

本州・四国基礎工
調査資料 No. 21

土木研究所資料第329号

基礎施工法に関する調査資料

施工機械に関する調査報告書

昭和42年10月

建設省 土木研究所

施工機械(海中足場をふくむ)に
関する調査報告書

昭和42年8月

土木学会本州四国連絡橋技術調査委員会
基礎に関する専門部会

序 文

基礎に関する専門部会に施工調査幹事を設け、つぎの目的で、活動を行った。

- 1) 本州四国連絡橋の代表的な基礎構造の寸法を想定し、この基礎を施工に必要な施工機械、海中足場の現状を調査するとともに、将来の見通しについて資料を収集する。
- 2) 現地調査機関の実施する施工試験の計画内容について報告を受け、委員会としての要求意見をまとめるとともに、将来実施を予定する大規模施工実験の内容について意見を交換し、最終報告書を取りまとめる。

本報告には、このうち、第1項に含まれる収集資料を取りまとめたもので、今後引きつづき行われる調査に役立たせたいとの希望によるものである。

したがって、この資料は使用実績のあるものと、ないものとが、同一レベルで整理されている嫌いはあるが、国内を中心とする施工能力を現状において理解するうえで有益な資料と判断した。しかし、施工を論ずる場合、その焦点となる水深の大きな、潮流の早い個所での施工の可否については、多分に今後予定する大規模な施工実験にまつ点が多い。

施工についての委員会の見解は、最終報告書に明かにしており、この報告書はその判断にあたって引用した収集資料の域を出ないが、今後の調査の基礎資料として活用されることを望む。

本州四国連絡橋技術調査委員会

基礎に関する専門部会

部会長 沼田政矩

施工機械（海中足場をふくむ）に関する調査報告書

第 5 次 報 告 書 総 目 次

第 1 章 総 説	1
1.1 まえがき	1
1.2 調査経緯	1
1.2.1 調査経過	1
1.2.2 施工調査幹事会の活動	2
1.3 掘さく機械を検討するための施工条件	4
1.3.1 想定する基礎の形式	4
1.3.2 地盤条件その他	4
第 2 章 グラブ掘削	5
2.1 各社の推奨するグラブ掘削方式	5
2.1.1 石川島播磨重工業 K K	5
2.1.2 K K 神戸製鋼所	7
2.1.3 K K 日立製作所	7
2.1.4 油谷重工 K K	8
2.2 質疑応答	9
2.2.1 バケット形状とつかみ効率について	9
2.2.2 適応土質	9
2.2.3 グラブ試験について	9
2.2.4 他の掘削方法との比較	9
2.2.5 工程と費用	10
2.2.6 足場かボンツーンか	10
2.3 その他の会社の意見	10
2.3.1 浦賀重工業 K K	10
2.3.2 三菱重工業 K K	10
2.4 補足資料	11
2.4.1 グラブ掘削試験（建設省大阪技術事務所）	11
2.4.2 外国での施工の一例	15
2.4.3 大容量グラブバケット	17

第3章 流体によるずり出しおよびこれに伴う掘削	19
3.1 各社の意見	19
3.1.1 石川島播磨重工業KK	19
3.1.2 浦賀重工業KK	19
3.1.3 KK渡辺製鋼所	19
3.1.4 日立造船KK	19
3.1.5 KK荏原製作所	20
3.2 質疑応答	20
3.2.1 掘削について	20
3.2.2 水中ポンプについて	20
3.2.3 その他	20
3.3 補足資料	21
3.3.1 サクションポンプの能力の限界(土木研究所)	21
3.3.2 エアリフトポンプの現況(土木研究所)	22
3.3.3 硬岩用浚渫船の施工例	26
第4章 水中削岩および削孔	28
4.1 マキナンテリー(高千穂交易KK)	28
4.2 削孔機械(三井造船KK)	28
4.3 その他	29
4.4 補足資料	29
4.4.1 デルマグロックブレーカー(K, BRACH&CO, Ltd)	29
4.4.2 重錘式砕岩船	30
4.4.3 重錘落下掘削機(建設省大阪技術事務所)	32
4.4.4 リーミングマシン(建設省大阪技術事務所)	32
4.4.5 マキナンテリー水中砕岩機(岩井高千穂株式会社)	35
第5章 特殊作業船	40
5.1 クレーン船	40
5.2 潜水艇(川崎重工・他に三菱重工資料提出)	40
5.3 補足資料	40
5.3.1 クレーン船の現況	40
5.3.2 大型クレーン船	42

