



土 木 研 究 所 ・ 資 料

第 8 5 3 号

大 規 模 特 殊 事 業 調 査

盛 土 に 関 す る 試 験 調 査

－ 海 底 掘 削 機 の 開 発 －

昭和 4 8 年 6 月

建 設 省 土 木 研 究 所



大規模特殊事業調査

盛土に関する試験調査

－ 海底掘削機の開発 －

機械研究室長 田 中 康 之
主任研究員 千 田 昌 平
吉 田 六 三

目 次

まえがき	
1. 海底掘削機の型式	1
1.1 施工条件	1
1.2 海底掘削機の型式の選定	1
2. 本機の構成と各部構造	4
2.1 作業体制の構成	4
2.2 掘削機本体の構成および構造	4
3. 作動および施工法	7
3.1 空圧系統	7
3.2 油圧系統	7
3.3 海底掘削機による施工法	9
4. 掘削試験および試験結果	10
4.1 構内作動試験	10
4.2 海底掘削試験の方法	12
4.3 " 結果	16
5. 含泥率測定装置（土研式）	19
5.1 含泥率計開発のいきさつ	19
5.2 構成と原理	20
5.3 含泥率計の精度	21
6. 考察（施工上の問題点）	23
6.1 制御方法	23
6.2 掘削装置	23
6.3 大型化の検討	24
7. むすび	25
あとがき	26
参考文献	26

ま え が き

東京湾環状道路は、首都圏の自動車交通の便のため計画されている道路で東京湾をとりまく様にして作られる湾岸部、東京湾のほぼ中央部、川崎 — 木更津間を横断する湾央部および湾口を長大橋梁で結ぶ湾口部に分けられる。これらのいずれも多くは技術的問題を抱えているが、特に湾央部は川崎寄りを沈埋トンネル、木更津寄りを橋梁で結ぶ計画でその中間に人工島が作られる計画で、その設計、施工上困難が多い。人工島設置附近の海底には軟弱層が厚く堆積しており、これを大量に掘削除去する必要があるとされている。しかし、作業水深が深いこと、量が多いこと、工期が短いこと、海水の汚濁が許されないこと、附近の船舶航行量が多いことなど難しい条件があり、在来の一般的な工法では施工できないとの判断から、何らかの新しい方法を開発するべきであるとの結論に達した。そこで、昭和46年度から、施工機械の調査を初め、46年度に新しい型の海底掘削機を関東地方建設局、関東技術事務所と共同で試作し、47年度はこれを土木研究所千葉支所構内の人工池に於いて予備実験を行ない、更に同年秋、千葉港内の海底に於いて掘削実験を行なった。この報告書は、その開発の経緯、機械の仕様、海上の実験の結果などについてとりまとめたものである。

1. 海底掘削機の型式

1.1 施工条件

東京湾環状道路の人工島のための海底掘削の施工条件として次のように考えた。

- 1) 掘削深度 海面より - 30 m の海底から更に 20 ~ 30 m 掘削する。
- 2) 掘削能力 一案として 1 つの人工島で 6,000 万 m³ を 2 ケ年で掘削することが提案されている¹⁾。
これによると 250 万 m³/月、14 万 m³/日となる。しかも掘削現場は 2500 m × 400 m という狭い場所になるので 1 台当りの掘削能力はできるだけ大きくすることが望ましい。ただし今回の試作機は試験機であるので、掘削能力はあまり論じないこととした。
- 3) 海水汚濁 海洋汚染防止法の施行にともない、掘削場所・土捨て場共に汚濁についてきびしい条件が与えられることになった。掘削時の攪拌などをできるだけ少なくすることと、土捨て場での濁水量を減ずるためできるだけ高い濃度（高含泥率または低含水率）で施工することが望ましい。
- 4) 土質 掘削対象となる海底表土は、軟弱な粘土またはシルト層で N 値は 0 ~ 4 である。施工上の安全性から見ると一部締った砂層の施工も考えて N 値 15 程度までの掘削は考えておくべきであろう。
- 5) 捨土 掘削土の処理に関してはまだ明確な方法が決められていない。一案として富津北の埋立て予定地に捨てることが考えられている。ここは掘削位置より 20 km 以上離れており、船による海上輸送が効率的であるとされている。¹⁾

1.2 海底掘削機の型式の選定

現在までに海底掘削機械として使われている方式を掘削、揚砂に分けて示したものが図-1、図-2 である。²⁾ これには最近開発されつつある方式、特に軟岩掘削などが含まれていないが、固結度

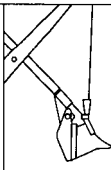
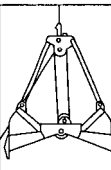
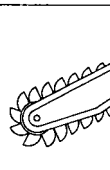
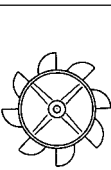
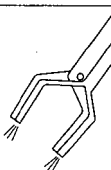
	機械的断続掘削			機械的連続掘削			流体掘削	
案								
掘削	ディッパー	ドラグライン	クラムシェル	バケットラダー	ロータリーカッター	バケットホイール	ジェット掘削	サクシヨン
適応地質限界	やゝ締った砂礫層			締った堆積層及び軟岩			ルーズな礫層又は泥砂層	

図-1 各種海底掘削システム

機 械 的 断 続 揚 砂			機 械 的 連 続 揚 砂		流 体 連 続 揚 砂			
業 種 (泥)								
揚 砂	ディッパー	ドラグライン	クラムシェル	バケットライン	コンベア	サクシヨン	エアリフト	ジェットリフト
界 限	アームの長さ ＜ 30 m	巻き上げ速度, ワイヤ ロープの重量		ラダー又はパイプの長さ				
		掘 削 土 砂 の 流 出		約 60 m	非常に短い	管内摩擦損失		
適 応 深 度	安定した作 業足場を必 要とする			剛体のラダー又はパイプを用いる				
				フレキシブルホースの場合は位置の設定が不安定				

図-2 各種揚砂(泥)システム

の低い土に対する方法は網羅されている。対象とする土質は掘削に対してそれ程大きい問題を持たないので、技術上の問題点はむしろ揚砂にある。揚砂方式のうち深さの面から可能性のあるのはグラブを使う方式と水流パイプを使う方式である。グラブ方式は、最近大型化が進んでいるが、能力的には現在ある最大グラブ（10 m³）の数倍ないし10倍の大きさのものが必要とされ、グラブそのものの大型化より関連機器の開発が問題となる。したがってこの方式については、実験的問題より設計・試作の面の問題が多いと考えられ、試設計などを通じて別途検討をすることとした。そのほか、グラブ掘削能力の推定に大きい影響を与えるグラブのつかみ効率が大型化、高深度化に伴ってどう変化するかという問題や、掘削現場の汚濁防止対策などが問題点として挙げられている。

水流を使う方式には、ポンプサクシヨン、エアリフト、水ジェットエジェクタ³⁾の3方式がある。ポンプサクシヨン方式はサクシヨンヘッドが実用上6 m（水柱）程度しか得られず、ポンプを水面スレスレの位置においたとしても、管路抵抗、砂の混入による泥水の単位体積重量の増加などにより、有効な水深は23 m前後とされている。これ以上の水深で作業する場合は、ラダー上に水中ポンプを取り付けてこれでブーストしてやる方法がとられている。エアリフト方式は水深が深い方が有利になる方法であるが、水平輸送ができない欠点があり、掘削場所を少しずつ変えていく必要のある今回の場合には、海上設備の移動が必要となる難点がある。エジェクタ（ジェットリフト）方式は、水深や水平移動に対する制約は少ないが、動力効率が低いので今回のような大土量用に対してはコスト的に不利になる。水流による土砂の輸送では含泥率（泥水中に含まれる土砂分の重量比）が重要な指数となる。輸送力を増すためには、全体の流量を増すより含泥率の増加の方がはるかに有利になるからであり、かつ汚濁の面でも、同じ土砂輸送量に対し泥水量が少ない方が有利になる。含泥率はポンプ船で10 %前後、良くても15 %どまりとされており、エアリフトでは短時間には高濃度を出した例はあるが連続的にはポンプ船の値を下まわるデータが多い。エジェクタ（ジェッ

表- 1

各種の管路輸送方式の得失

項 目	ポンプサクショ ン	水中ポンプブースタ	エ ア リ フ ト	エ ジ ュ ク タ
能 力	大	中	中	小
深 度	23 m以浅	30 m以浅	制 限 な し	制 限 な し
動 力 効 率	高 い	高 い	やゝ 低 い	低 い
含 泥 率	中	高 い	中	低 い
機 構	やゝ 簡 単	やゝ 複 雑	簡 単	複 雑
大 型 化	可		限 度 あ り	困 難

ト)では泥水中に清水流を吹き込むという機構上、含泥率が低いことは止むを得ない所であろう。

以上のことを総合的にすると表- 1 のようになり、水中ポンプ方式が最も有望と考えられたのでこの方式を検討することとした。

掘削方式については、この揚泥方式に最も合うのは水ジェットと考えられたが、汚濁の恐れが大きく、土砂の固結度に対し、特に軟かい土に対する広い適応性にも疑問があったので、採用を断念した。汚濁が少なく、かつ高濃度の泥水を定常的にポンプに供給するミキサの役割りも考えて、スクリー形のオーガによる方式を採用することとした。

水中ポンプ方式とした場合、問題となるのはその本体部の保持方法である。大型化・高深度化を考えると本体を船舶から支持する方式には困難が多いので、支援船とは縁を切った水中走行形とすることにした。この方式のものには水中ブルドーザや、クローラ式の水底掘削機⁴⁾の例があるが、水底地盤の軟弱なため、十分な自走力が得られ難いこと、位置コントロールがむずかしいことから海底を自由に歩く方式をやめ、スキッドを使用して海底をすべらせるけん引式のものを考えた。補機の駆動部分は、水上におくことも考えられたが、すでに大口径掘削機の開発で得た知識から、これも水中に沈め、水上は、動力供給とコントロール部分を残すだけの方式とした。

軟弱におけるスキッド接地圧調整の便と海底からの引き上げ時のため、4分割した空気室を設けフロートとした。4室の空気圧調整により姿勢（傾斜）制御も可能である。

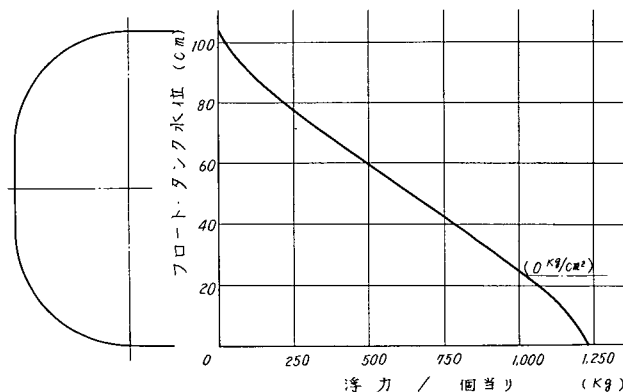


図- 3 空気量による浮力の変化

2. 本機の構成と各部構造

2.1 作業体制の構成

全体の作業体制は、施工現場の状況や施工方法によって多少異なるが、基本的には掘削機本体のほかに① けん引用巻き取り、巻き戻し装置 ②運転制御装置 ③電源設備 ④空気圧縮機 ⑤送泥ホース ⑥電源および操作用、計器用多芯ケーブル ⑦土運船（海上投棄の場合は不要）から構成される。

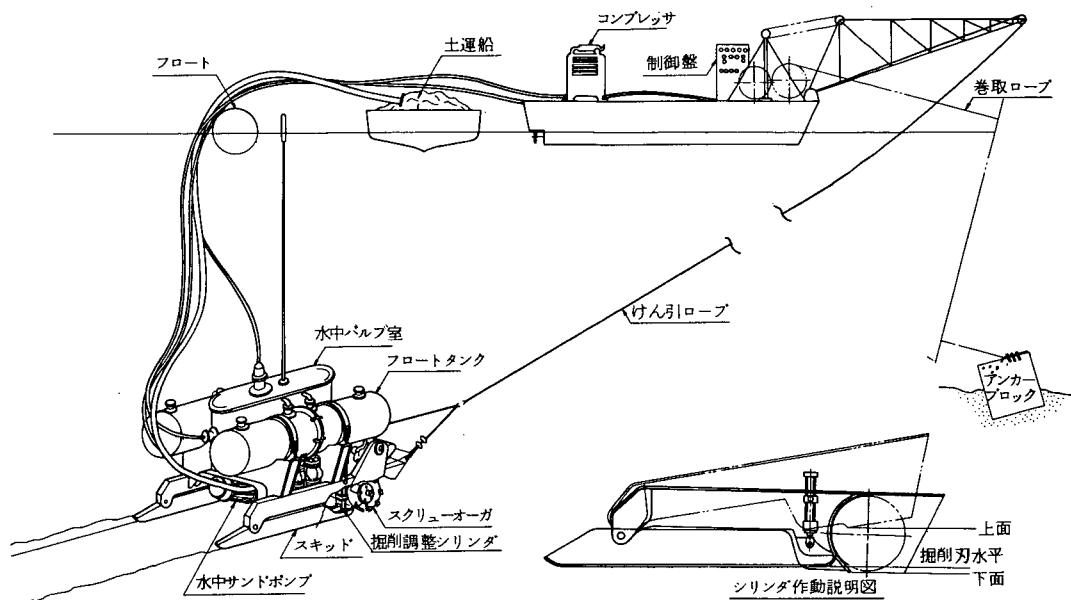


図-4 海底掘削機による作業要領図

また水中本体部と水上部の連結は次によって行なわれる。

- (1) 掘削泥砂を水上まで運ぶフレキシブルホース（排泥管）または鋼管。
- (2) 圧油発生、ポンプ回転用動力ケーブル。
- (3) 計器信号用および電磁バルブ等の操作用ケーブル。
- (4) 水中機械室およびフロートタンク用送気ホース。
- (5) けん引用ワイヤロープ。

2.2 掘削機本体の構成および構造⁵⁾

この掘削機は丁度ロータリ除雪車の足廻りをスキッドに替えて、水中に入れた形式のもので、以下によって構成される。

- (1) 本体フレーム：水中機械室、フロートタンク、水中ポンプ、油圧シリンダ等を取り付ける、掘削機としての骨格となる。
- (2) 水中機械室：操作用電磁弁類、姿勢制御用換信器、作動用圧油発生装置およびオイルタンクを内蔵し、気密を保ち、作業中は常時一定空気圧の供給を受ける。

(3) フロートタンク（４室）：本機の昇降および保持，本体姿勢制御およびタンク内の水位による水中重量の変化で接地圧の調整を電磁弁などによって行なう。

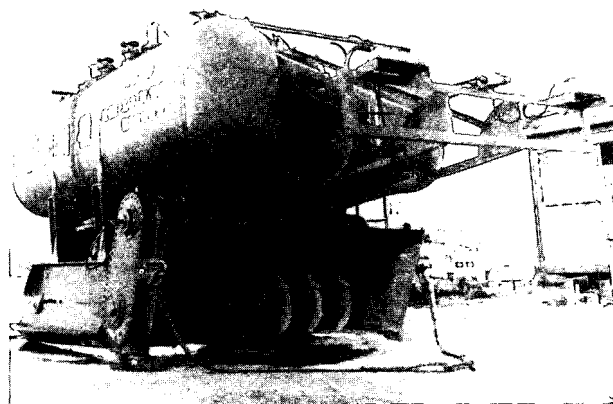
(4) スクリューオーガ形カッタ：掘削対象の推積層を平担に掘削し，吸込口に集土するとともに，泥水を混合し，濃度（含泥率）の均一化を図る。

(5) 水中ポンプ：掘削土砂の揚泥および搬送を行なう汎用の水中サンドポンプを用い電動機を１ランク大きくした。

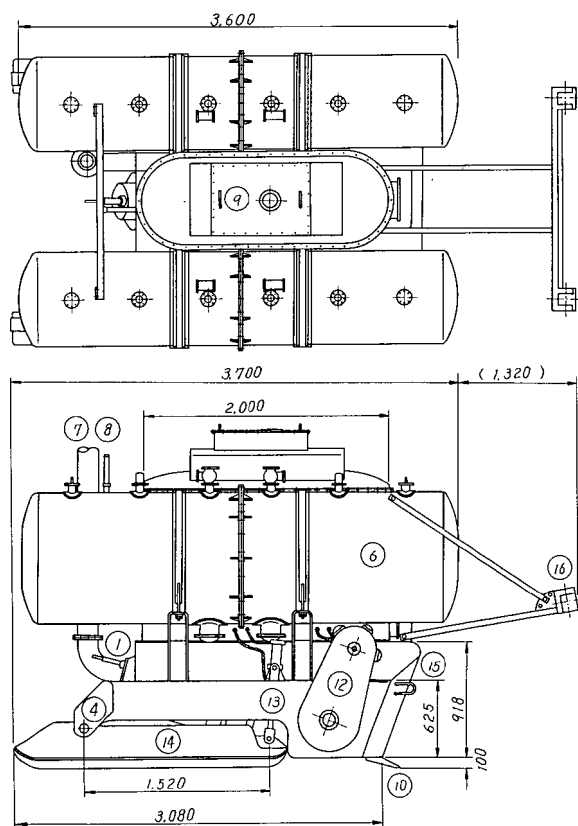
(6) スキッド（２組）：水中本体支持および掘進方向規制と安定を兼ねている。

(7) 油圧シリンダ（２組）：カッタ食い込み量調整および過負荷時の本機の脱出。

図－５に掘削機本体構造図を，写真－１に掘削機本体を，表－２に仕様をそれぞれ示す。

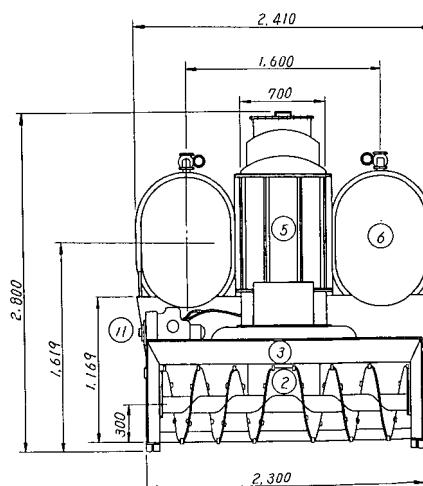


写真－１ 海底掘削機水中本体



N0	名 称	規 格	N0	名 称	規 格
1	水中サンドポンプ	DP-50.37 [※] 6"	9	点検蓋	
2	スクリューオーガ形カッタ	600 ^φ ×300 ^φ ×2,000 ^φ	10	サイドカッタ	ケーシング掘削
3	オーガ用ケーシング	325 ^φ ×6×2,100 ^φ	11	油圧モータ	カッタ駆動用
4	本体フレーム	鋼製スキッド形鋼板溶接	12	チェーンケース	RS 100
5	水中機械室	700 ^φ ×2,000 ^φ ×1,310 ^φ	13	油圧シリンダ	80 ^φ ×300 ^φ 4SL
6	フロートタンク	4室隔壁形	14	スキッド	250 ^φ ×2,400 ^φ
7	排泥ホース	150 ^φ フレキシブルホース	15	引引用金具	19 ^φ 丸鋼
8	エア供給ホース	1"ゴムホース	16	超音波測深器	孔壁用

