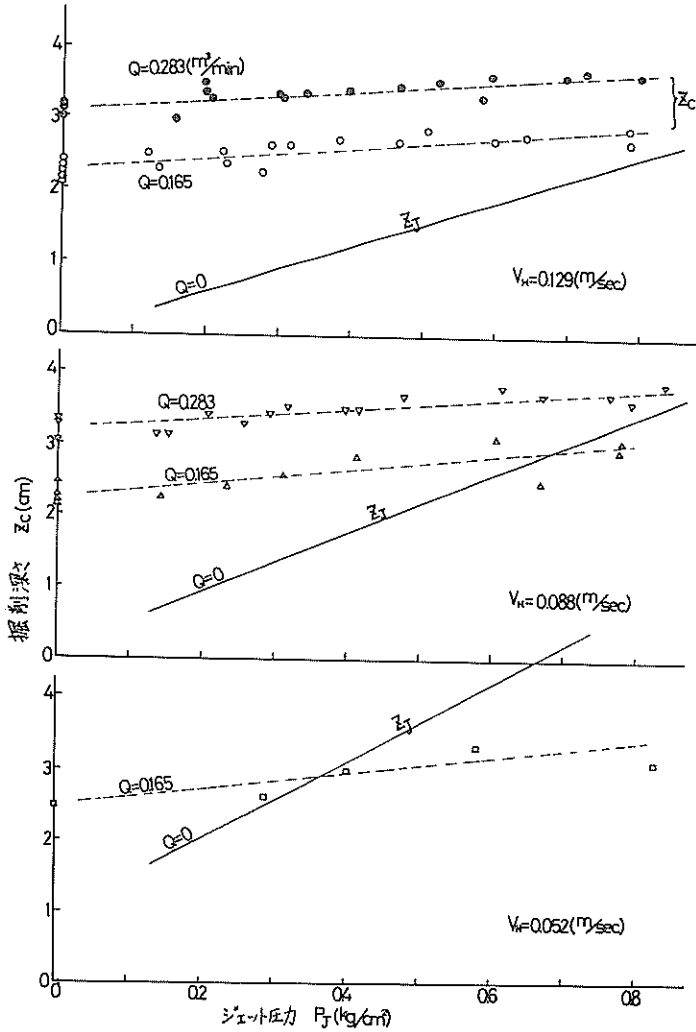


図-23 ジェット圧力が掘削深さに及ぼす影響
(ドラグヘッド走行時)

図-23は、掘削深さ Z_c の変化をみたもので、測点のバラツキはあるが P_j の増加とともに深くなる傾向である。全体的にみて V_n および Q の大小による変化は少ないが、若干 V_n の小さい方がその増加率は大きくなるようである。ここでノズルのみの掘削深さ Z_j と Z_c との関係を見るため、 Z_j を実線にて併記した。図から、 Z_j と Z_c の相関はみられない。しかも、ジェット圧力がある値までは浚渫ポンプのみによる掘削深さの方が Z_c より深いにもかかわらず Z_c は増している。このことは、土質がルーズであること、そのため深さに及ぼす影響よりもその噴流のヘッド内土盤を攪乱する影響が大きくポンプの吸込みに好都合となるためであろうと考えられる。これは、ドラグヘッドの観察からしても、つまりジェッ

ト圧力が大きくなるに従って前項で述べたヘッドの首振り状態がなくなり極めてスムーズな掘削を行なうことからいえるであろう。図-24は掘削跡断面図の代表例であるが、さきの図-23における Z_j と Z_c の変化の状態をよく表わしている。この図から平均断面積を求めてプロットしたのが図-25であり、断面傾斜角 θ を図-26に示した。 θ は $P_j = 0$ のときと同じで $\theta = 35 \pm 2^\circ$ の範囲におさまる。なお、この断面積 S と走行速度 V_n から吸込土量 G_b' は求まるので、いまベッド砂層の間隙率を p として、 $G_b' = (1-p)S \cdot V_n$ から求め図-27にプロットした。図-20の G_b と同じ増加の傾向を示す。たゞ、吸込土量の絶対値としては G_b' の方が小さくなった。