第6章 大口径ボーリング機械	45
6.1 リバースサーキュレーションドリル	45
6.1.1 日立製作所の意見(図-6-1)	45
6.1.2 鴻池組の意見(京牟礼氏-元国鉄)	45
6.1.3 その他	45
6.2 ベノト掘削機(三菱重工)	47
6.3 カルウェルド式掘削機	47
6.4 石油さく井機械(石油さく井機製作所)	48
6.5 その他	49
6.5.1 加藤製作所	49
6.5.2 三菱重工業	49
6.6 補足資料	49
6.6.1 グイルトボーリングマシン(石川島播磨重工業株式会社)	49
第7章 海上作業台	53
7.1 ジャケット(日本鋼管)	53
7.2 水中浮力基礎SBB(呉造船)	53
7.3 デロング(De Long)	54
7.4 ルターナー(R. G. LeTourneau)	58
7.5 三菱SD	64
7.6 その他	64
7.7 補足資料	64
7.7.1 建調式足場	64
7.7.2 円筒式海上足場	65

第 1 章 総 説

1.1 ま え が き

土木学会本州四国連絡橋技術調査委員会最終報告書の付属資料として施工機械（海中足場をふくむ）に関する調査結果を取りまとめることとした。

調査の主体は昭和 39 年 4 月から 5 月にかけて集中的に行われたが、その時点における取りまとめ結果に、それ以後の調査結果を追加した。

現在施工機械の調査をふくめた実施試験が淡路島沖で建設省の手で行われており、近い将来、鉄道公団においても一連の施工実験を計画していると聞く。

このような情勢下にあることも手伝ってここに述べる結果は、実験的な裏付けはなし、すでに実用化されたものばかりとすることにはならず、見通しなしの推察の加わった報告になったことは否定できない。

このような事情のもとで、まとめられたものであることをはじめにお断わりする。

1.2 調査経緯

1.2.1 調査経過

	昭和 37 年	38 年	39 年	40 年	41 年	42 年
土 木 学 会			4月 5月 施工 調査 幹事会	5月 第 1 次 報告書 10月 長大吊 橋海外 技術 調査団		最終 報告書 作成
建 設 省			施工 機械 模形 実験、 試作 試験 沈設式 アンカー 抵抗力 試験	建調式 海中足 場試験 設計 調査団 参加 3 名 施工 機械 模形 実験、 試作 試験	淡路 島沖 施工 試験 （神戸、 土木研 究所） 陸上 部掘削 機械性 能試験	淡路 島沖 施工 試験
鉄 道 建 設 公 団			海中 基礎 施工 方法 一次案	調査 団参加 2 名 リフト 施工実 験 プレバ ンクド コンク	岩盤 定着実 験 リフト 施工実 験 プレバ ンクド コンク	最終案 海中基 礎施工 方法

1.2.2 施工調査幹事会の活動

土木学会本州四国連絡橋技術調査委員会基礎に関する専門部会施工調査幹事会では昭和39年4～5月にかけて基礎掘削用機械の調査のため、関連機械の国内製造業者、輸入商社、建設業者、関係官庁からなる特別委員会を開催した。以下はその議事抄録である。