* 単位：mm



図－５ 海底掘削機水中本体

表- 2

海底掘削機仕様表

型 式			被 け ん 引 式 水 中 駆 動 形
性 能	揚 水 量		3 m ³ /min (揚程 25m時)
	含 泥 率		60 % (最大)
	掘 進 速 度		0 ~ 3 m/min
	掘 削 深 度		2 ~ 60 m
	有 効 掘 削 幅		2,300 mm
主 要 諸 元	本 体 重 量		6,500 kg
	本 体 寸 法	全 長	3,700 mm
		幅	2,410 mm
		全 高	2,800 mm
	水 中 ポ ン プ	型 式	東洋電機 DP-50 (揚泥用)
		出 力	37 kw
	電 動 機	型 式	全閉外扇形 (油圧駆動用)
		出 力	22 kw 6 p
	油 圧 ポ ン プ	型 式	川崎重工, BZ 720 (可変容量形)
		作 動 圧	150 ~ 250 kg/cm ²
		油 量	50 ℓ/min
	油 圧 モ ー タ	トルク	350 kg-m (最大)
		回 転 速 度	0 ~ 400 r.p.m
	油 圧 シ リ ン ダ	推 力	4,000 kg
		作 動 圧	150 ~ 200 kg/cm ²
		内 径 × 行 程	80mmφ × 300mmh
	スクリーカッタ	径×ピッチ×全長	600mmφ × 300mmp × 2,000mmℓ
		(エッジ付)	600mmφ × 500mmp × 2,000mmℓ

3. 作動および施工法

3.1 空気系統

空気は水中本体部の機械室封気用およびフロートタンク用の2系統に供給され、フロートタンク用は更に、前後左右の4室へ分割される。

- 1) 機械室系 図-6より水中機械室には減圧弁③④を通して常時一定圧の空気が供給されており、全制空気はチェック弁③⑥およびフィルタ③⑦を通して水中に常時放出される。減圧弁は水圧より高い圧になるように調整しておく。電磁弁③⑤は何らかの原因で機械室に水が入った場合に、操作盤上の警報ランプによりオペレータが緊急に空気を注入するためのものである。
- 2) フロートタンク系 フロートの作動は4室共同様の目的、構造のものであるからフロートNo.1を例にとって述べる。

まずフロート内の空気は吸入、放出、保持の3つの基本動作より成る。すなわち電磁弁（以下弁と呼ぶ）③⑥-①をonにし、弁③⑥-①（気動弁③⑥-①が閉じる方向に作動する弁）をonにし、弁③⑥-①をoffにしてタンクに空気を供給する。またこのまま弁③⑥-①、③⑥-①をoffにすればタンク内の空気の出し入れがなく、保持の状態が得られる。更にこの状態から弁③⑥-①をonにすれば、気動弁③⑥-①が開き、タンク内の空気は抜けて水が入ってくる。

以下に述べる組合せによって基本動作が行なわれる。

a) 給気（吸気）

弁③⑥-①	on	弁③⑥-①	off
-------	----	-------	-----

b) 保持

弁③⑥-①	off	弁③⑥-①	off
-------	-----	-------	-----

c) 給気（排気）

弁③⑥-①	off	弁③⑥-①	on
-------	-----	-------	----

また弁③⑥-①は気動弁であって、この操作用電磁弁として6ウェイの3ポジションの弁であっても原理的には同様である。

3.2 油圧系統

圧油はスクリーオーガ用と油圧シリンダ用の2系列の油圧源から供給される。

1) スクリーオーガ形カタ系

カタの駆動はチェーン減速機構を介し、油圧モータで駆動されて水中使用に十分耐え得る構造のもので、制御盤において電磁スイッチの遠隔操作により、電磁弁⑩を開閉することによって行なわれる。

カタの回転速度は可逆回転のパイロットモータ④を駆動し、可変流量形油圧モータの流量を調整して任意に選定することができる。またカタが過負可状態になると回転が減少または停止し、油はリリーフ弁⑧を通じてチェック弁⑬を介して油圧タンクに戻る。

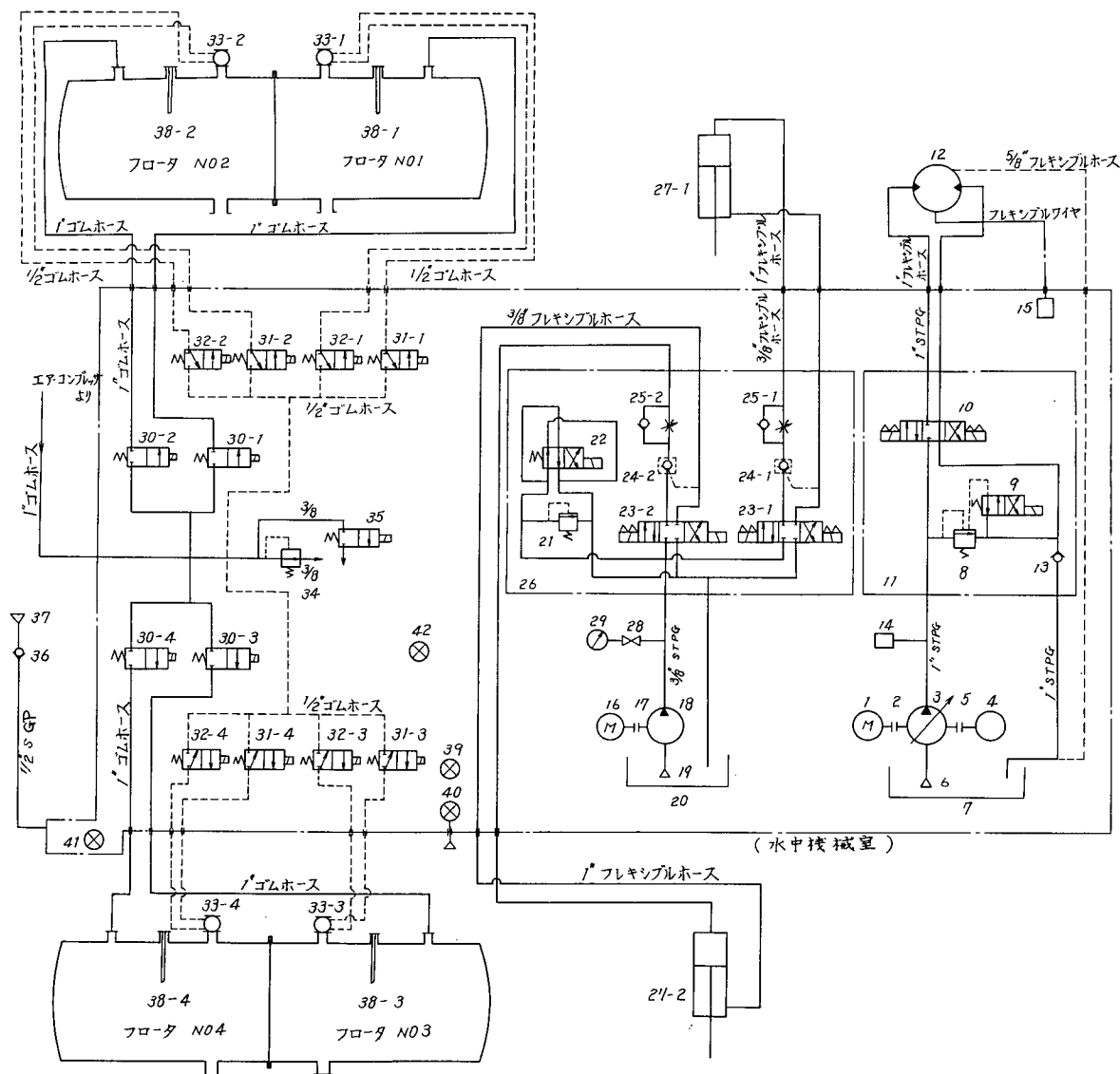


図-6 海底掘削機油圧, 空圧系統図

42	X-Y傾斜計	1	
41	室内レベルスイッチ	1	
40	水深計	1	
39	室内圧力計	1	
38	レベル計	4	電気式フロ-タ用
37	フィルター	1	
36	チェックバルブ	1	1/2"
35	ソレノイドバルブ	1	3/8"
34	減圧弁	1	3/8"
33	アクチュエータ付ボールバルブ	4	50φ
32		4	1/2"
31		4	1/2"
30	ソレノイドバルブ	4	1/2"
29	圧力計	1	
28	ストップバルブ	1	
27	油圧シリンダ	2	80φ 300ST
26	マニホールド	1	
25	フローコントロールバルブ	2	3/8"
24	オペレートチェック弁	2	3/8"
23		2	3/8" ダブルソレノイド
22	ソレノイドバルブ	1	3/8"
21	リリーフバルブ	1	3/8"
20	オイルタンク	1	
19	サクションフィルタ	1	
18	油圧ポンプ	1	ギヤポンプ 11.8ℓ/min
17	チェンカップリング	1	
16	モータ	1	1.5KW 4P
15	電気式回転計	1	DC タコジェネレータ
14	圧力変換器	1	200 kg/cm ²
13	チェックバルブ	1	1"
12	油圧モータ	1	
11	マニホールド	1	
10		1	1" ダブルソレノイド
9	ソレノイドバルブ	1	1"
8	リリーフバルブ	1	1"
7	オイルタンク	1	
6	サクションフィルタ	1	
5	チェーン	1	
4	パイロットモータ	1	40 KW
3	油圧ポンプ	1	可変型 50~0ℓ/min 210kg/cm ²
2	チェンカップリング	1	
1	モータ	1	22 KW 6P
区分	品名	数量	備 考

2) 油圧シリンダ系

前に述べたスクリーカッタとほとんど同様であるが、2組のシリンダは個々、または同時作動が可能な独立懸架方式である。本体の姿勢制御脱脚およびカッタ食い込み量調整用で座屈を考慮して左右のスキッド上に取り付けられている。

図-6に油圧、空圧系統の配管、配線図を示し、図-7には水中本体の制御関係配線図を示してある。

3.3 海底掘削機による施工法

施工方法については現場の条件によって色々な方法が考えられるが、ここでは一般的にアンカーを有する船などに設置されたウインチによるけん引方式を一例として述べる。

まず、水上設備は水中本体制御用操作盤、空気圧縮機、発電機等から構成され、施工方法によっては、これらの

設備を台船上に設けるか、または水上作業足場上に設置する。掘削対象物である推積土砂をスクリーオーガ形カッタで掘削集土し、土砂と水の混合流を水中サンドポンプに受けて、排泥管（またはホース）を経て水上へ排出するもので、掘進は図-4に示すようにアンカーを有する船でウインチを巻き、けん引しながら前進し、掘削負荷の調節は掘削機本体のフロートタンク内の空気量調整および油圧シリンダによる、食い込み量の調整により行なわれる。

運転操作は次の通りである。

- (1) フロートタンクに空気を充満した状態で浮上保持させて現場に曳航した後、配管配線を行なって操作盤において電磁パルプ類を操作してタンクに水を入れて沈降させる。
- (2) 本体が水平になるように傾斜指示計を監視しながら、4つのフロートタンクの空気量を調整して作業姿勢にする。（図-5、6、7ではフロートタンクが左右2個示してあるが、各タンクは前後2室に区切られている。）
- (3) 水中ポンプを作動させ、水が排泥管（吐出側）より出るのを確認した後カッタに回転を与える。
- (4) 排水の濃度が適量になるように油圧シリンダのストロークおよびけん引速度を加減することによって掘削量を調整しながら掘り進む。

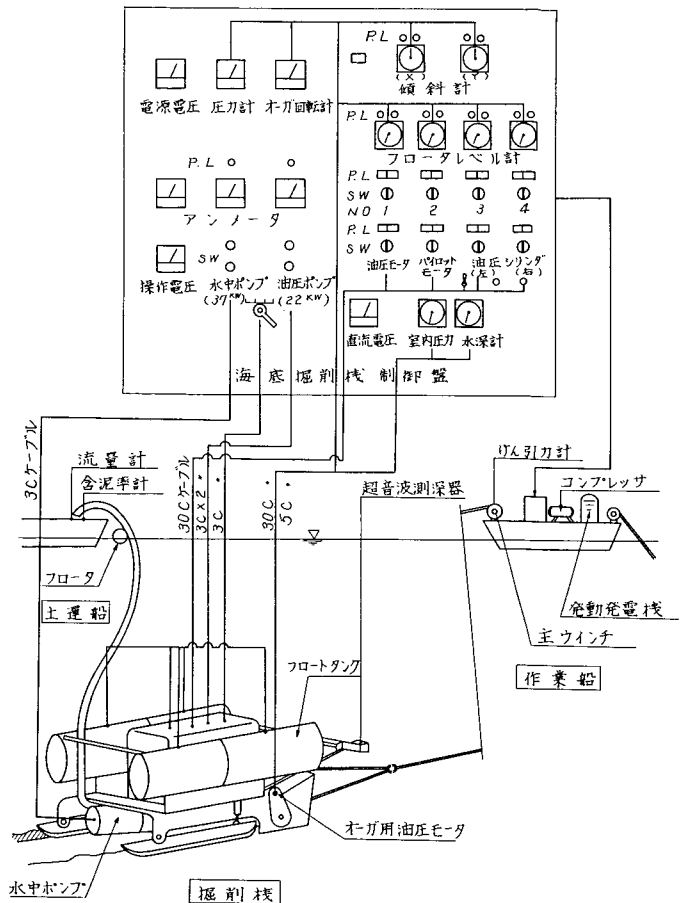


図-7 水中本体制御関係配線図

(5) 1 掘削行程を終了すると同時に、フロートタンクに空気を送ることによって本体を浮上させ、保持状態にして後進、または移動して1サイクルを完了する。この作業を繰り返す。

なお、後進用ウインチによって、高深度の場合は浮上させずに、接地圧を下げて水底を引き戻す操作を行えば、更に効率的になる。

4. 掘削試験および試験結果

本機は46年度に製作を完了し、47年6月に土木研究所千葉支所構内建設機械性能試験場にある実験水槽において、各部の作動確認のために試験を行ない、その後一部に改良を施し、同年10月に東京湾内である千葉市川崎町地先の千葉港付近の埋立用地で、海上における掘削試験を東京湾岸道路調査事務所と共同で実験を行なった。

4.1 構内作動試験

製作した試験機の機能試験と施工法や計測法の確認のために、土木研究所千葉支所構内に人工池を作り作動試験を行なった。

実験に使用した池は関東ローム層に長さ30m（有効掘削延長20m）、幅10m、水深3mの穴を掘り、水を満したもので、底にルーズな関東ロームを20～30cm まき出した状態および地山（関東ローム、N値15～20）の2種類の掘削を行なった、図-8に実施機器の配置図を示す。

測定項目および測定方法は次の通りである。

掘削土量：掘削機本体前方に下向けに超音波測深器（光電製作所、SRM-685）を取り付け、掘削の前後で縦断面を測定した。測定精度は悪く、実用性は少なかった。その他含泥率と泥水流量からも計算で求めた。

揚水量：泥水流量は電磁流量計（横河電機MFP型150mmφ、 $5.32\text{m}^3/\text{min}$ ）を用いて計測した。

含泥率：サンプルを取り沈澱させて計測した。な

お、この方式は変動に応じ切れず、また精度も良くないので、土研式含泥率計を開発した。（第5章参照）

所用けん引力：ワイヤストレーンゲージ式張力計（新興通信LT、5Ton）によりロープ張力を求めた。

掘削実験はカット回転速度26rpm、けん引速度2～4.5m/minで行ない、含泥率10%前後、施工能力最大 $100\text{m}^3/\text{h}$ （ルーズ）の結果を得て、実用性のあることが確認された。その際、数項目の要改善箇所が見出された。それらを表-3に示す。これらの所点を47年7月～9月に改善し、海上実験を実施した。

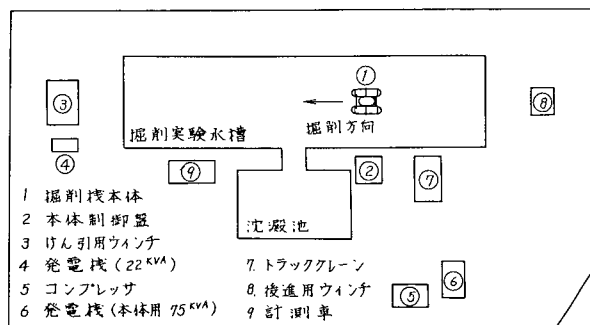


図-8 構内作業配置

試験場所：土木研究所構内

(始) S. 47 年 6 月 9 日

試験期日：(終) S. 47 年 6 月 17 日

表 - 3

構内作動試験結果

分類	試験内容	試験方法および測定器	試験結果	改良方法	摘要
検 定 (陸上)	本体傾斜計	クレーン, 指示計, 角度計	指示計との誤差が大きい	精度の高いものに変換	(X-Y 方向)
	カタ回転計	指示計, ストップウォッチ	指示誤差は無い	回転範囲を大きくする	(回転速度に同じ)
定 置 試 験	油圧シリンダ	角度計, ストップウォッチ	作動は良いが, 食い込み量が少ない	食い込み調整代をつける	(独立懸架方式)
	本体浮上保持	ストップウォッチ	やゝ浮力不足で安定が悪い	タンク容積を増大	(フロートタンク)
	空気充滿時間	"	本体の浮上が鈍い	各操作弁, 配管類を新設	(")
	水充滿時間	"	本体の沈降が鈍い	上記に準ずる	(")
作 業 試 験	地形測定	超音波による後坪測定	掘削水深に問題がある	測定方法を変える	(水底地形測定)
	含泥率測定	メスシリンダによる部分サンプリング	測定誤差が大きい	測定装置を製作する	(開発)
	本体傾斜調整	制御盤指示計	本体姿勢が不安定 左右の傾斜調整が不良	精度の高いものに変換	
	揚水量測定	電磁流量計電圧指示	良好	現状	
	けん引力測定	ロードセル直読計	良好	作業現場によってはワイヤドラムの改造を要す	
	けん引速度	電圧指示計, ストップウォッチ	ワイヤドラム巻数によって変動となる	ワイヤロープ誘導輪に接点をとる	
	カタ回転速度	制御盤電圧指示計	回転数が低い	減速比を小さく変更する	(26 r p m ↓ 35 r p m)
	カタ駆動馬力	制御盤油圧指示計	油圧, 指示計不良	メーカー側にて再調整	
	フロート室内水位	制御盤水位指示計	作動不良	精度の高いものに変換	
観 察 そ の 他	スキッド	_____	接地圧, 掘進方向性が悪い	形状を変更する	(断面 V 形状)
	オーガケーシング	_____	食い込み量の補助	左右に爪を取り付ける	(各 2 個)
	吸込口形状	_____	異物の混入処理	スクリーン取り付ける	(50mmφ 前後)
	本体水深位置	_____	位置確認不明	水深計の新設	
	水中機械室	_____	内蔵機器の不安定性	圧力計の新設, 確実な空気圧に調整可能なもの	