以上から、ジェットの影響は主として深さ方向に及び、土量は増加するが、幅および傾斜角がほぼ一定であ

り、 Z_c が増すとともに底面の幅は減少するので、土量の増加量は一定値に近づく傾向をもつものと思われる。

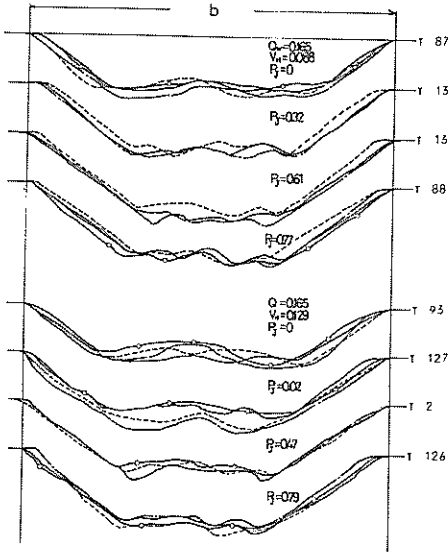


図-24-① ドラグヘッド走行時における掘削跡断面 (ジェット使用時)

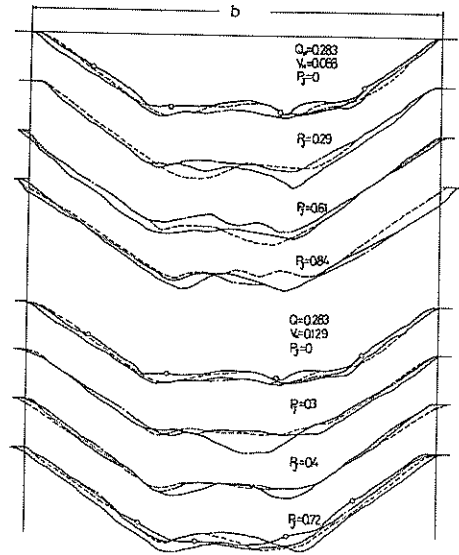


図-24-② ドラグヘッド走行時における掘削跡断面 (ジェット使用時)

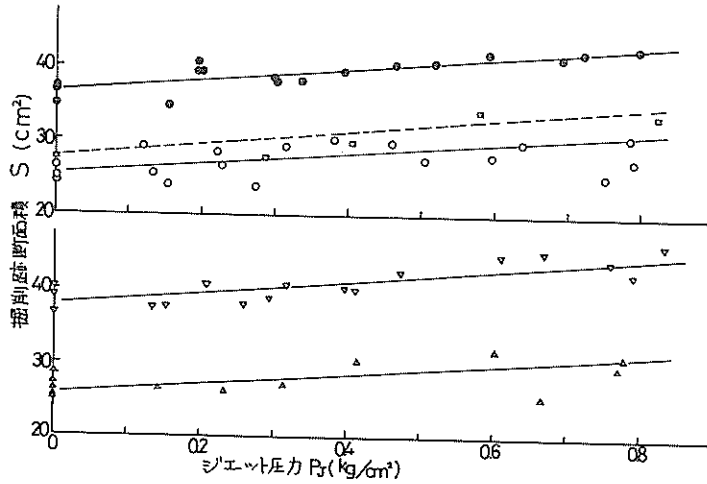


図-25 ジェット圧力が掘削跡断面積に及ぼす影響 (ドラグヘッド走行時)