委員会の開催日時・テーマ・出席者などは次の通りである。

◎第1回 「グラブ掘削について」

日 時： 昭和39年4月28日（火）14時～17時

場 所： 丸ノ内 精養軒（丸ビル）

出席者： 石川島播磨重工業KK（藤田勇一，市川芳雄，仲田裕彦）

KK 神戸製鋼所（南晶明，板井巖夫，谷 ）

KK 日立製作所（安倍克郎，井上忠雄）

油谷重工KK（池田卓雄，岩本）

沼田部会長。種谷（代矢野），福岡，白石，野上（代橋内），浅間の各委員。新谷（代田尻），

大橋（秀），吉田，布施，石川，杉田，大平，樋口，田中，田村，福岡（祥）の各幹事。高橋，

西田，千田（建設省）の各氏。

◎第2回 「ポンプ浚渫・ジェット掘削浚渫・水中削岩・クレーン船について」

日 時： 昭和39年6月11日（火）10～16時

場 所： 土木学会会議室

出席者： 石川島播磨重工業KK（藤田勇一，仲田裕彦，岩下正次郎）

浦賀重工業KK（大塩種三，高靖明）

KK 渡辺製鋼所（内田豊）

KK 荏原製作所（成瀬宏）

函館ドックKK（川島敬之助，新議三）

川崎重工KK（平野美木，及川健，山田喜弘，大宮）

高千穂交易KK（木露学）

三井造船KK（矢島，大島，新倉）

日立造船KK（高橋徳雄）

港湾技術研究所（松田任）

沼田部会長。野上（代新堀），平井（代島井），川崎，浅間の各委員。吉田，大橋（秀），布施，

杉田，石川，高田，樋口，伊崎（代星野），田中の各幹事。千田氏（建設省）

◎第3回 「削孔機械について」

日 時： 昭和39年6月16日（火）10時～16時

場 所： 土木学会会議室

出席者： KK日立製作所（久保寺敬蔵，坂本正克）

三菱重工業KK（山中晋次，大道征治，小竹秀雄）

KK加藤製作所（佐々木孝充）

国鉄東京操機事務所（吉田巒（代理崎山））

KK鴻池組（京牟礼和夫，駒塚克）

石油サク井機製作KK（尾関亮二，菊地常弘）

沼田部会長。広田副部会長。村山，兼子，平井（代熊沢），種谷（代矢野），浅間の各委員。

吉田，大橋（秀），相良（代西田），石川，杉田，宮田，伊崎（代星野），室町，宮川，田中の各幹事。千田氏（建設省）

◎第4回 「海上作業台及び海中掘削作業について」

日 時： 昭和39年6月18日（木）10時～17時

場 所： 土木学会会議室

出席者： 三菱重工業KK（萩原武二，山中，万波，小竹，大道，渡辺）

日本鋼管KK（岡久雄）

KK呉造船所（坂田静男，西時男，堤 豊）

鹿島建設KK（矢野信太郎）

KK大林組（斉藤二郎）

KK水野組（傍島湊，内田静夫，石橋哲夫）

沼田部会長。広田副部会長。平井（代阿部），浅間の各委員。大橋（秀），足立，鹿山，杉田，

宮田，樋口，宮川，布施，相良（代西田），田尻，田中の各幹事。千田氏（建設省）

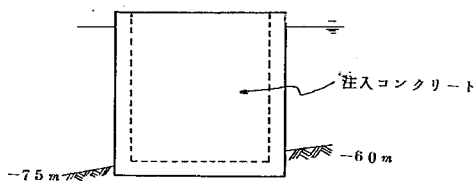
なお，第1回分については4月17日，第2～4回分については6月22日に出席予定各社に対して予め次のような施工条件の説明会を開催している。