※ N 値 15~20 関東ローム 水深約 3 m

4.2 海底掘削試験の方法

試験区域では深浅測量、軟弱砂層厚および土質試料調査試験の先行調査を行ない、掘削深度-10 m 前後、土質分類はシルト質または細砂でN値 0～15 程度の区域を選定し、前に述べた埋立用地付近に A、B、C の 3 地点を決定した。表-4 にこの 3 区域の調査概要を、表-5 に今回行なった実験工程を示してある。

表-4

海底掘削区域別調査概要

項 目		A 区 域	B 区 域
調 査 場 所		千葉市川崎町地先	
調 査 期 日		昭和47年10月9日～10月21日	
掘 削 幅 (m)		20	
掘 削 距 離 (m)		50	
送 泥 距 離 (m)		約90	
平 均 水 深 (m)		-2.6～-4.5	-7.0～-9.3
土 質 調 査	単 位 体 積 重 量	1.327	1.232
	比 重	2.717	2.671
	圧 縮 強 さ (kg/cm^2)	0.160	0.144
	分 類	細 砂	シルト交り細砂
	N 値	10～15	10

表-5

海底掘削試験工程表

年月日 項目	S . 47 . 10														S . 47 . 11				
		9	⑩	11	12	13	14	⑮	16	17	18	19	20	21		1	2	③	4
運搬および準備																			
各部作動点検																			
A 区 域																			
B 区 域																			
C 区 域																			
後 整 理																			
見 学 会																			
作 業 中 止																			

試験設備としては、台船2隻の上に設備機械および測定のための計測用建屋を各々設置し、別に油圧ウインチを取り付けてある揚錨船2隻を本体のけん引用および後退用に配置した。台船は埋立護岸に、揚錨船は掘削場所の前後70m離れた位置に1隻に対して5個所に投錨を行なって固定をした。掘削機本体の移動（コース変更）は、この揚錨船固定用のワイヤロープの伸縮によって行なった。掘削は同じ位置で数サイクルの排泥作業を排土厚1m程度を目的として行ない、排泥は3区域ともに埋立用地内に吐出しを行なった。1日の掘削作業終了後、掘削機本体はクレーン船を配置して台船上に引き上げて固定した。今回使用した試験設備機器等は次頁の通りである。

1) 設備機械

揚錨船 (230 および 45ps)	2 隻
潜水船	1 隻
曳 船	1 隻
台 船 (30 ton 積)	2 隻
クレーン船 (8 ton 吊)	1 隻
発電機 (115 KVA)	1 台
空気圧縮機 (ポータブル 6 kg/cm ²)	1 台
小型発電機 (AC, DC 用)	1 台
運搬用機械 (本体用 ; トラック, レッカー車 8 ton)	4 台

2) 計測器

制御盤 (水中本体操作用)	1 式
電磁流量計 (150mm ϕ , max 5.32m ³ /min)	1 個
含泥率計 (土研式測定装置 150mm ϕ)	1 式
ロードセル (LT 型 5 ton)	1 個
ペン書きオシログラフ (WTR, 8 ch)	1 台
超音波測深器 (max 2 m)	1 式
海底地形記録計	1 式

3) その他準備品

フロータ	5 隻
吐出管 (150mm ϕ , 鋼管含)	約 90m
球形ブイ (400mm ϕ)	19 個
錨 (2.0, 1.5, 0.5 ton)	10 丁
その他 (溶接機, エアホース, ケーブル, ワイヤ等)	1 式

4) 人員構成

監督員	3 名
作業員 (海技免許所有者 4 名)	12 名
測定員	2 名

図-9 に今回行なった掘削試験現場の見取りおよび使用機器配置図を示す。A, B, C 区域ともに、ほぼ同じ配置であるので主に掘削試験の対象となった B 区域を例に示した。図-10 にこの時の測定記録例を示してあるが、測定項目は次の通りである。

- (1) 揚水量 (泥水流量) ; 電磁流量計 (横河電機製, MFP 型, 150mm ϕ , max 5.32m³/min) による。
- (2) けん引速度 ; けん引用ワイヤロープ誘導輪の回転をマイクロスイッチによってパルス発生による。
- (3) けん引力 ; ワイヤストレーンゲージ式張力計 (新興通信製, LT 型, 5 ton) を用い, ワイ

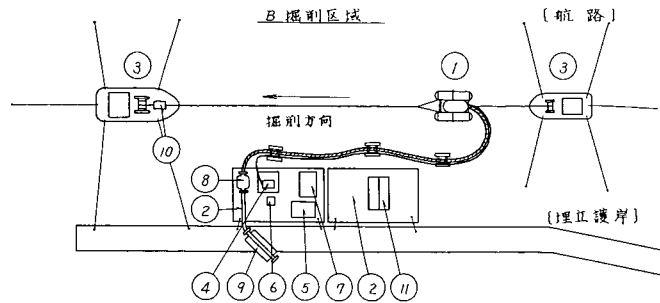
ヤロープの張力を3シーブ法により計測する。

- (4) 含泥率；土研式含泥率測定装置を用い，装置に組込まれたロードセル（共和電業製，引っ張り，圧縮両用L型，50kg）により，土砂混入量を求める。

- (5) 掘削土量；揚水量と含泥率および土砂の密度から計算により求める。

超音波測深器による方法は計測器の測定範囲（最大2m）を越えたことがあったので使用しなかった。

なお，これらの記録は，ペン書きオシログラフによった。なお計測方法の一覧表を表-6に示す。



- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1 掘削機水中本体 | 7 コンプレッサ (7 m³) |
| 2 台船 (3000L, 2基) | 8 電磁流量計 |
| 3 揚船船 (230, 45PS) | 9 含泥率計 (土研式) |
| 4 本体用制御盤 | 10 けん引力計 |
| 5 発動発電機 (115 KVA) | 11 計測用建屋 |
| 6 (AC 用) | その他 クレーン船 |
- 地形測定計器
溶接機

図-9 海底掘削作業配置

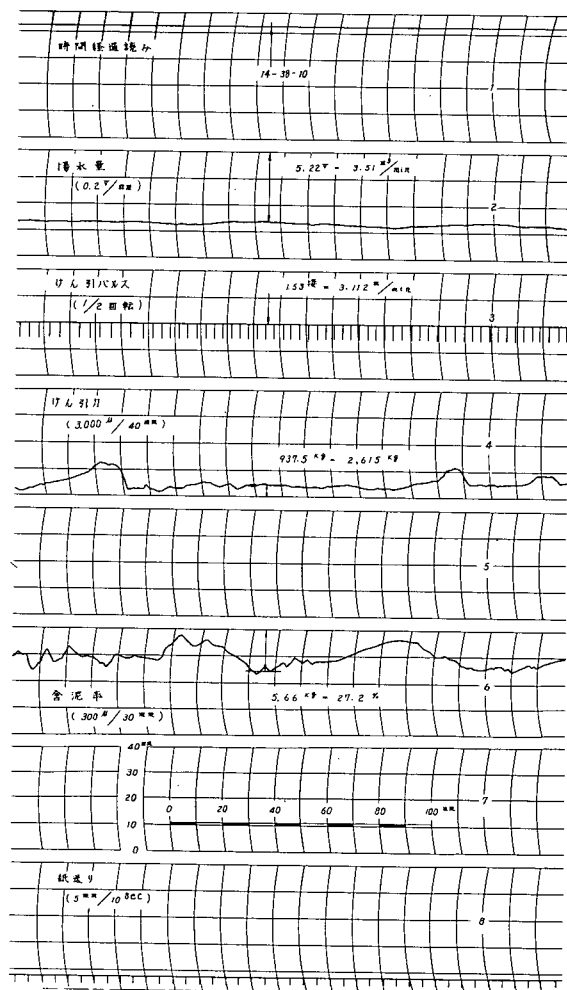


図-10 海底掘削試験における記録例

試験場所：千葉市川崎町地先

試験期日：(始) S. 47年10月11日

— : (終) S. 47年11月2日

表-6

海底掘削試験計測内容と問題

項 目	計 測 器	計 測 方 法	計 測 内 容	備 考
ベ ン 書 き 記 録 計	けん引力	張力計, 直読計 (新興 LT/5t)	けん引ワイヤロープの案内シーフ脚に 取付け, 直読計は操作用	3 ~ 5 ton
	けん引速度	マイクロスイッチ (オムロン製)	上記のシーフ回転数を取り出し, パルスの 記録	3.3 m/min 前後
	揚水量	電磁流量計 (横河, MFP)	検出器の電圧 (V) の記録	3.2 ~ 4.0 m ³ /min
	含泥率	測定装置 (土研式)	装置取付けの張・圧両用ロードセル (共和 LU-50), 比 1:3	20 ~ 35 %
	掘削量	—	揚水量と含泥率および土砂の密度 より算出	30 ~ 50 m ³ /h
	サイクルタイム	記録計タイマ (渡辺リニアコーダ)	沈降 - 掘削 - 浮上 - 後退タイム	20 ~ 25 min (L=30~50m)
制 御 盤 指 示 読 み 記 録	カッタ回転速度	電圧計 (多摩川, DCタコセネ)	水中機械室内蔵の換信器で電圧 (V) を指示	35 r.p.m
	掘削馬力	油圧計 (共和, PG-200)	水中機械室内蔵の換信器で油圧 (kg/cm ²) 指示	作動不良 指示計, ケー ブルの問題
	接地圧	水位計 (リニアックス LF形)	フロートタンク内水位 (cm) を水 中機械室内の発信機で指示	0.09 ~ 0.15 kg/cm ²
	本体傾斜	傾斜計 (リニアックス, KU型)	水中機械室内の発信器にて(度)指示 (X-Y方向)	X方向 +5 ~ +2度 Y方向 -2 ~ +5度 (ピッチング) (ローリング)
	掘削深度	圧力計 (リニアックス, PB-1)	" 水压 (kg/cm ²) の指示	作動不良 取付け位置 の問題
	機械室内圧力	圧力計 (リニアックス, PB-1)	" 空気圧 (kg/cm ²) の指示	" (送気圧 1.5 kg/cm ²) "
専 用 記 録 計	地形測定	プロファイラー (山武, 海底用)	掘削前後の海底地形測定	測定不能
	掘削深さ	超音波測深器 (光電, 側壁用)	食い込み深さ測定	" 障害物発見 に使用

※ N 値 10 ~ 15, 砂質土, 水深 4.5 ~ 9.4 m

4.3 海底掘削試験結果

掘削区域の推積層の変化，異物の混入および水中本体用制御盤と掘進のためのけん引用操作が別系統に分けられていて，一定条件を保つことが困難であったため，データにばらつきが出ている。計測中，掘削条件に明らかな変動要因があると考えられる場合については，データ整理の段階で削除した。海底地盤掘削排泥作業における試験結果を60秒きざみに平均値を読み，これを更に1サイクル毎の平均値としたものを付表-1に，1サイクル内の最大値の集計表を付表-2に示した。

1) 掘削能力 Q

本機の掘削能力は平均 $40\text{m}^3/\text{h}$ で，最高 $72\text{m}^3/\text{h}$ であった。この値を一般のポンプ浚渫船の掘削能力が 37kw のもので $10\sim 15\text{m}^3/\text{h}$ であるのに比べると約3倍で極めて能率が良いことになる。なお掘削能力 $Q\text{m}^3/\text{h}$ の算定は次式で行なった。

$$Q = \frac{\delta \cdot W}{r_m} \times 60 \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに δ : 含泥率(%)

W : 揚水量 (m^3/min)

r_m : 土の単位体積重量

時間当り掘削量とけん引力，けん引速度，掘削断面積の関係を図-11～13に示した。

掘削能力は掘削機の移動速度に当るロープけん引速度(図-12)とは，低い相関度しか見られないが，計算された掘削断面積(図-13，点線は計算式，実線は原点通過とした回帰線)とは高い相関($r=0.68$ ， $n=120$)を示し，早く動かすより深く掘削した方が能率を上げるには有利であることが判明した。本体の水中での接地圧と掘削能力との関係は，相関係数 $r=0.09$ と低く，関係がないと見做された。

掘削断面を大きくするためには，本体を前傾姿勢にさせ，カッタを食い込ませることが必要であるが水中本体の制御盤の指示計をたよりに行なう作業には多少の熟練が必要であった。

2) 含泥率 δ

含泥率および揚水量の測定は排泥管の吐出口付近に検出器を取り付けたために，管路を流れる時間として掘進始めより20～25秒の遅れが出ている。(含泥率算定式は第5章を参照)

含泥率の最高は52%で平均26%であった。実験データ120例のうち15%を割っているのは5例のみで，高濃度泥水を送る試みは成功したといえる。

一般のポンプ浚渫船のデータが平均で10%前後多くても15%といわれているのに比べると極めて高い値となっている。図-14に見られるように，一般に含泥率が増すと揚水量が減少しており，低減もほぼ双曲線的である。これらのデータの中には水深 H が数種類混在しているが，これを一定と見なし，含泥率は流水の単位体積重量 r の1表示であるとすれば $rQH=CONST$ ，すなわち馬力一定の曲線を描くものと考えられ，双曲線を示すことは当然考えられる。この実験では，吐出圧力 H_0 や所要動力の計測ができなかったために，ポンプ能力のどの辺りをういているかが明確ではないが，高含泥率下における管路抵抗，ポンプの適正動力などを知る上から，今後この面の追求が必要となってくる。

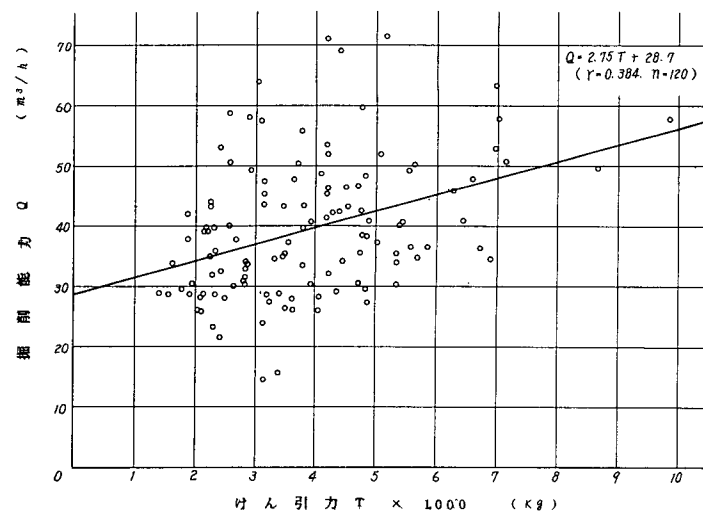


図-11 けん引力と掘削能力の関係

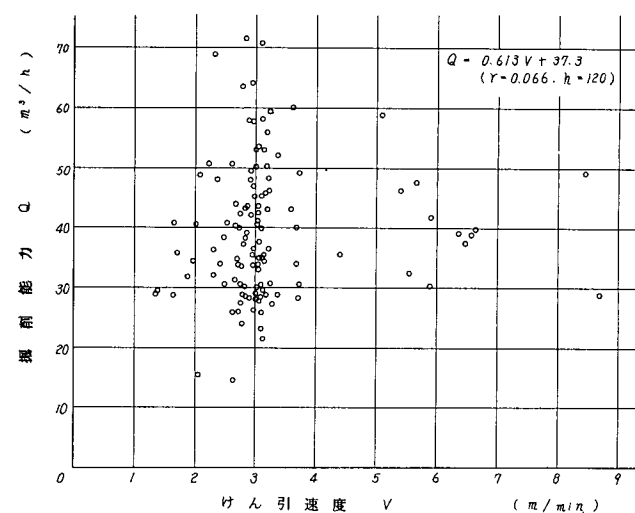


図-12 けん引速度と掘削能力の関係

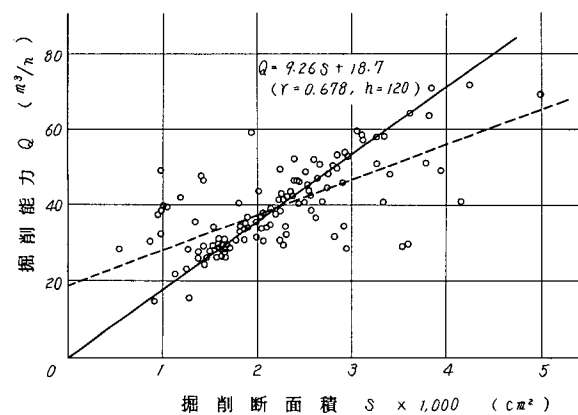


図-13 掘削断面積と掘削能力の関係

3) けん引力 T

けん引力 T の測定は水中本体けん引用揚錨船のウインチ巻き取り装置付近に、3 シーブをおき、中間シーブにかかるカムから次式を用いて算出した。

$$T = L \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \text{ (kg)} \cdots (2)$$

ここに L : ワイヤロープの張力 (kg)

α : ワイヤロープ折れ角 (度)

掘削機を前進させるために必要なけん引力は、掘削機自身の移動抵抗（海底でのすべり摩擦）と掘削に必要な食い込み力に相当する力の合計である。これは機械の水中重量（フロートタンク内水位によって変化する）とスキッド接地面積から計算した接地圧（作業時で $0.06 \sim 0.12 \text{ kg/cm}^2$ 程度であった）とけん引抵抗との相関係数が $r=0.178$ $n=42$ で非常に小さいことから見てあまり大きなウェイトを占めていないものと考えられる。図-15, 16にこの関係を示す。これに対して掘削のために必要なけん引力 T と掘削断面積 S との関係は図-17に示すようにやや相関が高く示された。

掘削断面積当りのけん引力は約 1.7 kg/cm^2 でブルドーザのブレードによる押土抵抗が $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ であることに比べると約半分の値である。掘削能力と所要けん引馬力の間にも $r=0.41$, $n=120$ の比較的高い相関々係（図-18参照）がみられた。