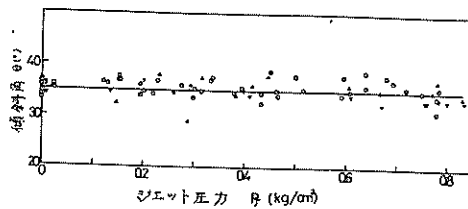


図-26 掘削跡断面の傾斜角

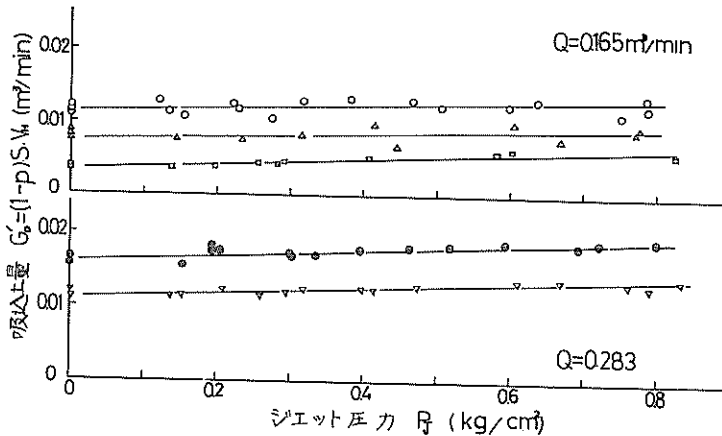


図-27 ジェット圧力が吸込土量に及ぼす影響
(ドラグヘッド走行時)

5. ま と め

以上の室内実験結果を要約すると次の通りである。

- (1) 本実験条件下でのジェットのみによる掘削深さ Z は、 $Z \propto P_j (1/V_g)^n$ の関係になる。
- (2) ジェット圧力の含泥率に及ぼす影響

①土質がルーズ細砂のため、 $P_j = 0$ でも或る程度の含泥率が確保される。

②混合比重 γ_m と P_j の関係は測定値のバラツキが多くて判断に苦しむが、直線的乃至は P_j の増加と共に頭打ちのカーブになるものと考えられる。但し、 $P_j < 0.4 \text{ Kg/cm}^2$ では $P_j = 0$ のバラツキ内に測定値が入ってしまうケースが多い。

③しかし、掘削深さ Z_c (図-23)をみると明らかに P_j の増加に伴って Z_c の増加が判る。ところが、掘削幅 b と傾斜角 θ はほぼ一定であるから、 P_j の増加とともに底面の巾は(梯形断面の下底幅)減少する。したがって、含泥率の増加率は漸次減少するものと思われる。

- (3) 観察による所見

①ヘッドと土面の関係は図-2のようにセットしたが、実際に浚渫が始まると吸込圧及びゴムスリーブの撓性によってヘッド下面は土面より下に引き寄せられる。したがって、ヘッド前面には土砂が多少盛り上がった状態で進むので、ヘッドは首振りを繰返し掘削跡の表面がヒョウタンのような形になることがある。この状態は $P_j = 0$ 乃至は低い場合に生じる。

②ところが、 P_j が或る程度以上になると前面の盛り上り土砂はなくなり、極めてスムーズな掘削面になる。

③ジェットを噴射させるとヘッド底面に囲まれた土

盤は全くの攪乱状態となり、吸込状態は安定する。

以上のことから、ルーズ砂質土に対してもジェットは含泥率或いは吸込土量の増加に寄与するが、同時に吸込状態の安定化、ヘッド前面堆積土砂の減少によるヘッド走行の円滑化にも極めて有効である。

6. あとがき

模型ドラグヘッドによる実験においては、模擬ベッドの形成、特にベッド面の平滑さ及び硬さの均一性が重要である。さらに実船との対比において、浚渫条件の相似則は今後に残された問題である。

本実験は第5港湾建設局の依頼によって行われたものである。実験に当たっての当局の御協力に感謝する次第である。
(1975年3月31日 受付)

参 考 文 献

1. 八木得次・他；ドラグヘッドに関する研究(第1報)，港研報告，第12巻，第4号，12/1973
2. 松田任・他；第一特浚丸における掘削用ジェットおよび爪の効果，港研資料，66141，6/1972
3. 松田任・他；ジェット掘削に関する研究(その1)，港研報告，第3巻，第5号，12/1964
4. 石塚浩次・他；水噴流による水中粘土の掘削について，港研資料，6677，6/1969
5. 八木得次・他；海嶼丸の掘削用ジェットの効果について，港研資料，66122，6/1971