1.3 掘さく機械を検討するための施工条件

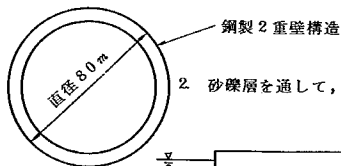
1.3.1 想定する基礎の形式

ここに述べる基礎形式は施工に使用する掘削機械を検討する場合、予想される使用状況からまとめたもので、あくまで、想定したモデル条件である。

1. 露岩の上に基礎を置く場合。

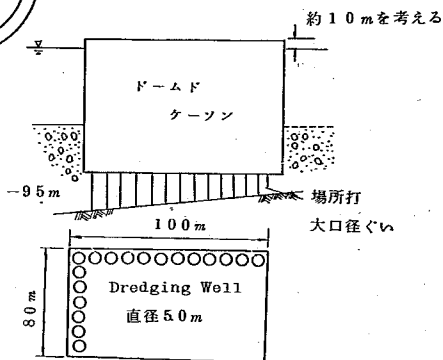


吊橋の主塔の基礎は左の図のような露岩上に置かれる公算が大きい。



2. 砂礫層を通して、岩盤上に基礎を置く場合

大口径の場所打ぐいが用いられる代り、ケーソン全体を軟岩中に5 m以上くいこませることもあり得る。



1.3.2 地盤条件その他

	分類	概要	一軸強さ	摘要
砂礫層	表層：沖積	最大粒径 150~200		シルト、粘土を挟むものと細粒分を含まないものがある。
	中下層：洪積	平均粒径 $\frac{5 \sim 10}{20 \sim 25}$		
軟岩層	新第3紀層 厚さ 1 m ~ 10 m の互層	硬砂岩	300~500 Kg/cm ²	極めて堅硬、コンクリートに近い。
		軟砂岩	40~80 Kg/cm ²	軟いが一様亀裂が少ない
		泥岩	20~40 Kg/cm ²	水をふくんで膨潤する。一部に凝灰質のものあり。

潮流の最大流速 7~8 ノット (2.5~4.0 m/sec)

第2章 グラブ掘削

2.1 各社の推奨するグラブ掘削方式

2.1.1 石川島播磨重工業KK

水平引込式クレーンを用いたものと門型クレーンを用いたものの2案を示している。

1. 水平引込式クレーンによるもの (図-2-1)

これは、バージ上に大形水平引込式クレーン(旋回せず)を置くもので、ウエル内で土砂をつかんだグラブバケットは、ウエル上まで巻き上げられ、それから水平にクレーン側に引寄せられて、クレーン基部にあるホッパに土砂を投入する。主な仕様は次の通り

公 称 能 力	200m ³ /h (又は100m ³ /h)
バケット容量	10m ³ (又は5m ³)
巻 上 能 力	50t
アウトリーチ	41m
揚 程	108m (内水中95m)
原 動 機	1000KW 電動
作 業 速 度	巻上 70m/min
	巻下 80 "
	引込 100 "
サイクルタイム	リフト81m 引込25m }として3分

横 移 動 ケーブルによりバージ全体を移動させる。

なお、10m³バケットは幅約3m、開口幅7~8m自重20tと想定され、5m中のウエルには使用できないので、ウエル径を大きくできない場合は5m³グラブバケットを使用する必要がある。また、バージの傾斜は最大リーチリフトの時で約3°である。

2. 門型クレーンによるもの (図-2-2)

ケーソン両側にバージを1台ずつ配置し、その間にブリッジ(300t)を架けて、ブリッジ上をグラブバケットを下げたトロリーが走行する形式で、トロリー2台を使用し公称能力400m³/hであるが、曳航に難点がある。仕様細目は、水平引込クレーンの場合とほぼ同じで、詳細な説明は省略された。