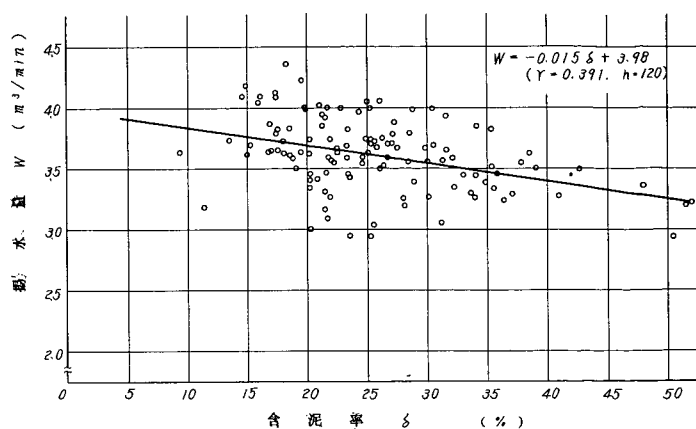


図-14 揚水量と含泥率

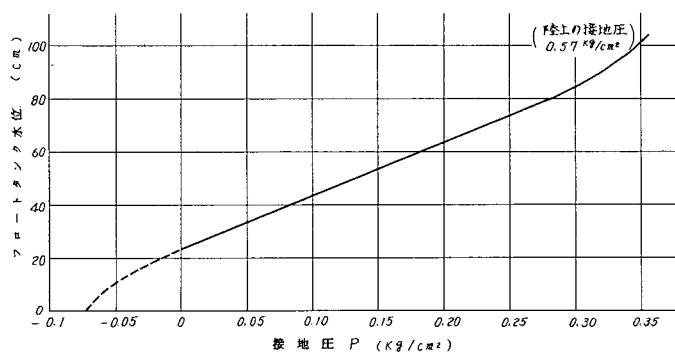


図-15 水中における空気量と接地圧の関係

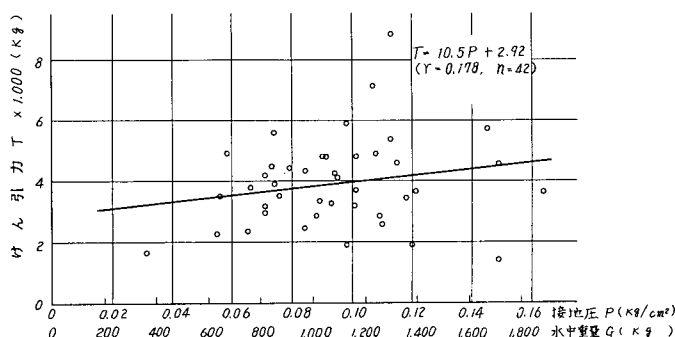


図-16 接地圧とけん引力

今回の海底掘削排泥作業においては、主要値の1つである掘削馬力および掘削トルクに関するデータは、油圧計や取り出しケーブル等にトラブルが起これ測定不能に終わっている。

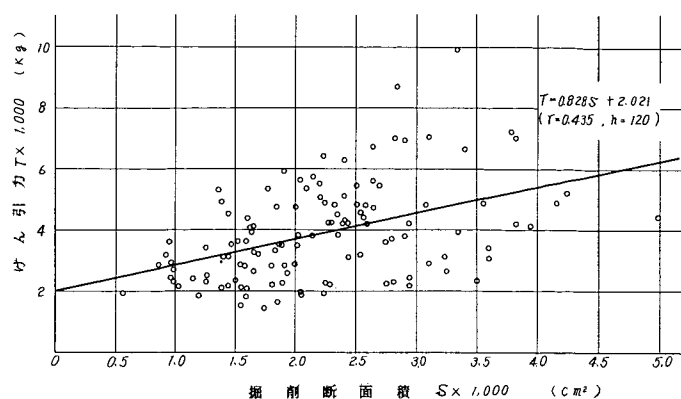


図-17 掘削断面積とけん引力

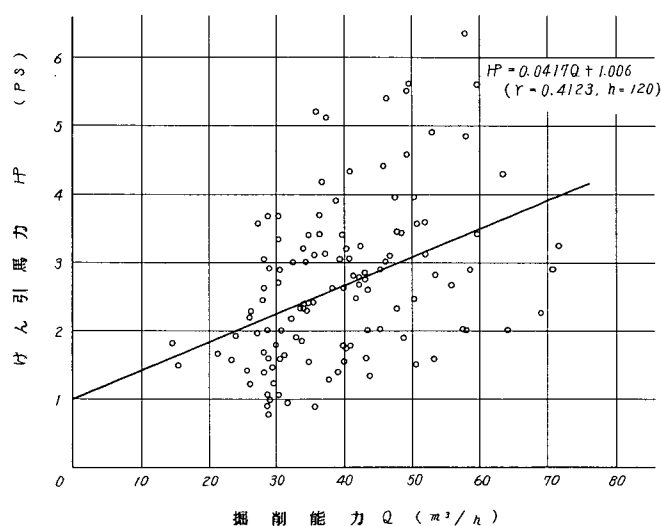


図-18 掘削能力とけん引馬力

5. 含泥率測定装置（土研式）

5.1 含泥率計開発のいきさつ

浚渫工事のみならず泥砂混合流の含泥率の測定に関する需要は多く、これまで種々の含泥率計が考案され試作されているが信頼性において、まだ不十分でわずかにR I（ラジオアイソトープ）を利用した含泥率計などが採用されているに過ぎない。しかしR I方法においても精度が必ずしも十分とはいえず、高価な上にR Iの取り扱いにライセンスが必要なので一般に普及しているとはいえない。直接重量測定方式についても幾種類か製作されているが精度において信頼度が低い。そこでこの方式を改良した含泥率計を試作してみた。

本機の管内泥水の重量を直接計測する方法は、これまでに製作されたものと同じであるが、本含泥率計ではバランスウェイトを用いて水分の重量をキャンセルし、泥分の重量のみ計器にピックアップするところに特徴がある。すなわち在来の重量測定法では泥水全体の重量を読むため、わずかな変化分を取り出すことが精度低下の原因となっていたのに対して、泥分の重さの変動のみを指示または記録させる方法であるから精度において、はるかに優れている。

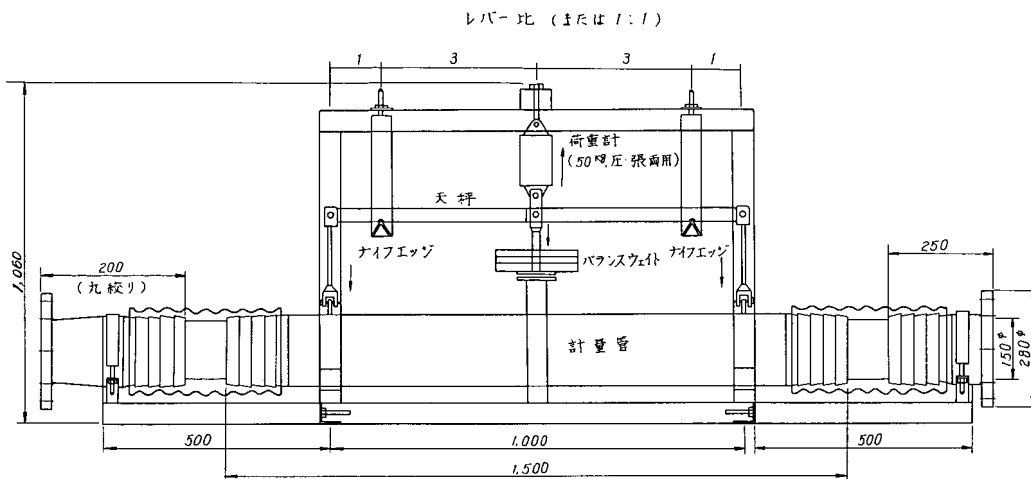


図-19 土研式含泥率測定装置

5.2 構成と原理

本含泥率計は計測しようとする送泥管の途中に設置され、計量管とこれをついているつり棒および天秤、バランスウェイト、荷重計、支持フレーム、可撓性管継手から成っている。

計測調整段階でバランスウェイトを計量管および管内有効清水量に見合う重さに調節し、天秤をバランスさせておく。ここに釣り支点（ナイフエッジ）位置によって管内泥水重量を拡大または縮小して荷重計に伝えることができるが、原理の説明にはレバー比は関係がないので、これを1対1として以下説明する。実際の測定の場合は、荷重計を引張り状態で作動するようにバランスウェイトを調整して行なうが、原理的には荷重計に引張り（+）、圧縮（-）のいずれでも同じであって、この説明ではバランスウェイトが完全に清水が流れている状態でバランスしているものと仮定する。すなわちこの場合、荷重計の指示は0ということになる。

これらの関係を式に表わすと

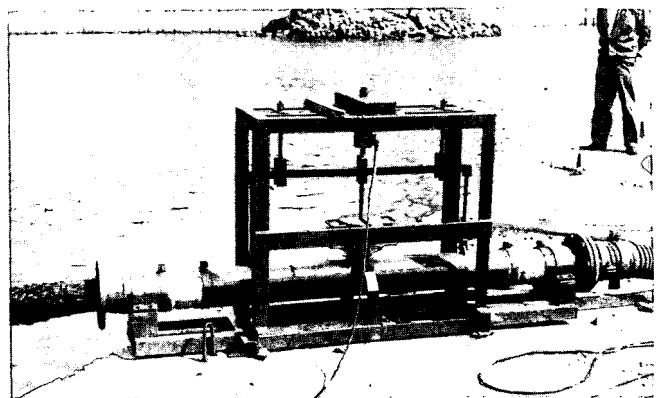


写真-2 土研式含泥率測定装置

$$W_b = W_e + W_p + W_c + W_m \dots\dots\dots(3)$$

ここに W_b : バランスウエイトの重量

W_e : 荷重計の指示

W_p : 計量管の重量

W_c : 清水の重量

W_m : 含まれる泥の重量

としたとき(3)式において、上記の仮定では清水を流したとき、すなわち $W_m = 0$ において $W_e = 0$ ということになる。更に水の単位体積重量を 1 g/cm^3 、泥の単位体積重量を $\gamma_m \text{ g/cm}^3$ として清水を流したとき（これは前もって検定しておく値である。）、その重量から計量管の有効容積を求め、それを V_a とすると、

$$V_a = W_m / \gamma_m + W_c \dots\dots\dots(4)$$

となる。一方泥水重量を W_e' とすれば、

$$W_e' = W_m + W_c \dots\dots\dots(5)$$

となり、(4)、(5)式から W_c を消去すると、

$$V_a = W_m / \gamma_m + W_e' - W_m = W_e' + W_m (1 / \gamma_m - 1) \dots\dots\dots(6)$$

となる。これより

$$W_m = \frac{V_a - W_e'}{(1 / \gamma_m - 1)} \dots\dots\dots(7)$$

含泥率 δ を重量比で表わすと

$$\delta = \frac{W_m}{W_e'} \dots\dots\dots(8)$$

となり、(7)式より

$$\delta = \frac{\gamma_m}{\gamma_m - 1} \left(\frac{W_e'}{V_a + W_e'} \right) \dots\dots\dots(9)$$

となる。(3)式において計量管重量 W_p は空中重量測定で求められるので、荷重計の読みから泥水の重さ W_e' を求めることができ、泥の単位体積重量 γ_m 、計量管の有効容積 V_a から(9)式により含泥率 δ が求まる。 V_a は有効計量管容積を与えるものであるが、計量管の容積だけではなく、可撓性管の一部も含まれるから、測定時において前もって計量管重量および清水を流した時の重量をそれぞれ計量して求めておく必要がある。

なおこの場合荷重計はストレインゲージ式のロードセルのような荷重による変位が無視できるものが望ましい。

5.3 含泥率計の精度

試作した含泥率計の精度測定を室内実験で2種類行なった。1つは清水を流した時の流量変化による示差測定で、図-20の結果が得られた。この流量範囲では誤差は最大1.7%で良好であった。他の方法による精度の良い含泥率測定ができなかったので、含泥率の検定として清水を流している

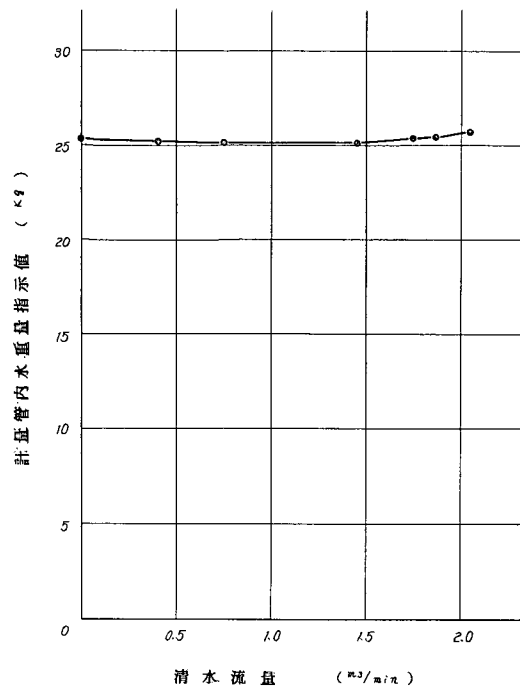


図-20 清水流量と計量管内水重量

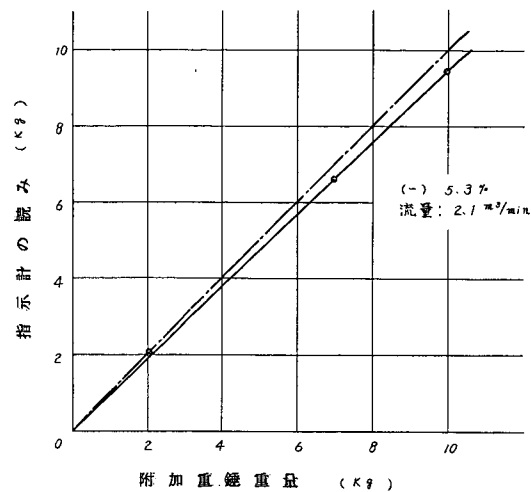


図-21 含泥率計における流水の重量変化と指示値

状態で、砂に相当する重錘を計量管に乗せた時の指示値を読んだ所図-21の結果を得た。これによると指示値は-5.3%とやや低く出ることが判明した。これは各部の摩擦抵抗が影響しているものと考えられ、補正が必要であるが、本機ではレバー比の製造誤差が4%ありこれと相殺される形となっている。

6. 考察（施工上の問題点）

建設工事、特に海上工事に使用される建設機械は、時間単位の施工能力も大切であるが、機械使用上の容易さ、整備などのデッドタイムの少ないこと、故障しないことといった施工性および信頼性が重要な要素となり、長期間をとった場合の施工能力にも影響を及ぼすことになる。この機械はこの点を当初から考慮に入れて製作したものであるが、なお2～3の問題が残された。これを以下に述べる。

6.1 制 御 方 法

制御は位置制御と姿勢制御の2種類に大別される。前者は結局掘削地の仕上げの問題になり、後者は主として作業能力に関与する。

位置制御の精度は掘削位置確認の精度となる。掘削位置は平面的な位置と深さの2つに大別される。この機械は自由に移動できる水中ブルドーザのような機械に比べると平面位置の確認ははるかに容易である。実験では比較的深度が浅く、掘削機からポールをたててそれによって位置を確認したので、特に問題はなかった。深い場合はけん引ケーブルの移動量をベンドシーブ等の回転から取り出して、インジケータで指示することが考えられる。横方向については、ケーブルで規制されているので、アンカー船の浮動がなければ問題はないと考えられる。1ストロークの掘削延長を長くする場合や非常に深い場合は掘削幅（2.3 m）以上変動が生ずる恐れはある。

掘削深さの制御はかなりむずかしい。材料採取のように現地盤を掘れば良い場合を別として多くの場合は、掘削後の形状が指定される。その場合カット位置（深さ）の検出が必須となる。現在の方法では、後述の姿勢制御と超音波測深器をうまく使いこなせば、海底面からの食い込み量は検出できそうであるが、掘削と共に変化していく海底地盤を正にすることは無意味で、高い精度の水圧計（水深計）が必要となるが、現在の所適当な測器が見つかっていない。それと同時に掘削あと坪の正確で簡便な測量方法の開発が必要である。

姿勢制御は、主として傾きの検出に左右される。前述のようにこの実験では掘削機から高く海面まで出したポールを用いていたので、それによって傾きもある程度目視できた。傾斜計も取り付けであるが、そのインジケータにより姿勢を判断し、フロートの水位や油圧シリンダで、機械の傾きをコントロールするにはかなりの熟練が必要である。

欲をいえば、最近の航空機の一部に見られる傾きのグラフ表示方法が望ましい。また掘削機前方に取り付けた超音波測深器は、掘削深さを検出するのに有効な方法ではあるが、本体の傾斜による補正が必要で、これもリアルタイムで補正できる計算回路が欲しい所である。

6.2 掘 削 装 置

スクリュオーガ形の掘削装置を、この種の機械に適用したのは恐らく初めてのケースと思われるが、掘削性能、混合性能共一応良好で成功している。更に硬い地盤に対しての性能は今後の問題で、

切刃の形状など改良の余地は多いと考えられる。計測器の不備から所要トルクの検出ができなかったが、オーガ回転計の動きから判断すると、オーバロードになった様子は見られなかった。ただ異物のかみ込みによると思われる停止（圧油リリース）が一度見られた。こうした状態の検知を何で行なうかは今後更に検討を必要とする。

海底土砂に混入している異物（針金、ビニール製品、木枝、石塊など）の処理は、まだ十分な処理方法が確立していない。水中ポンプは60mm ϕ 程度の塊は通過できるので、その前方に50mm ϕ の孔をもつスクリーンを設置した。これにより大塊の入る恐れはなくなったが、高分子化合物の製品などによる目つまりが生じ流量が大きく低下する例は数回あった。またスクリーンで除けられた塊状物体はその前方下部にたまるが、例えばレキ層掘削の場合のように排除される物体が多くなると、そのために吸込口がふさがれるのでこれを除去する必要がある。現在異物の除去は潜水夫による方法と、機械自身を上げて行なう方法を併用して行なっているが、自動的、機械的に処理する方法の開発が必要である。

6.3 大型化の検討

この機械は大型化を前程として考えられたものであるが、現在のまゝでも、小型掘削機として十分な実用性をもつ。特に深い所の掘削や、浅すぎたり水上に構造物があってポンプ船が入ることのできない場所に有効と思われる。大型化の検討は更に実験を重ねた後に行なう予定であるので、ここでは問題点を列記するにとどめる。