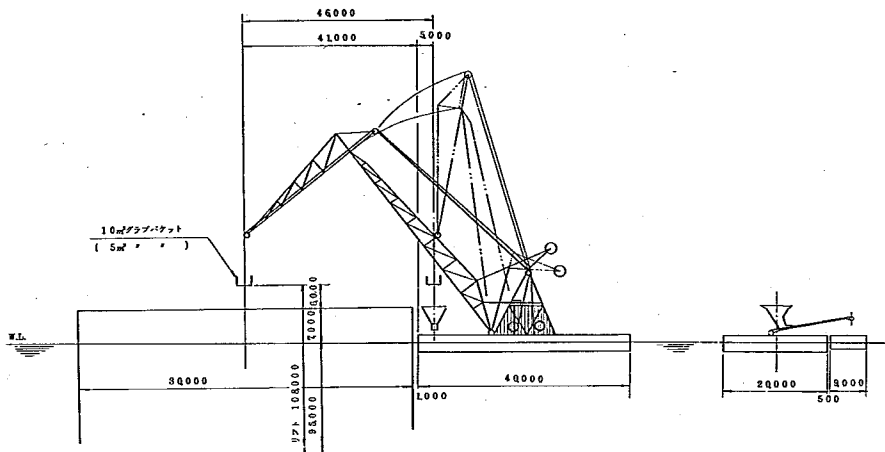


図2-1 水平引込クレーン式グラブ
(石川島播磨重工業)

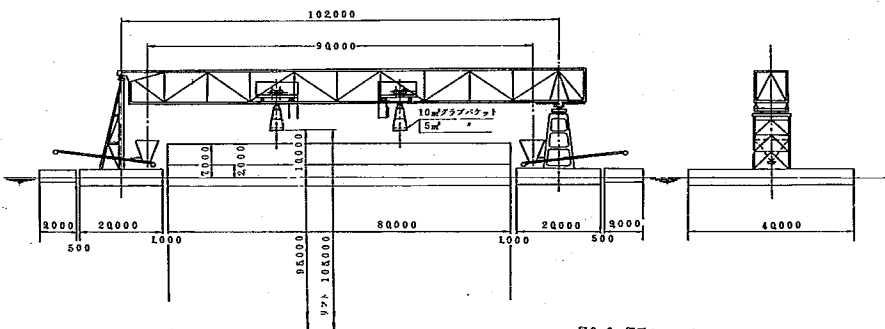


図2-2 門型クレーン式グラブ
(石川島播磨重工業)

2.1.2 KK 神戸製鋼所

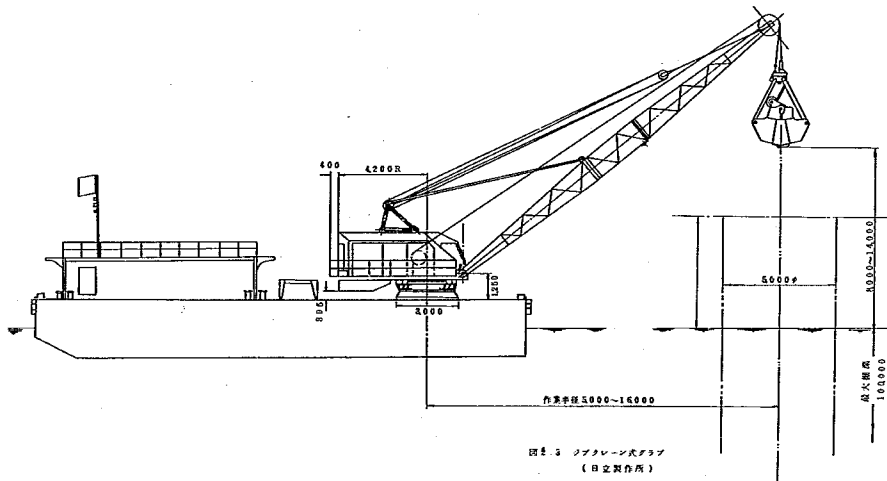
25 m^2 バケットを吊下げるリーチ50～55 m 、吊上能力11.5 t の旋回式ジブクレーンを円形ケーソンの場合3台、長方形ケーソンの場合4台使用すると考えると、90 m リフトでサイクルタイム45分、総合効率53%で、1台10時間(1日)当り1765 m^3 の能力となり、円形ケーソンの場合1 m 沈下させるのに76日、方形ケーソンの場合は同じく113日かかると計算している。

ポンツーン30 $m \times 20m \times 5m$ 上部重量 190 t

2.1.3 KK 日立製作所

自社で製作しているU23型パワーショベルをバージに搭載したグラブ船(図-2-3)を示している。ただ、この案は作業半径が5 $m \sim 16m$ であるため、このままではリーチ不足で使用が制限される。主な仕様は次の通り

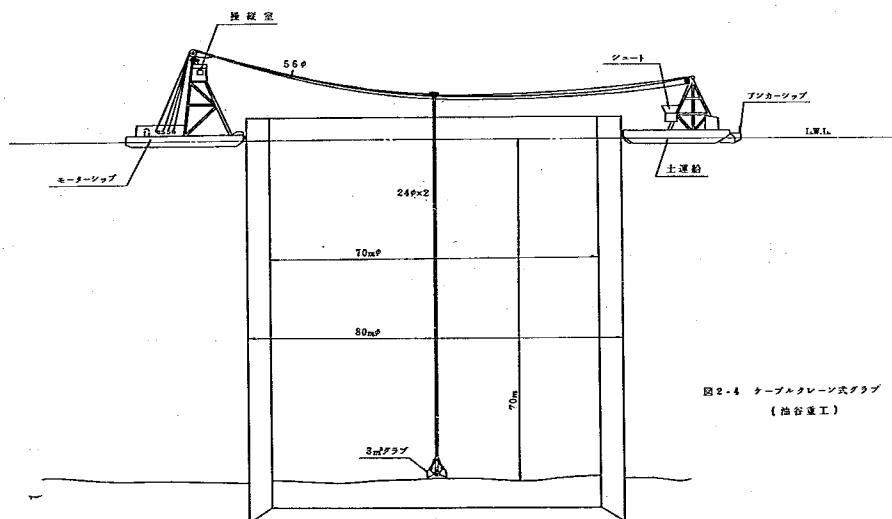
バケット容量	3 m^3	バージ排水量	270 t
バケット自重	10 t	長さ	20 m
ブーム長さ	19 m	幅	10.2 m
原 動 機	250PSディーゼル機関	深 さ	2.6 m
ロープ速度	50 m/min	吃水深さ	1.3 m



2.1.4 油谷重工KK

ケーソン両側に配置した2台のバジにタワーを立てこの間にケーブルクレーンを置く方式(図-2-4)を提案している。主な仕様は次の通り

グラブ容量	3m ³ (又は2m ³) 自重6 t		岩砕棒併用
原 動 機	300PS デーゼル機関		
	モータシップ	アンカーシップ	土 運 船
全 長 m	26	23	28.8
全 幅 m	11	10	6.7
深 さ m	2.5	2.2	2.5
吃 水 m	1.2	1.0	2
排 水 量 t	310	200	97
塔 高 m	17.5	11	
ロープ速度	ロープ径		
バケット操作用	60m/min	24mmφ×2	
走 行 用	160m/min	34mmφ	
主 索		56mmφ	
サイクルタイム	35分		
掘 削 能 力	50m ³ /h (効率100%)		



2.2 質疑応答

各社の発表後、取交わされた質疑応答を取纏めると次のようになる。

2.2.1 バケット形状とつかみ効率について

使用するバケット形式は、各社ホールタイン形式のものを推しているが、日立製作所は、普通の硬さはホールタイン、硬い所はオレンジビール式を用いるのが一般的であるが、実験によって判断すべきであるとしている。

バケットのつかみ効率は一般に実験で求めるべきであるとの意見であったが、仮定値として

石川島播磨重工業	50%	日立製作所	50%
神戸製鋼所	80%	油谷重工	90%

を挙げている。

バケットの大きさと掴み取り量は比例の関係にはない。

なお、バケット形状の問題とからんで砂礫の場合、リップに石をかみ込んで小粒径の土砂が逃げる人が多いので、そのかみ込みをなくす形状を工夫すべきこと、掘削面におうとつが生じた時は、グラブバケットが接地時転倒して、つかみ量 0 になる場合が起りうること、硬い土質に対しては掘削力を増すため、容量を減らして自重の重いバケット（2 t/バケット容量 1 m³ 当り以上（日立）又は 2.5～3 t/容量 1 m³（神鋼））が効果的であること、などが述べられた。