現在の施工能力は最大でも72m³/hであったが、東京湾環状道路用としては、総計で10,000m³/h程度の能力が必要となり、1台当たり少なくとも1,000m³/hの能力とすることが要求される。そのためには大型水中ポンプの開発が第一の問題となる。現在110kw程度のものまで製作されており、その3～5倍の大きさのものを作る必要がある。なおこの場合ポンプを2～3基使用することも考えられる。その場合、電流容量などから電源の高圧化問題も生じると考えられる。また吐出管も350mm ϕ 以上のものが必要となり、現在可撓管を用いてもかなり手数を要している機械——水面の送泥管の処置が大きな問題となるであろう。

オーガも現在の600mm ϕ ×2,000mmLに対し、掘削速度を同じとすれば2,000mm ϕ ×6,000mmLと巨大なものとなり実用的には掘削速度をできるだけ上げて、寸法を小さくする努力が必要となる。その高速化（現在最高8.7m/min）は、けん引ウインチの能力、操作性とからんでむずかしい問題である。けん引力も現在の最大8tくらいが数10tのオーダとなり、したがってけん引動力も50馬力以上の大きなものとなろう。

7. む す び

30m以上の深い海底から大量の土砂を掘削する機械として各種の方式を検討した結果、1つの方法として水中ポンプ方式の掘削機を考え、これを試作した。この機械は37kwの水中ポンプの前にスクリーオーガ形のカッタを持ち、移動は、船上からウインチでけん引ロープを巻き取る方式とし、スキッドで海底面をすべらす方式とした。操作関係を海上部においたが、その作動装置はすべて水中に沈めた形式とし、計器を見ながら運転する方法をとった。構内実験で機能試験をした後、一部改良を行なって水深10mの海上実験を実施した。

その結果、能力的には最大 $72\text{m}^3/\text{h}$ という在来機の3倍の性能を得た。その主たる理由は含泥率が高いため最高52%という値を得た。含泥率は新しく開発した土研式含泥率計で計測した。このほかけん引に必要な力や馬力の計測も行なった。

掘削時の海水汚濁については、海洋汚染防止法の施行にともない、汚濁についてきびしい条件が与えられることになった。本機は次の2点で従来の機械に見られない汚濁減少対策を考えた。第1は掘削機のカッタ機構で、従来のポンプ浚渫船のカッタのように外部に開かれたままの状態でカッティングするのではなく、ケーシングと前面掘削土で完全にカバーされた内部で作動するように配慮した。この機構とポンプのサクション効果で掘削部分の汚濁はほぼ完全に防止できたと考えている。また被けん引式にしたことも汚濁防止に役立っている。

事実構内の澄水中で行なった実験では、掘削機本体付近の汚濁は殆ど見られなかった。第2には送泥水の高濃度化で、含泥率が高いことは相対的に濁水量の減少に役立っており、土捨て場での濁水対策が軽減されると考えられる。

使用上2～3の問題点が生じた。その主なものは、1つは位置の確認の問題で、水平面（海底面）での位置もさることながら、掘削面の水深を精度よく知ることが必要である。掘削については、特に異物の処理が問題で、ポンプ前面においたスクリーンの前方にたまる異物を機械的に取除く方法が開発されなければならない。また大型化は今後の問題であるが、大型ポンプ、送泥管、掘削速度の上昇などの改善、開発が必要であろう。

あ と が き

海底掘削機としては、計画した性能を発揮できる高い性能のものが開発できた。今後は更に深い場所での実験を重ねデータを得て大型化を試みる予定である。更に最近の海洋汚染に対するきびしい世評に対し、掘削後に生ずる濁水の大量処理等についても検討が必要であろう。

この海底掘削機は製作を関東地建関東技術事務所が担当、実験に当っても同所の大きい協力を得た。また海上実験は関東地建東京湾岸道路調査事務所と共同で実施した。

更に実施に当っては土木研究所機械研究室、中野新市、石島威、原誠各技官の協力も得た。各位に対し謝辞を述べたい。

参 考 文 献

- 1) 関東地建東京湾岸道路調査事務所；東京湾横断道路施工計画調査報告書，p.51～105，昭和48年3月
- 2) M. J. Cruickshank 他 “ Offshore Mining – Present and Future ”, ENGINEERING AND MINING JOURNAL, JANUARY 1968
- 3) 大橋，田中，千田 「水中基礎掘削機械の調査」
土木研究所機械研究室報告書，昭和39年3月
- 4) John L. Mero “ Ocean Mining Is Alive and Well and Living at Sea ”
OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE 1971
- 5) 寺井春三 第3回技術発表会資料「海底掘削機の設計製作」関東技術事務所 昭和48年2月

試験場所：千葉市川崎町地先

付表-1

海底掘削試験主要値集計表（平均値）

試験期日：（始）S.47年10月11日

：（終）S.47年11月2日

月／日	区域別	番号	揚水量 (m^3/min)	けん 引 力 (kg)	けん引 速度 (m /min)	けん引 馬 力 (ps)	含泥率 (%)	掘 削 断面積 (cm^2)	掘削量 (m^3/h)	接地圧 (kg/cm^2)	掘 削 水 深 (m)	時 刻 (h-m)	摘 要
10/14	A	1	3.94	4,846	3.06	3.29	24.39	2,197	40.28	0.066	7.6	10-46	
		2	3.85	3,994	3.09	2.74	26.42	2,327	43.09	0.073	7.3	11-05	
		3	3.32	3,707	2.91	2.38	37.87	3,018	52.62	0.156	7.6	11-49	
10/18	A	2	4.03	3,358	3.67	2.69	22.91	1,922	39.53	0.116	7.6	14-15	
		3	3.76	4,697	2.65	2.79	23.78	2,445	38.20	0.113	7.5	15-02	
		4	3.46	4,134	3.90	2.96	25.19	2,215	37.09	0.099	7.6	15-32	
10/19	B	1	3.37	3,141	2.45	1.69	22.34	2,317	32.09	0.082	7.9	11-05	
		2	3.35	3,464	2.86	2.15	22.81	2,032	34.59	0.089	7.8	11-29	
		3	3.57	2,918	3.12	1.98	32.54	2,764	49.53	0.055	8.5	13-28	
		4	3.68	5,214	3.98	4.16	30.46	2,275	47.60	0.089	8.6	13-51	
		5	3.40	3,035	5.63	3.69	29.71	1,398	43.13	0.116	9.0	14-09	
		6	3.59	3,453	3.09	2.31	19.79	1,811	30.30	0.102	9.2	14-38	
		7	3.71	4,648	2.92	2.98	23.83	2,178	37.86	0.115	9.0	15-03	
平 均 値		13点	3.63	4,366	3.25	2.77	25.88	2,706	39.83	0.098	8.1	—	
10/21	B	2	—	133	2.80	—	—	—	—	0	0	13-40	(浮上)
		3	4.26	2,218	2.46	—	0	0	0	0.094	9.0	13-54	(海底カッタ 停止)
		4	4.46	840	3.12	—	0	0	0	0.099	9.1	14-04	(海底カッタ 回転)

※ カッタ回転速度は35rpm一定，N値10～15，砂質土

試験場所：千葉市川崎町地先

付表-2

海底掘削試験主要値集計表(最大値)

試験期日：(始) S.47 年 10 月 11 日

：(終) S.47 年 11 月 2 日

月／日	区域別	番 号	揚 水 量 (m ³ /min)	けん引力 (kg)	けん引速度 (m/min)	けん引馬力 (ps)	含 泥 率 (%)	掘削断面積 (cm ²)	掘 削 量 (m ³ /h)	接 地 圧 (kg/cm ²)	摘 要
10/14	A	1	4.36	6,975	3.29	4.86	35.7	2,915	5.581	0.073	
		2	4.09	5,580	3.35	3.94	36.9	2,927	5.339	0.076	
		3	3.72	6,976	3.09	4.28	51.9	4,233	7.162	0.164	
10/18	A	2	4.09	5,534	3.72	4.58	30.4	2,397	5.198	0.120	
		3	4.00	9,859	2.89	6.34	35.2	3,402	5.778	0.115	
		4	3.74	8,673	8.69	5.61	35.5	4,146	5.066	0.108	
10/19	B	1	4.13	4,844	3.10	2.61	34.9	3,556	5.056	0.101	
		2	3.63	4,783	3.17	2.91	28.4	3,107	5.807	0.094	
		3	3.78	4,395	5.08	2.89	47.7	4,981	6.910	0.079	
		4	3.83	7,010	8.46	5.51	38.4	3,096	5.957	0.107	
		5	3.54	4,499	6.63	5.39	36.3	2,794	5.025	0.149	
		6	3.64	6,906	6.56	5.21	30.1	3,600	4.218	0.113	
		7	3.87	5,859	3.20	4.17	29.8	2,686	4.687	0.145	
平 均 値		13点	3.88	6,299	4.71	4.48	36.2	3,372	5.522	0.111	

※ カッタ回転速度は 35 rpm 一定，N 値 10~15 砂質土

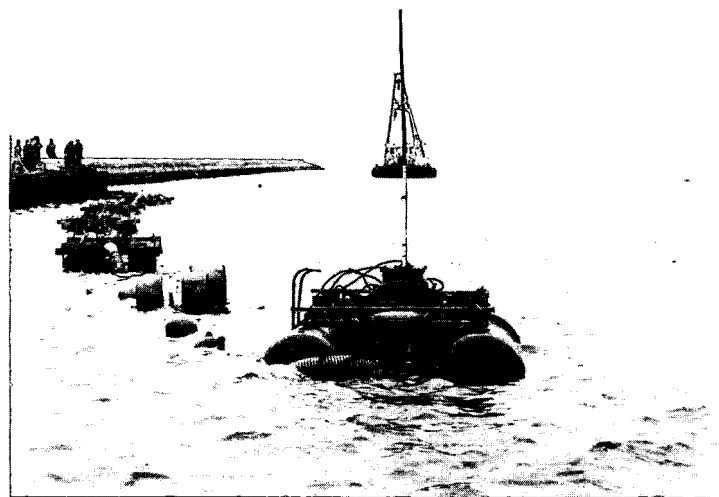


写真-3 掘削前姿勢（沈降前）

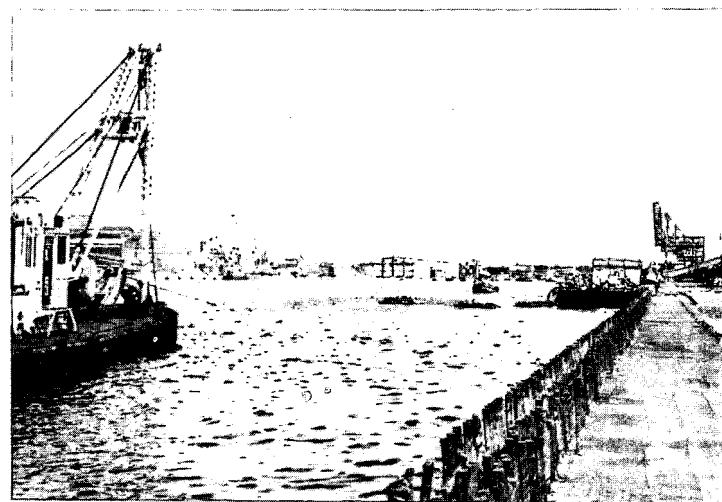


写真-4 掘削試験風景（作業中）

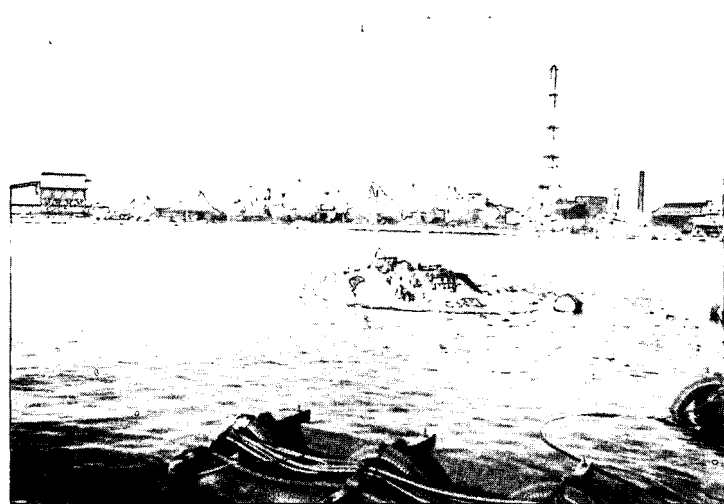


写真-5 掘削完了風景（浮上）

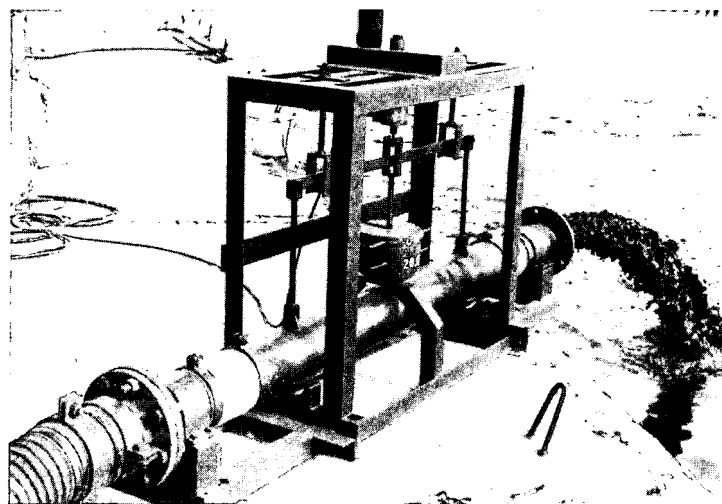


写真-6 含泥率計と排泥風景

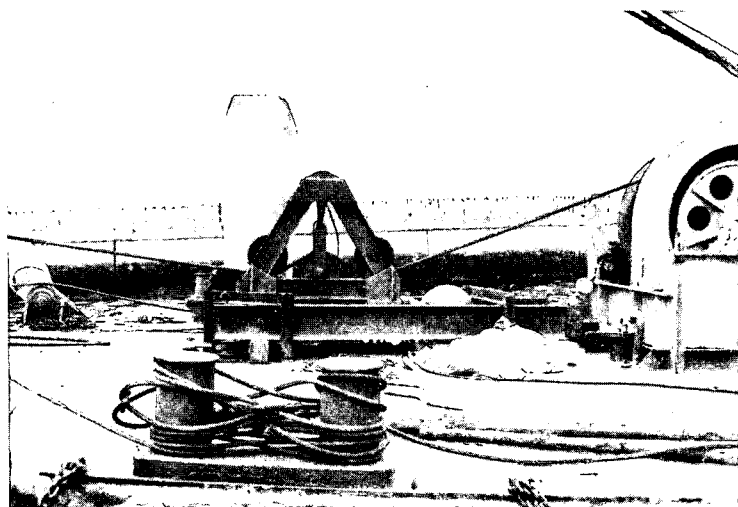


写真-7 けん引用ウインチと誘導輪

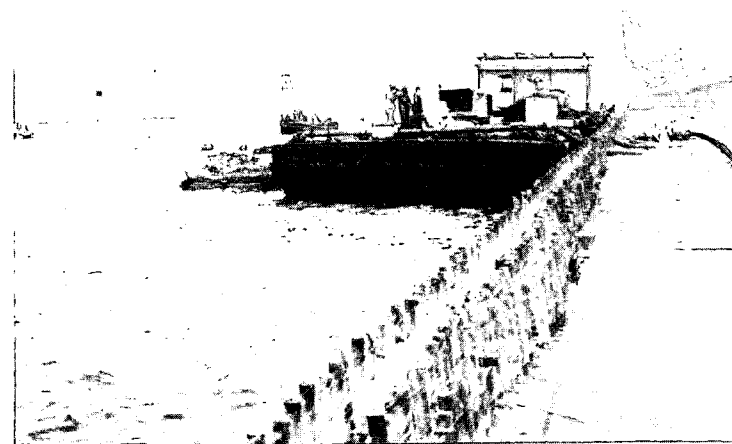


写真-8 水上設備と制御盤付近

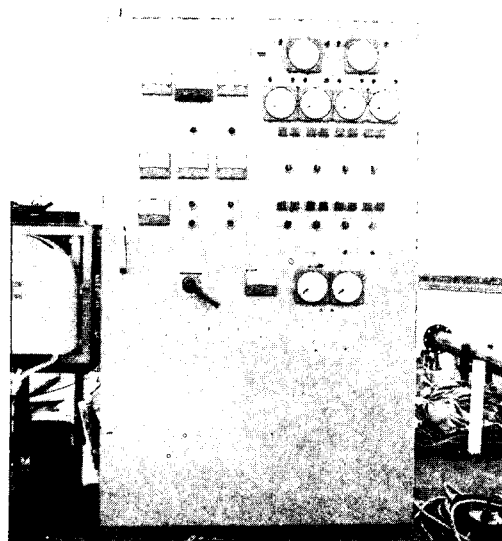


写真-9 操作用制御盤

盛土に関する試験調査
海底掘削機の開発

土研資料第853号
昭48年6月(1973)

田中康之, 千田昌平, 吉田六三

キーワード 海底掘削, 水中作業, 性能試験, 含泥率

要旨 本機の各部作動試験および海上における掘削試験等の性能調査を行なった結果, 下記の事項が明解された
けん引力は食い込み深ちによる抵抗が大部分の要因を占め, 含泥率平均26%最高52%で, 掘削能力平均40%最大72%の値が得られ早く移動するよりも深く掘削した方が効率的である。含泥率測定装置を重比による連続記録計測可能に試作開発した。



No. 33

配布先氏名



配布先住所

3. 作動および施工法

3.1 空氣系統

空気は水中本体部の機械室封気用およびフロートタンク用の2系統に供給され、フロートタンク用は更に、前後左右の4室へ分割される。

- 1) 機械室系 図-6より水中機械室には減圧弁③④を通して常時一定圧の空気が供給されており、全制空気はチェック弁③⑥およびフィルタ③⑦を通して水中に常時放出される。減圧弁は水圧より高い圧になるように調整しておく。電磁弁③⑤は何らかの原因で機械室に水が入った場合に、操作盤上の警報ランプによりオペレータが緊急に空気を注入するためのものである。
- 2) フロートタンク系 フロートの作動は4室共同様の目的、構造のものであるからフロートNo.1を例にとって述べる。