2.2.2 適応土質

グラブを使用する場合の適応する土質については、軟岩、砂礫を可とするもの（石川島）と、軟岩質についてはかなり能率が低下するであろうとするもの（日立）および岩については砕岩船など何らかの補助手段が必要（油谷）等があった。また、潮流のある場合、潮流を止めないでグラブ掘削を行なうと、漂砂などのため実質的に掘削できない恐れがあるという意見（油谷 音戸瀬戸に於ける経験）もあった。

2.2.3 グラブ試験について

各社ともグラブバケットの形状、つかみ効率、適応土質などについて試験により求めるべきであるといっている。

しかし、模型試験についてはあまり良い精度は期待できないので、できるだけ大きいものでテストした方がよい（日立）、できれば施工条件を全く同じに行なうのがよい（石川島）などの意見があった。

2.2.4 他の掘削方法との比較

他の掘削方法と明確に比較を行なった所はないが、日立は露岩の場合または軟岩層以上の硬い岩層に対してはリバースサークレーション方式を推している。石川島は、砂礫層についてはジェットによる掘削、運搬を推している。また、神戸はオープンケーソンの場合、グラブ船をそのケーソンの中に持込むことを考慮している。ケーソン内に配置できるグラブ船は 3 隻で、解体搬出入について 2 ヶ月の工期が必要としている。この他石川島で

は目下スキップバケット式ドレッジを開発研究中とのことである。

2.2.5 工程と費用

神戸は3セット使用すると、1台当り $1765\text{ m}^3/\text{h}$ の能力、10時間稼働を考えると1m沈下するのに約76日を要するとしている。

日立は36万 m^3 施工するに当り3 m^3 グラブ船9隻で2年を要するとしている。この場合の機械購入費は約5億円である。

油谷は $50\text{ m}^3/\text{h}$ 、8時間稼働で180日を要するとしている。

2.2.6 足場かボンツーンか

ボンツーンの大きさは波高、機械設備、アウトリーチによって異なる。

ジェット船は波高1mまでは作業している。

デリック設備のためのスペースは $15\text{ m} \times 15\text{ m}$ 、ボンツーンの場合アンカーの錯綜が問題となる。etc

2.3 その他の会社の意見

この会議以外の機会に発表されたグラブに関する資料は次の通りである。

2.3.1 浦賀重工業KK

露岩上にオープンケーソンをおく場合の施工法としては、砕岩後グラブで掘む方法が最も良いと考えられ、グラブはオレンジビル式が適当としている。オープンケーソンの場合はバケット容量はできるだけ大きいことが望ましく、これはクレーンの巻揚能力に左右される。このためにはケーソン内にグラブ船を入れることが考えられる。

サイクルタイム約4分、 $10\text{ h}/\text{day}$ 、 $20\text{ day}/\text{month}$ として計算するとつかみ量 2 m^3 （容量 4 m^3 程度）のバケット1台で約12.5月の工期を必要とする。

ドームケーソンの場合、ウエル直径から使用しうるグラブバケット容量は 86 m^3 となる。つかみ効率0.8とし4分サイクルで前と同様計算すれば、28万 m^3 の土砂に対して1台で行なう場合の所要工期は32ヶ月となる。なお、この時のクレーンは容量17.4t、リーチ40mのものが必要となる。なお、砂礫についてはジェット掘削、流体運搬という方法も考えられる。