まずフオート内の空気は吸入、放出、保持の3つの基本動作より成る。すなわち電磁弁（以下弁と呼ぶ）③②-①をonにし、弁③②-①（気動弁③②-①が閉じる方向に作動する弁）をonにし、弁③②-①をoffにしてタンクに空気を供給する。またこのまま弁③②-①、③①-①をoffにすればタンク内の空気の出し入れがなく、保持の状態が得られる。更にこの状態から弁③②-①をonにすれば、気動弁③②-①が開き、タンク内の空気は抜けて水が入ってくる。

以下に述べる組合せによって基本動作が行なわれる。

- a) 給気 (吸気)

弁③⑩-① on

弁③③-① off

- b) 保持

弁③⑩-① off

弁③③-① off

- c) 給気 (排気)

弁③⑩-① off

弁③③-① on

また弁③-①は気動弁であって、この操作用電磁弁として6ウエイの3ポジションの弁であっても原理的には同様である。

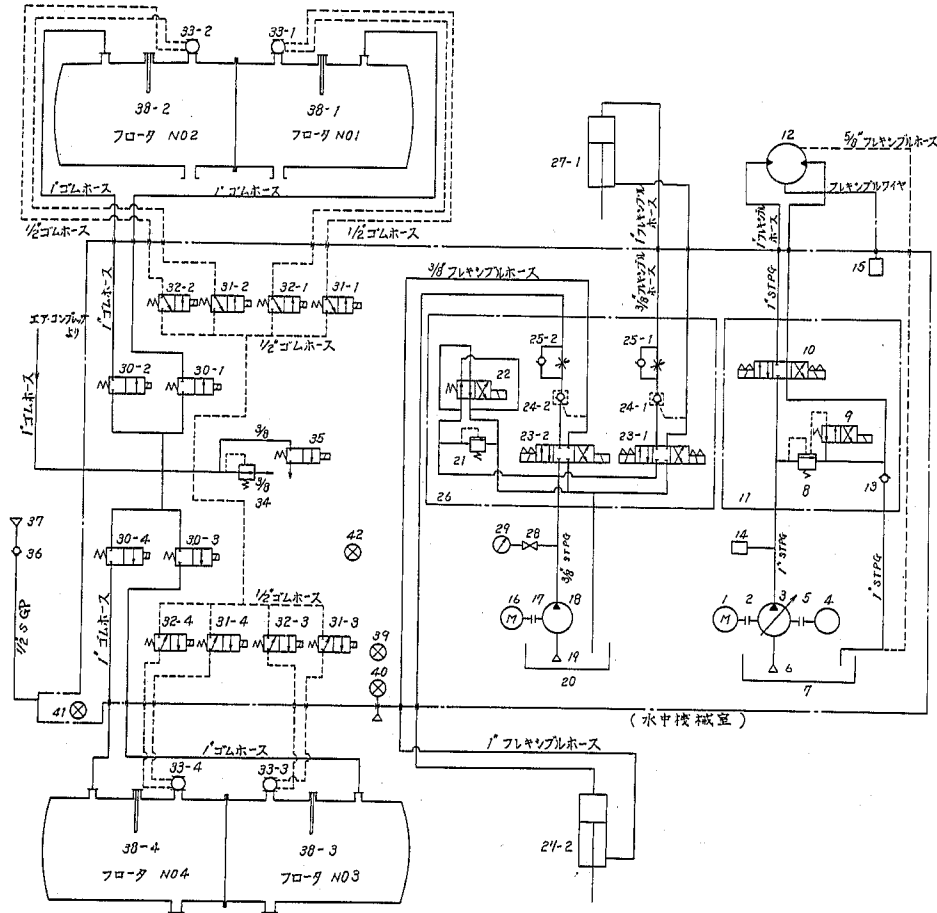
3.2 油 压 系 統

圧油はスクリーオーガ用と油圧シリンダ用の2系列の油圧源から供給される。

- 1) スクリューオーガ形カタ系

カッタの駆動はチェーン減速機構を介し、油圧モータで駆動されて水中使用に十分耐え得る構造のもので、制御盤において電磁スイッチの遠隔操作により、電磁弁⑩を開閉することによって行なわれる。

カッタの回転速度は可逆回転のパイロットモータ④を駆動し、可変流量形油圧モータの流量を調整して任意に選定することができる。またカッタが過負可状態になると回転が減少または停止し、油はリリーフ弁⑧を通じてチェック弁⑬を介して油圧タンクに戻る。



区分	品名	数量	単位	要
圧縮機	42 X-Y 傾斜計	1		
	41 室内レベルスイッチ	1		
	40 水深計	1		
	39 室内圧力計	1		
	38 レベル計	4	電圧式フロート用	
	37 フィルター	1		
	36 チェックバルブ	1	1/2"	
	35 ソレノイドバルブ	1	3/8"	
	34 1/2" 圧弁	1	5/8"	
	33 アクチュエータ付ボールバルブ	4	50#	
	32	4	1/2"	
	31	4	1/2"	
	30 ソレノイドバルブ	4	1/2"	
システム	29 圧力計	1		
	28 ストップバルブ	1		
	27 油圧シリンダ	2	80# 300 ST	
	26 マニホールド	1		
	25 フローコントロールバルブ	2	3/8"	
	24 オペレートチェック弁	2	3/8"	
空気系統	23	2	3/8" ダブルソレノイド	
	22 ソレノイドバルブ	1	3/8"	
	21 リリーフバルブ	1	3/8"	
	20 オイルタンク	1		
	19 サクソンプフィルタ	1		
	18 油圧ポンプ	1	ギヤポンプ 11.8 l/min	
	17 チェンカッパリング	1		
	16 モータ	1	1.5 KW 4P	
スクリー	15 電圧式回転計	1	DC 70V 50Hz	
	14 圧力変換器	1	200 1/2"	
	13 チェックバルブ	1	1"	
	12 油圧セクタ	1		
	11 マニホールド	1		
	10	1	1" ダブルソレノイド	
オイル	9 ソレノイドバルブ	1	1"	
	8 リリーフバルブ	1	1"	
	7 オイルタンク	1		
	6 サクソンプフィルタ	1		
	5 チェーン	1		
	4 ハイロートモータ	1	40 KW	
	3 油圧ポンプ	1	可変型 50~10 l/min 210 1/2"	
	2 チェンカッパリング	1		
	1 モータ	1	22 KW 6P	

図-6 海底掘削機油圧、空圧系統図

2) 油圧シリンダ系

前に述べたスクリーカッタとほとんど同様であるが、2組のシリンダは個々、または同時作動が可能な独立懸架方式である。本体の姿勢制御脱脚およびカッタ食い込み量調整で座屈を考慮して左右のスキッド上に取り付けられている。

図-6に油圧、空圧系統の配管、配線図を示し、図-7には水中本体の制御関係配線図を示してある。

3.3 海底掘削機による施工法

施工方法については現場の条件によって色々な方法が考えられるが、ここでは一般的にアンカーを有する船などに設置されたウインチによるけん引方式を一例として述べる。

まず、水上設備は水中本体制御用操作盤、空気圧縮機、発電機等から構成され、施工方法によっては、これらの

設備を台船上に設けるか、または水上作業足場上に設置する。掘削対象物である推積土砂をスクリーオーガ形カッタで掘削集土し、土砂と水の混合流を水中サンドポンプに受けて、排泥管（またはホース）を経て水上へ排出するもので、掘進は図-4に示すようにアンカーを有する船でウインチを巻き、けん引しながら前進し、掘削負荷の調節は掘削機本体のフロートタンク内の空気量調整および油圧シリンダによる、食い込み量の調整により行なわれる。

運転操作は次の通りである。

- (1) フロートタンクに空気を充満した状態で浮上保持させて現場に曳航した後、配管配線を行なって操作盤において電磁バルブ類を操作してタンクに水を入れて沈降させる。
- (2) 本体が水平になるように傾斜指示計を監視しながら、4つのフロートタンクの空気量を調整して作業姿勢にする。（図-5, 6, 7ではフロートタンクが左右2個示してあるが、各タンクは前後2室に区切られている。）
- (3) 水中ポンプを作動させ、水が排泥管（吐出側）より出るのを確認した後カッタに回転を与える。
- (4) 排水の濃度が適量になるように油圧シリンダのストロークおよびけん引速度を加減することによって掘削量を調整しながら掘り進む。

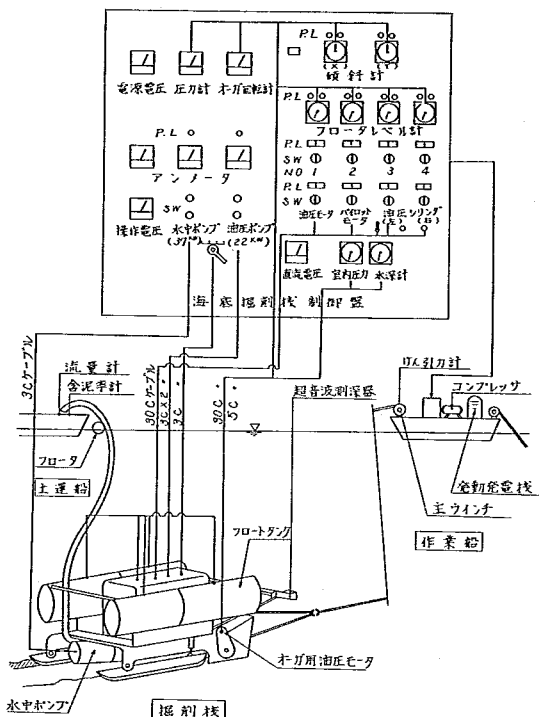


図-7 水中本体制御関係配線図

試験場所：土木研究所構内

(始) S. 47年6月9日

表-3

構内作動試験結果

試験期日：(終) S. 47年6月17日

分類	試験内容	試験方法および測定器	試験結果	改良方法	摘要
検 定 (陸上)	本体傾斜計	クレーン、指示計、角度計	指示計との誤差が大きい	精度の高いものに変換	(X-Y方向)
	カッタ回転計	指示計、ストップウォッチ	指示誤差は無い	回転範囲を大きくする	(回転速度に同じ)
定 置 試 験	油圧シリンダ	角度計、ストップウォッチ	作動は良いが、食い込み量が少ない	食い込み調整代をつける	(独立懸架方式)
	本体浮上保持	ストップウォッチ	やゝ浮力不足で安定が悪い	タンク容積を増大	(フロートタンク)
	空気充滿時間	"	本体の浮上が鈍い	各操作弁、配管類を新設	(")
	水充滿時間	"	本体の沈降が鈍い	上記に準ずる	(")
作 業 試 験	地形測定	超音波による後坪測定	掘削水深に問題がある	測定方法を変える	(水底地形測定)
	含泥率測定	メスシリンダによる部分サンプリング	測定誤差が大きい	測定装置を製作する	(開発)
	本体傾斜調整	制御盤指示計	本体姿勢が不安定 左右の傾斜調整が不良	精度の高いものに変換	
	揚水量測定	電磁流量計電圧指示	良好	現状	
	けん引力測定	ロードセル直読計	良好	作業現場によってはワイヤドラムの改造を要す	
	けん引速度	電圧指示計、ストップウォッチ	ワイヤドラム巻数によって変動となる	ワイヤロープ誘導輪に接点をとる	
	カッタ回転速度	制御盤電圧指示計	回転数が低い	減速比を小さく変更する	$\left(\begin{array}{l} 26 \text{ rpm} \\ 35 \text{ rpm} \end{array} \right)$
	カッタ駆動馬力	制御盤油圧指示計	油圧、指示計不良	メーカ側にて再調整	
	フロート室内水位	制御盤水位指示計	作動不良	精度の高いものに変換	
観 察 そ の 他	スキッド	—————	接地圧、掘進方向性が悪い	形状を変更する	(断面V形状)
	オーガケーシング	—————	食い込み量の補助	左右に爪を取り付ける	(各2個)
	吸込口形状	—————	異物の混入処理	スクリーン取り付ける	(50mmφ前後)
	本体水深位置	—————	位置確認不明	水深計の新設	
	水中機械室	—————	内蔵機器の不安定性	圧力計の新設、確実な空気圧に調整可能なもの	

※ N値15~20 関東ローム 水深約3m

4.2 海底掘削試験の方法

試験区域では深浅測量、軟弱砂層厚および土質試料調査試験の先行調査を行ない、掘削深度-10 m 前後、土質分類はシルト質または細砂でN値0～15程度の区域を選定し、前に述べた埋立用地付近にA、B、Cの3地点を決定した。表-4にこの3区域の調査概要を、表-5に今回行なった実験工程を示してある。

表-4

海底掘削区域別調査概要

項 目		A 区 域	B 区 域
調 査 場 所		千葉市川崎町地先	
調 査 期 日		昭和47年10月9日～10月21日	
掘 削 幅 (m)		20	
掘 削 距 離 (m)		50	
送 泥 距 離 (m)		約90	
平 均 水 深 (m)		-2.6～-4.5	-7.0～-9.3
土 質 調 査	単 位 体 積 重 量	1.327	1.232
	比 重	2.717	2.671
	圧 縮 強 さ (kg/cm ²)	0.160	0.144
	分 類	細 砂	シルト交り細砂
	N 値	10～15	10

表-5

海底掘削試験工程表

年月日 項目	S . 47 . 10																					S . 47 . 11				
		9	⑩	11	12	13	14	⑮	16	17	18	19	20	21		1	2	③	4							
運搬および準備																										
各部作動点検																										
A 区 域																										
B 区 域																										
C 区 域																										
後 整 理																										
見 学 会																										
作 業 中 止																										

試験設備としては、台船2隻の上に設備機械および測定のための計測用建屋を各々設置し、別に油圧ウインチを取り付けてある揚錨船2隻を本体のけん引用および後退用に配置した。台船は埋立護岸に、揚錨船は掘削場所の前後70m離れた位置に1隻に対して5個所に投錨を行なって固定をした。掘削機本体の移動（コース変更）は、この揚錨船固定用のワイヤロープの伸縮によって行なった。掘削は同じ位置で数サイクルの排泥作業を排土厚1m程度を目的として行ない、排泥は3区域ともに埋立用地内に吐出しを行なった。1日の掘削作業終了後、掘削機本体はクレーン船を配置して台船上に引き上げて固定した。今回使用した試験設備機器等は次頁の通りである。

1) 設備機械

揚錨船 (230 および 45 ps)	2 隻
潜水船	1 隻
曳 船	1 隻
台 船 (30 ton 積)	2 隻
クレーン船 (8 ton 吊)	1 隻
発電機 (115 KVA)	1 台
空気圧縮機 (ポータブル 6 kg/cm ²)	1 台
小型発電機 (AC, DC 用)	1 台
運搬用機械 (本体用 ; トラック, レッカー車 8 ton)	4 台

2) 計測器

制御盤 (水中本体操作用)	1 式
電磁流量計 (150mm ϕ , max 5.32m ³ /min)	1 個
含泥率計 (土研式測定装置 150mm ϕ)	1 式
ロードセル (LT 型 5 ton)	1 個
ペン書きオシログラフ (WTR, 8 ch)	1 台
超音波測深器 (max 2 m)	1 式
海底地形記録計	1 式

3) その他準備品

フ ロ ータ	5 隻
吐出管 (150mm ϕ , 鋼管含)	約 90m
球形ブイ (400mm ϕ)	19 個
錨 (2.0, 1.5, 0.5 ton)	10 丁
その他 (溶接機, エアホース, ケーブル, ワイヤ等)	1 式

4) 人員構成

監督員	3 名
作業員 (海技免許所有者 4 名)	12 名
測定員	2 名

図-9 に今回行なった掘削試験現場の見取りおよび使用機器配置図を示す。A, B, C 区域ともに、ほぼ同じ配置であるので主に掘削試験の対象となった B 区域を例に示した。図-10 にこの時の測定記録例を示してあるが、測定項目は次の通りである。

- (1) 揚水量 (泥水流量) ; 電磁流量計 (横河電機製, MFP 型, 150mm ϕ , max 5.32m³/min) による。
- (2) けん引速度 ; けん引用ワイヤロープ誘導輪の回転をマイクロスイッチによってパルス発生による。
- (3) けん引力 ; ワイヤストレインゲージ式張力計 (新興通信製, LT 型, 5 ton) を用い, ワイ

(4) 含泥率；土研式含泥率測定装置を用い、装置に組込まれたロードセル（共和電業製，引っ張り，圧縮両用LU型，50kg）により，土砂混入量を求める。

超音波測深器による方法は計測器の測定範囲（最大2 m）を越えたことがあったので使用しなかった。

半自動区式

〔航路〕

列車方向 →

〔信号機〕

(東京電力埋立用地)

1 掘削機水中本体
2 台船 (30^{cm}×2尺)
3 揚船鉤 (230、45^{mm})
4 本体用制動型
5 発動発電機 (115^V)
6 - (AC 用)
7 コンプレッサー (7^{馬力})
8 電磁決量計
9 余速率計 (上顯示)
10 引込力計
11 計測速度尺
その他 プラント
地形測定器
添付表

図-9 海底掘削作業配置

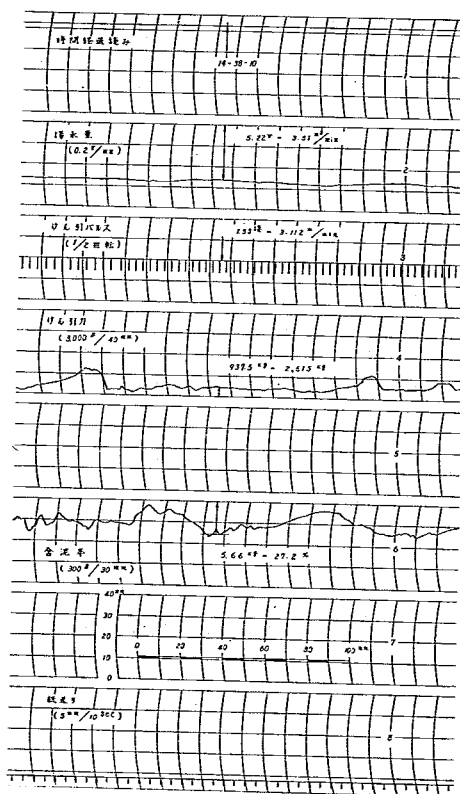


図-10 海底掘削試験における記録例

試験場所：千葉市川崎町地先

試験期日：(始) S. 47年10月11日

—：(終) S. 47年11月2日

表-6

海底掘削試験計測内容と問題

項 目	計 測 器	計 測 方 法	計 測 内 容	備 考
ベ ン 書 き 記 録 計	けん引力	張力計、直読計 (新興LT/51)	けん引ワイヤロープの案内シーブ脚に 取付け、直読計は操作用	3~5 ton
	けん引速度	マイクロスイッチ (オムロン製)	上記のシーブ回転数を取り出し、パルス の記録	3.3 m/min 前後
	揚水量	電磁流量計 (横河、MFP)	検出器の電圧 (V) の記録	3.2~4.0 m ³ /min
	含泥率	測定装置 (土研式)	装置取付けの張・圧両用ロードセル (共和LU-50), 比1:3	20~35%
	掘削量	—	揚水量と含泥率および土砂の密度 より算出	30~50 m ³ /h
	サイクルタイム	記録計タイマ (渡辺リニアコード)	沈降-掘削-浮上-後退タイム	20~25 min (L=30~50m)
制 御 盤 指 示 読 み 記 録	カッタ回転速度	電圧計 (多摩川, DGタコゼネ)	水中機械室内蔵の換信器で電圧 (V) を指示	35 r.p.m
	掘削馬力	油圧計 (共和, PG-200)	水中機械室内蔵の換信器で油圧 (kg/cm ²) 指示	作動不良 指示計, ケー ブルの問題
	接地圧	水位計 (リニアックスLF形)	フロートタンク内水位 (cm) を水 中機械室内の発信機で指示	0.09~0.15 kg/cm ²
	本体傾斜	傾斜計 (リニアックス, KU型)	水中機械室内の発信器にて(度)指示 (X-Y方向)	X方向+5~+2度 Y方向-2~+5度 (ビッチング) (ローリング)
	掘削深度	圧力計 (リニアックス, PB-1)	" 水圧 (kg/cm ²) の指示	作動不良 取付け位置 の問題
	機械室内圧力	圧力計 (リニアックス, PB-1)	" 空気圧 (kg/cm ²) の指示	" (送気圧 1.5 kg/cm ²)
専 用 記 録 計	地形測定	プロファイラー (山武, 海底用)	掘削前後の海底地形測定	測定不能
	掘削深さ	超音波測深器 (光電, 側壁用)	食い込み深さ測定	" 障害物発見 に使用

※ N値 10~15, 砂質土, 水深 4.5~9.4m

4.3 海底掘削試験結果

掘削区域の堆積層の変化、異物の混入および水中本体用制御盤と掘進のためのけん引用操作が別系統に分けられていて、一定条件を保つことが困難であったため、データにばらつきが出ている。計測中、掘削条件に明らかな変動要因があると考えられる場合については、データ整理の段階で削除した。海底地盤掘削排泥作業における試験結果を60秒さごみに平均値を読み、これを更に1サイクル毎の平均値としたものを付表-1に、1サイクル内の最大値の集計表を付表-2に示した。

1) 掘削能力 Q

本機の掘削能力は平均 $40\text{m}^3/\text{h}$ で、最高 $72\text{m}^3/\text{h}$ であった。この値を一般のポンプ浚渫船の掘削能力が 37kw のもので $10\sim 15\text{m}^3/\text{h}$ であるのに比べると約3倍で極めて能率が良いことになる。なお掘削能力 $Q\text{m}^3/\text{h}$ の算定は次式で行なった。

$$Q = \frac{\delta \cdot W}{\gamma_m} \times 60 \text{ (m}^3/\text{h)} \dots\dots\dots(1)$$

ここに δ : 含泥率(%)

W : 揚水量 (m^3/min)

γ_m : 土の単位体積重量

時間当り掘削量とけん引力、けん引速度、掘削断面積の関係を図-11~13に示した。

掘削能力は掘削機の移動速度に当るロープけん引速度(図-12)とは、低い相関度しか見られないが、計算された掘削断面積(図-13、点線は計算式、実線は原点通過とした回帰線)とは高い相関($r=0.68$, $n=120$)を示し、早く動かすより深く掘削した方が能率を上げるには有利であることが判明した。本体の水中での接地圧と掘削能力との関係は、相関係数 $r=0.09$ と低く、関係がないと見做された。

掘削断面を大きくするためには、本体を前傾姿勢にさせ、カッタを食い込ませることが必要であるが水中本体の制御盤の指示計をたよりに行なう作業には多少の熟練が必要であった。

2) 含泥率 δ

含泥率および揚水量の測定は排泥管の吐出口付近に検出器を取り付けたために、管路を流れる時間として掘進始めより20~25秒の遅れが出ている。(含泥率算定式は第5章を参照)

含泥率の最高は52%で平均26%であった。実験データ120例のうち15%を割っているのは5例のみで、高濃度泥水を送る試みは成功したといえる。

一般のポンプ浚渫船のデータが平均で10%前後多くても15%といわれているのに比べると極めて高い値となっている。図-14に見られるように、一般に含泥率が増すと揚水量が減少しており、低減もほぼ双曲線的である。これらのデータの中には水深 H が数種類混在しているが、これを一定と見なし、含泥率は流水の単位体積重量 γ の1表示であるとすれば $\gamma Q H = \text{CONST}$, すなわち馬力一定の曲線を描くものと考えられ、双曲線を示すことは当然考えられる。この実験では、吐出圧力 H_0 や所要動力の計測ができなかったために、ポンプ能力のどの辺りを用いているかが明確ではないが、高含泥率下における管路抵抗、ポンプの適正動力などを知る上から、今後この面の追求が必要となってくる。

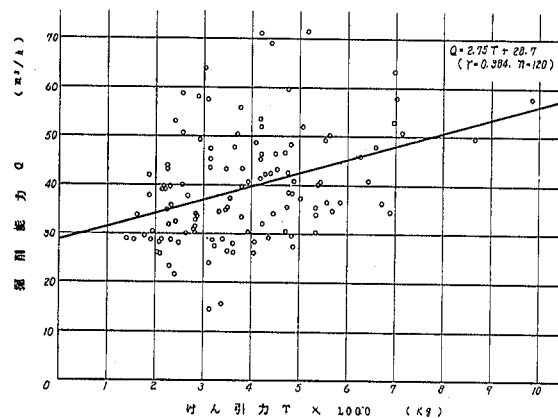


図-11 けん引力と掘削能力の関係

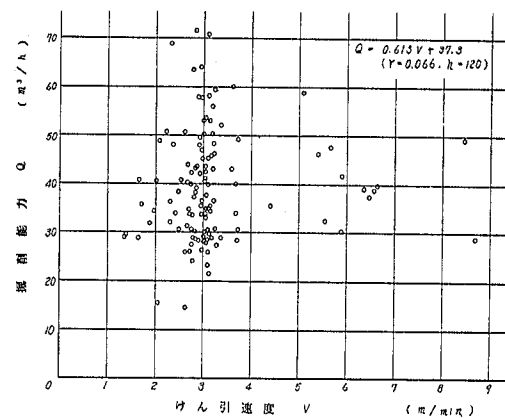


図-12 けん引速度と掘削能力の関係

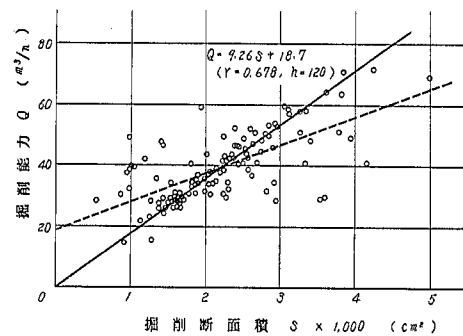


図-13 掘削断面積と掘削能力の関係

3) けん引力 T

けん引力 T の測定は水中本体けん引用揚錨船のウインチ巻き取り装置付近に、3シーブをおき、中間シーブにかかるカムから次式を用いて算出した。

$$T = L \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \text{ (kg)} \cdots (2)$$

ここに L ：ワイヤロープの張力 (kg)

α ：ワイヤロープ折れ角 (度)

掘削機を前進させるために必要なけん引力は、掘削機自身の移動抵抗（海底でのすべり摩擦）と掘削に必要な食い込み力に相当する力の合計である。これは機械の水中重量（フロートタンク内水位によって変化する）とスキッド接地面積から計算した接地圧（作業時で $0.06 \sim 0.12 \text{ kg/cm}^2$ 程度であった）とけん引抵抗との相関係数が $r=0.178$ $n=42$ で非常に小さいことから見てあまり大きなウェイトを占めていないものと考えられる。図-15、16にこの関係を示す。これに対して掘削のために必要なけん引力 T と掘削断面積 S との関係は図-17に示すようにやや相関が高く示された。

掘削断面積当りのけん引力は約 1.7 kg/cm^2 でブルドーザのブレードによる押土抵抗が $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ であることに比べると約半分値である。掘削能力と所要けん引馬力の間にも $r=0.41$ 、 $n=120$ の比較的高い相関係（図-18参照）がみられた。

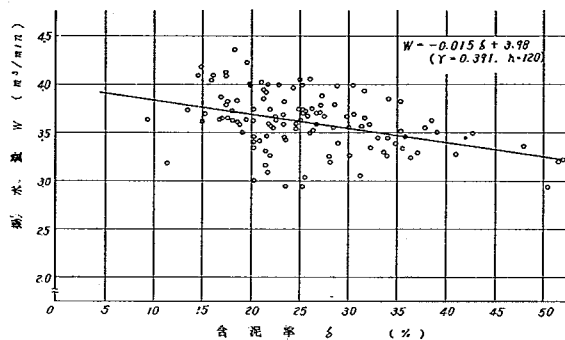


図-14 揚水量と含泥率

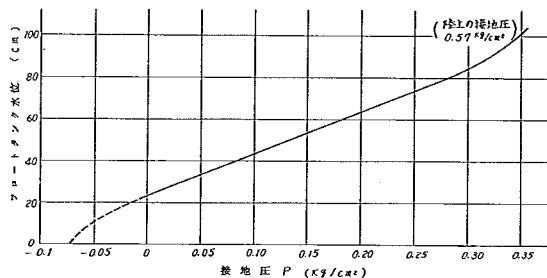


図-15 水中における空気量と接地圧の関係

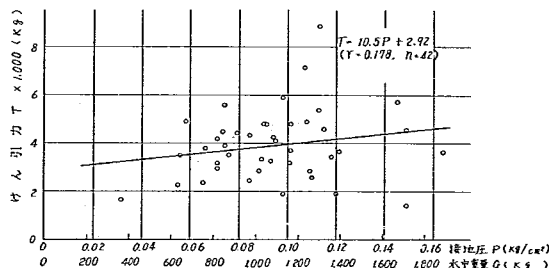


図-16 接地圧とけん引力

今回の海底掘削排泥作業においては、主要値の1つである掘削馬力および掘削トルクに関するデータは、油圧計や取り出しケーブル等にトラブルが起こり測定不能に終わっている。

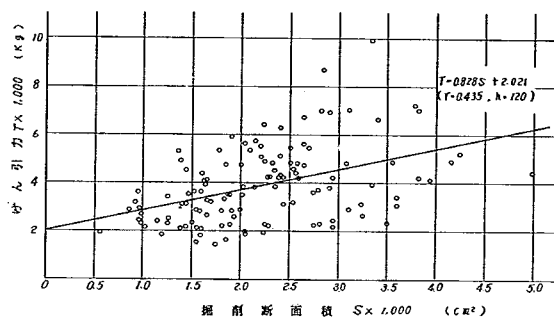


図-17 掘削断面積とけん引力

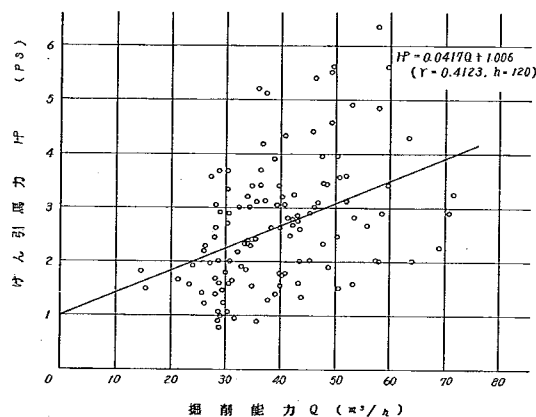


図-18 掘削能力とけん引馬力

5. 含泥率測定装置 (土研式)

5.1 含泥率計開発のいきさつ

浚渫工事のみならず泥砂混合流の含泥率の測定に関する需要は多く、これまで種々の含泥率計が考案され試作されているが信頼性において、まだ不十分でわずかに R I (ラジオアイソトープ) を利用した含泥率計などが採用されているに過ぎない。しかし R I 方法においても精度が必ずしも十分とはいえず、高価な上に R I の取り扱いにライセンスが必要なので一般に普及しているとはいえない。直接重量測定方式についても幾種類か製作されているが精度において信頼度が低い。そこでこの方式を改良した含泥率計を試作してみた。

レバー式 (または 1:1)

1 3 3 1

1,000

200 (丸絞り)

500

1,000

1,500

250

150

250

天秤

秤量皿

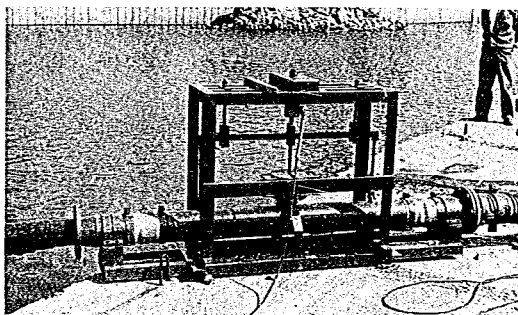
ナイフエッジ

バランスクエイト

重量計 (500g圧・張両用)

5.2 構成と原理

計測調整段階でバランスウェイトを計量管および管内有効清水量に見合う重さに調節し、天秤をバランスさせておく。ここにつり支点（ナイフエッジ）位置によって管内泥水重量を拡大または縮小して荷重計に伝えることができるが、原理の説明には及ばない。実際の測定の場合は、荷重計を引張るが、原理的には荷重計に引張り（+）、バランスウェイトが完全に清水が流れている場合、荷重計の指示は0ということになる。



の場合、荷重計の指示は 0 ということになる。

- 20 -

$$W_b = W_e + W_p + W_c + W_m \dots\dots\dots(3)$$

ここに W_b : バランスウエイトの重量

W_e : 荷重計の指示

W_p : 計量管の重量

W_c : 清水の重量

W_m : 含まれる泥の重量

としたとき(3)式において、上記の仮定では清水を流したとき、すなわち $W_m = 0$ において $W_e = 0$ ということになる。更に水の単位体積重量を 1 g/cm^3 、泥の単位体積重量を $\gamma_m \text{ g/cm}^3$ として清水を流したとき（これは前もって検定しておく値である。）、その重量から計量管の有効容積を求め、それを V_a とすると、

$$V_a = W_m / \gamma_m + W_c \dots\dots\dots(4)$$

となる。一方泥水重量を $W_{e'}$ とすれば、

$$W_{e'} = W_m + W_c \dots\dots\dots(5)$$

となり、(4)、(5)式から W_c を消去すると、

$$V_a = W_m / \gamma_m + W_{e'} - W_m = W_{e'} + W_m (1 / \gamma_m - 1) \dots\dots\dots(6)$$

となる。これより

$$W_m = \frac{V_a - W_{e'}}{(1 / \gamma_m - 1)} \dots\dots\dots(7)$$

含泥率 δ を重量比で表わすと

$$\delta = \frac{W_m}{W_{e'}} \dots\dots\dots(8)$$

となり、(7)式より

$$\delta = \frac{\gamma_m}{\gamma_m - 1} \left(\frac{W_{e'}}{V_a + W_{e'}} \right) \dots\dots\dots(9)$$

となる。(3)式において計量管重量 W_p は空中重量測定で求められるので、荷重計の読みから泥水の重さ $W_{e'}$ を求めることができ、泥の単位体積重量 γ_m 、計量管の有効容積 V_a から(9)式により含泥率 δ が求まる。 V_a は有効計量管容積を与えるものであるが、計量管の容積だけではなく、可撓性管の一部も含まれるから、測定時において前もって計量管重量および清水を流した時の重量をそれぞれ計量して求めておく必要がある。

なおこの場合荷重計はストレインゲージ式のロードセルのような荷重による変位が無視できるものが望ましい。

5.3 含泥率計の精度

試作した含泥率計の精度測定を室内実験で2種類行なった。1つは清水を流した時の流量変化による示差測定で、図-20の結果が得られた。この流量範囲では誤差は最大1.7%で良好であった。他の方法による精度の良い含泥率測定ができなかったので、含泥率の検定として清水を流している

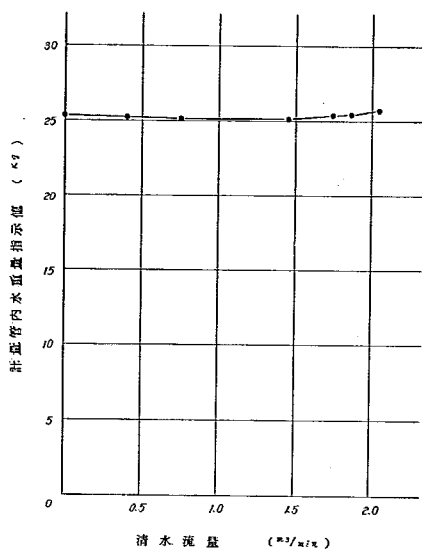


図-20 清水流量と計量管内水重量

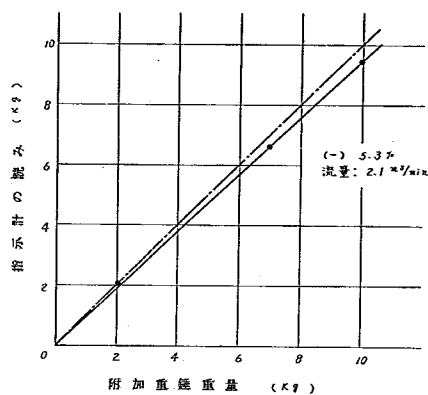


図-21 含泥率計における流水の重量変化と指示値

状態で、砂に相当する重錘を計量管に乗せた時の指示値を読んだ所図-21の結果を得た。これによると指示値は-5.3%とやや低く出ることが判明した。これは各部の摩擦抵抗が影響しているものと考えられ、補正が必要であるが、本機ではレバー比の製造誤差が4%ありこれと相殺される形となっている。

6. 考察（施工上の問題点）

建設工事、特に海上工事に使用される建設機械は、時間単位の施工能力も大切であるが、機械使用上の容易さ、整備などのデッドタイムの少ないこと、故障しないことといった施工性および信頼性が重要な要素となり、長期間をとった場合の施工能力にも影響を及ぼすことになる。この機械はこの点を当初から考慮に入れて製作したものであるが、なお2～3の問題が残された。これを以下に述べる。

6.1 制 御 方 法

制御は位置制御と姿勢制御の2種類に大別される。前者は結局掘削地の仕上げの問題になり、後者は主として作業能力に関与する。

位置制御の精度は掘削位置確認の精度となる。掘削位置は平面的な位置と深さの2つに大別される。この機械は自由に移動できる水中ブルドーザのような機械に比べると平面位置の確認ははるかに容易である。実験では比較的深度が浅く、掘削機からポールをたててそれによって位置を確認したので、特に問題はなかった。深い場合はけん引ケーブルの移動量をベンドシブ等の回転から取り出して、インジケータで指示することが考えられる。横方向については、ケーブルで規制されているので、アンカー船の浮動がなければ問題はないと考えられる。1ストロークの掘削延長を長くする場合や非常に深い場合は掘削幅（2.3 m）以上変動が生ずる恐れはある。

掘削深さの制御はかなりむずかしい。材料採取のように現地盤を掘れば良い場合を別として多くの場合は、掘削後の形状が指定される。その場合カット位置（深さ）の検出が必須となる。現在の方法では、後述の姿勢制御と超音波測深器をうまく使いこなせば、海底面からの食い込み量は検出できそうであるが、掘削と共に変化していく海底地盤を正にすることは無意味で、高い精度の水圧計（水深計）が必要となるが、現在の所適当な測器が見つからない。それと同時に掘削あと坪の正確で簡便な測量方法の開発が必要である。

姿勢制御は、主として傾きの検出に左右される。前述のようにこの実験では掘削機から高く海面まで出したポールを用いていたので、それによって傾きもある程度目視できた。傾斜計も取り付けがあるが、そのインジケータにより姿勢を判断し、フロートの水位や油圧シリンダで、機械の傾きをコントロールするにはかなりの熟練が必要である。

欲をいえば、最近の航空機の一部に見られる傾きのグラフ表示方法が望ましい。また掘削機前方に取り付けた超音波測深器は、掘削深さを検出するのに有効な方法ではあるが、本体の傾斜による補正が必要で、これもリアルタイムで補正できる計算回路が欲しい所である。

6.2 掘 削 装 置

スクリュオーガ形の掘削装置を、この種の機械に適用したのは恐らく初めてのケースと思われるが、掘削性能、混合性能共一応良好で成功している。更に硬い地盤に対しての性能は今後の問題で、

切刃の形状など改良の余地は多いと考えられる。計測器の不備から所要トルクの検出ができなかったが、オーガ回転計の動きから判断すると、オーバーロードになった様子は見られなかった。ただ異物のかみ込みによると思われる停止（圧油リリーフ）が一度見られた。こうした状態の検知を何で行なうかは今後更に検討を必要とする。

海底土砂に混入している異物（針金、ビニール製品、木枝、石塊など）の処理は、まだ十分な処理方法が確立していない。水中ポンプは60mmφ程度の塊は通過できるので、その前方に50mmφの孔をもつスクリーンを設置した。これにより大塊の入る恐れはなくなったが、高分子化合物の製品などによる目つまりが生じ流量が大きく低下する例は数回あった。またスクリーンで除けられた塊状物体はその前方下部にたまるが、例えばレキ層掘削の場合のように排除される物体が多くなると、そのために吸込口がふさがれるのでこれを除去する必要がある。現在異物の除去は潜水夫による方法と、機械自身を上げて行なう方法を併用して行なっているが、自動的、機械的に処理する方法の開発が必要である。

6.3 大型化の検討

この機械は大型化を前程として考えられたものであるが、現在のまゝでも、小型掘削機として十分な実用性をもつ。特に深い所の掘削や、浅すぎたり水上に構造物があってポンプ船が入ることのできない場所に有効と思われる。大型化の検討は更に実験を重ねた後に行なう予定であるので、ここでは問題点を列記するにとどめる。

現在の施工能力は最大でも $72\text{m}^3/\text{h}$ であったが、東京湾環状道路用としては、総計で $10,000\text{m}^3/\text{h}$ 程度の能力が必要となり、1台当り少くとも $1,000\text{m}^3/\text{h}$ の能力とすることが要求される。そのためには大型水中ポンプの開発が第一の問題となる。現在110kw程度のものまで製作されており、その3～5倍の大きさのものを作る必要がある。なおこの場合ポンプを2～3基使用することも考えられる。その場合、電流量などから電源の高圧化問題も生じると考えられる。また吐出管も350mmφ以上のものが必要となり、現在可撓管を用いてもかなり手数を要している機械——水面の送泥管の処置が大きな問題となるであろう。

オーガも現在の $600\text{mm}\phi \times 2,000\text{mmL}$ に対し、掘削速度を同じとすれば $2,000\text{mm}\phi \times 6,000\text{mmL}$ と巨大なものとなり実用的には掘削速度をできるだけ上げて、寸法を小さくする努力が必要となる。その高速化（現在最高 $8.7\text{m}/\text{min}$ ）は、けん引ウインチの能力、操作性とからんでむずかしい問題である。けん引力も現在の最大8tくらいが数10tのオーダーとなり、したがってけん引動力も50馬力以上の大きなものとなる。

7. む す び

30m以上の深い海底から大量の土砂を掘削する機械として各種の方式を検討した結果、1つの方法として水中ポンプ方式の掘削機を考え、これを試作した。この機械は37kwの水中ポンプの前にスクリーオーガ形のカッタを持ち、移動は、船上からウインチでけん引ロープを巻き取る方式とし、スキッドで海底面をすべらす方式とした。操作関係を海上部においたが、その作動装置はすべて水中に沈めた形式とし、計器を見ながら運転する方法をとった。構内実験で機能試験をした後、一部改良を行なって水深10mの海上実験を実施した。

その結果、能力的には最大 $72\text{m}^3/\text{h}$ という在来機の3倍の性能を得た。その主たる理由は含泥率が高いため最高52%という値を得た。含泥率は新しく開発した土研式含泥率計で計測した。このほかけん引に必要な力や馬力の計測も行なった。

掘削時の海水汚濁については、海洋汚染防止法の施行にともない、汚濁についてきびしい条件が与えられることになった。本機は次の2点で従来の機械に見られない汚濁減少対策を考えた。第1は掘削機のカッタ機構で、従来のポンプ浚渫船のカッタのように外部に開かれたままの状態でカッティングするのではなく、ケーシングと前面掘削土で完全にカバーされた内部で作動するように配慮した。この機構とポンプのサクシヨン効果で掘削部分の汚濁はほぼ完全に防止できたと考えている。また被けん引式にしたことも汚濁防止に役立っている。

事実構内の澄水中で行なった実験では、掘削機本体付近の汚濁は殆ど見られなかった。第2には送泥水の高濃度化で、含泥率が高いことは相対的に濁水量の減少に役立っており、土捨て場での濁水対策が軽減されと考えられる。

使用上2～3の問題点が生じた。その主なものは、1つは位置の確認の問題で、水平面（海底面）での位置もさることながら、掘削面の水深を精度よく知ることが必要である。掘削については、特に異物の処理が問題で、ポンプ前面においたスクリーン前方にたまる異物を機械的に取除く方法が開発されなければならない。また大型化は今後の問題であるが、大型ポンプ、送泥管、掘削速度の上昇などの改善、開発が必要であろう。

あ と が き

海底掘削機としては、計画した性能を発揮できる高い性能のものが開発できた。今後は更に深い場所での実験を重ねデータを得て大型化を試みる予定である。更に最近の海洋汚染に対するきびしい世評に対し、掘削後に生ずる濁水の大量処理等についても検討が必要であろう。

この海底掘削機は製作を関東地建関東技術事務所が担当、実験に当っても同所の大きい協力を得た。また海上実験は関東地建東京湾岸道路調査事務所と共同で実施した。

更に実施に当っては土木研究所機械研究室、中野新市、石島威、原誠各技官の協力も得た。各位に対し謝辞を述べたい。

参 考 文 献

- 1) 関東地建東京湾岸道路調査事務所；東京湾横断道路施工計画調査報告書，p. 51 ～ 105，昭和48年3月
- 2) M. J. Cruickshank 他 " Offshore Mining - Present and Future " , ENGINEERING AND MINING JOURNAL, JANUARY 1968
- 3) 大橋、田中、千田 「水中基礎掘削機械の調査」
土木研究所機械研究室報告書，昭和39年3月
- 4) John L. Mero " Ocean Mining Is Alive and Well and Living at Sea " OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE 1971
- 5) 寺井春三 第3回技術発表会資料「海底掘削機の設計製作」関東技術事務所 昭和48年2月

試験場所：千葉市川崎町地先

付表-1

海底掘削試験主要値集計表（平均値）

試験期日：（始）S.47年10月11日

：（終）S.47年11月2日

月 / 日	区域別	番号	揚水量 (m^3 / min)	けん 引 力 (kg)	けん引 速度 (m /min)	けん引 馬 力 (ps)	含泥率 (%)	掘 削 断面積 (cm^2)	掘削量 (m^3/h)	接地圧 (kg/cm^2)	掘 削 水 深 (m)	時 刻 (h - m)	摘 要
10/14	A	1	3.94	4,846	3.06	3.29	24.39	2,197	40.28	0.066	7.6	10-46	
		2	3.85	3,994	3.09	2.74	26.42	2,327	43.09	0.073	7.3	11-05	
		3	3.32	3,707	2.91	2.38	37.87	3,018	52.62	0.156	7.6	11-49	
10/18	A	2	4.03	3,358	3.67	2.69	22.91	1,922	39.53	0.116	7.6	14-15	
		3	3.76	4,697	2.65	2.79	23.78	2,445	38.20	0.113	7.5	15-02	
		4	3.46	4,134	3.90	2.96	25.19	2,215	37.09	0.099	7.6	15-32	
10/19	B	1	3.37	3,141	2.45	1.69	22.34	2,317	32.09	0.082	7.9	11-05	
		2	3.35	3,464	2.86	2.15	22.81	2,032	34.59	0.089	7.8	11-29	
		3	3.57	2,918	3.12	1.98	32.54	2,764	49.53	0.055	8.5	13-28	
		4	3.68	5,214	3.98	4.16	30.46	2,275	47.60	0.089	8.6	13-51	
		5	3.40	3,035	5.63	3.69	29.71	1,398	43.13	0.116	9.0	14-09	
		6	3.59	3,453	3.09	2.31	19.79	1,811	30.30	0.102	9.2	14-38	
		7	3.71	4,648	2.92	2.98	23.83	2,178	37.86	0.115	9.0	15-03	
平 均 値		13点	3.63	4,366	3.25	2.77	25.88	2,706	39.83	0.098	8.1	-	
10/21	B	2	-	133	2.80	-	-	-	-	0	0	13-40	(浮上)
		3	4.26	2,218	2.46	-	0	0	0	0.094	9.0	13-54	海底カッタ 停 止
		4	4.46	840	3.12	-	0	0	0	0.099	9.1	14-04	海底カッタ 回 転

※ カッタ回転速度は35rpm一定，N値10～15，砂質土

試験場所：千葉市川崎町地先

付表-2

海底掘削試験主要値集計表(最大値)

試験期日：(始) S.47 年 10 月 11 日

：(終) S.47 年 11 月 2 日

月/日	区域別	番 号	揚 水 量 (m ³ /min)	けん引力 (kg)	けん引速度 (m/min)	けん引馬力 (ps)	含 泥 率 (%)	掘削断面積 (cm ²)	掘 削 量 (m ³ /h)	接 地 圧 (kg/cm ²)	摘 要
10/14	A	1	4.36	6,975	3.29	4.86	35.7	2,915	53.81	0.073	
		2	4.09	5,580	3.35	3.94	36.9	2,927	53.39	0.076	
		3	3.72	6,976	3.09	4.28	51.9	4,233	71.62	0.164	
10/18	A	2	4.09	5,534	3.72	4.58	30.4	2,397	51.98	0.120	
		3	4.00	9,859	2.89	6.34	35.2	3,402	57.78	0.115	
		4	3.74	8,673	8.69	5.61	35.5	4,146	50.66	0.108	
10/19	B	1	4.13	4,844	3.10	2.61	34.9	3,556	50.56	0.101	
		2	3.63	4,783	3.17	2.91	28.4	3,107	58.07	0.094	
		3	3.78	4,395	5.08	2.89	47.7	4,981	69.10	0.079	
		4	3.83	7,010	8.46	5.51	38.4	3,096	59.57	0.107	
		5	3.54	4,499	6.63	5.39	36.3	2,794	50.25	0.149	
		6	3.64	6,906	6.56	5.21	30.1	3,600	42.18	0.113	
		7	3.87	5,859	3.20	4.17	29.8	2,686	46.87	0.145	
平 均 値		13点	3.88	6,299	4.71	4.48	36.2	3,372	55.22	0.111	

※ カッタ回転速度は 35 rpm 一定, N 値 10~15 砂質土

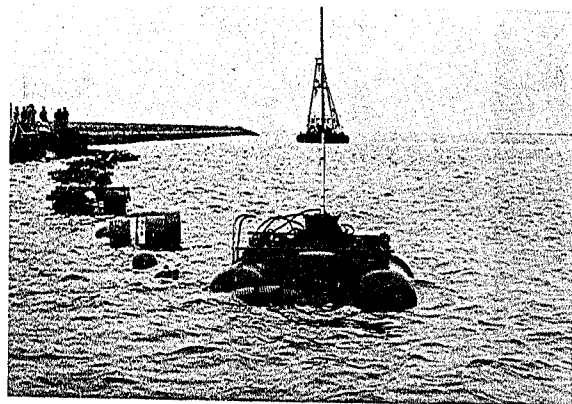


写真-3 掘削前姿勢（沈降前）

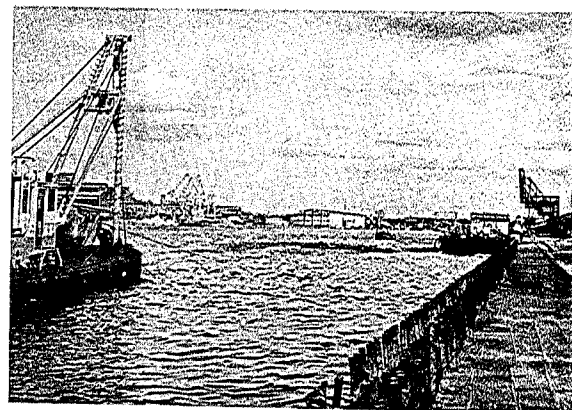


写真-4 掘削試験風景（作業中）

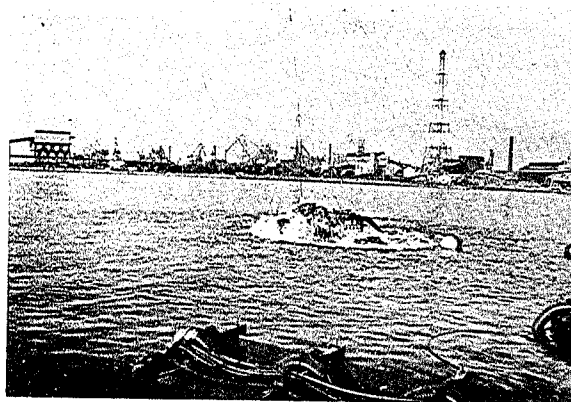


写真-5 掘削完了風景（浮上）

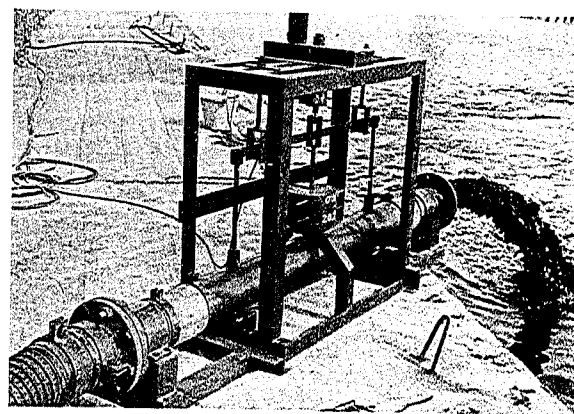


写真-6 含泥率計と排泥風景

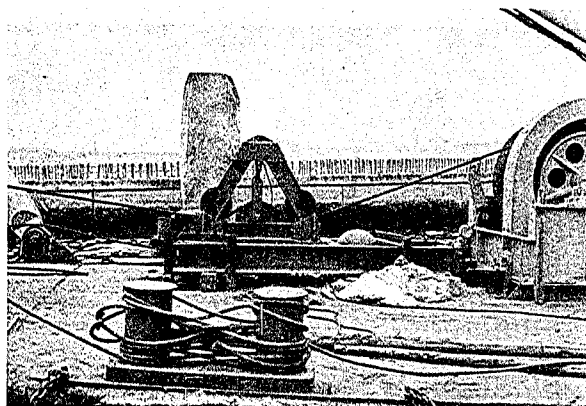


写真-7 けん引用ウインチと誘導輪

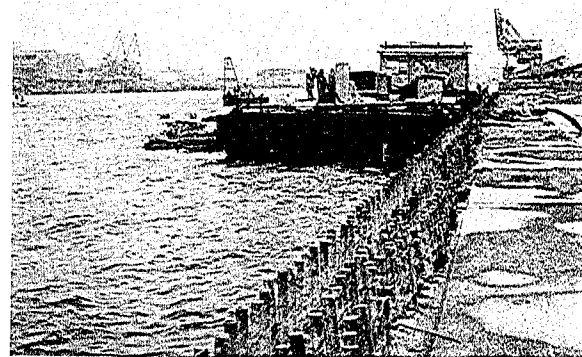


写真-8 水上設備と制御盤付近

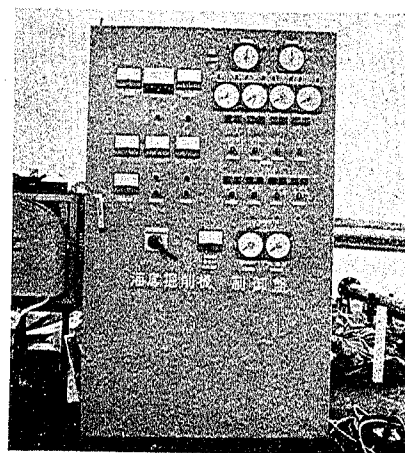


写真-9 操作用制御盤

盛土に関する試験調査
海底掘削機の開発

土研資料第853号
昭48年6月(1973)

田中康之, 千田昌平, 吉田六三

キーワード 海底掘削, 水中作業, 性能試験, 含泥率

要旨 本機の各部作動試験および海上における掘削試験等の性能調査を行なった結果, 下記の事項が明解された
けん引力は食い込み深ちによる抵抗が大部分の要因を占め, 含泥率平均26%最高52%で, 掘削能力平均40%最大72%の値が得られ早く移動するよりも深く掘削した方が効率的である。含泥率測定装置を重比による連続記録計測可能に試作開発した。



No. 33

配布先氏名



配布先住所