2.3.2 三菱重工業KK

ベノト式のハンマグラブの利用を考えている。ハンマグラブはシングルラインコントロール式で、玉石砂利、硬土質の水中掘削に適すると称している。

2.4 補足資料

2.4.1 グラブ掘削試験（建設省大阪技術事務所）

本試験に使用した掘み揚げ式掘削機械は第1表に示す5種類である。

標準型、硬土盤用及び油圧式クラムシエルは、上から見て矩形断面をしており、オレンジビールバケット及びハンマグラブは円形断面をしている。

標準型クラムシエル、硬土盤用クラムシエル、オレンジビールバケット及びハンマグラブは神戸製鋼所製 P&H 255A 掘削機に装着して作動させた。また、油圧式クラムシエルは、油谷重工製の TY45（ボクレン）を使用した。これはタイヤマウイトの掘削機である。

表 2-1 掘み揚げ式掘削機械

種 別 目	ク ラ ム シ エ ル			オレンジビール	ハンマグラブ
	標 準 型	硬 土 盤 用	油 圧 式	バケット	
メーカ	神 戸 製 鋼	油 谷 重 工	油 谷 重 工	—	三 菱 重 工 業
容 量 m^3	0.6	0.6	0.4	0.4	0.08
重 量 Kg	1650	2800	530	1050	1400
高 さ (開) m	2.530	3.200	1.916	1.980	3.000
巾 (開) m	2.030	2.100	1.400	1.675	950
巾 (閉) m	1.810	1.900	1.154	1.400	950
横 巾 m	830	943	1.000	—	—
爪 の 形 状	楔 型	楔 型	楔 型	球 面 分 割 刃	半 円 錐 刃
(長さ×巾) 寸法 m	210×100	180×120	150×75	—	—
数 個	6	5	8	刃 4 枚	刃 2 枚
掘 削 機 本 体	機 種	P&H 255A	P&H 255A	油谷 TY45	P&H 255A
	全重量 Kg	19500	19500	10285	19500
	ブーム長 m	10.670	10.670	5.100	10.670
	巻上速度 m/min	4.9	4.9	—	4.9

試験結果にもとづき二、三の検討を加えてみる。

(1) 掘み効率

1) 砂質ローム（0.5 m深さ付近）層での比較

順 位	バケット	掘み効率%	順 位	バケット	掘み効率%
1	ハンマグラブ	127.5	4	硬土盤用	35.2
2	油圧式	50.4	5	オレンジビール	14.3
3	標準型	45.3			

2) 砂礫 (1.5 m 深さ付近) 層での比較

順位	バケット	掘み効率%	順位	バケット	掘み効率%
1	ハンマグラブ	77.2	3	標準型	43.2
2	油圧式	44.0	4	硬土盤用	31.9

砂質ローム層に於けるハンマグラブの掘み効率は良好であるが、排土に手間どるのが難点である。

オレンジビールの掘み効率は非常に悪く、砂礫層の出てくる前に試験を中止したので、順位から除いた。

なお、参考までに硬土盤用クラムシェルで掘った孔の底部を利用して、砂礫層に於けるオレンジビールバケット掘削を行ったが、砂質ローム層での掘み効率と大差なく、このバケットが、掘削に向かないことが判明した。

掘み効率だけに絞って比較するとハンマグラブが、良好な結果を示している。

(2) サイクルタイム

1) 砂質ローム (0.5 m 深さ付近) 層での比較

順位	バケット	サイクルタイム (s)
1	オレンジビール	43.0
2	ハンマグラブ	49.5
3	油圧式	50.4
4	硬土盤用	69.8

2) 砂礫 (1.5 m 深さ付近) 層での比較

順位	バケット	サイクルタイム (s)
1	ハンマグラブ	51.5
2	標準型	63.8
3	油圧式	66.1
4	硬土盤用	83.1

各バケット共、旋回角度 90° ~ 120°, 掘削機本体のブーム俯仰角度の動きも大体同じにして、各深さ毎のサイクルタイムを求めたものが以上の順位である。上から見たバケットの断面形状が円形をしているオレンジビールバケット及びハンマグラブは、バケットの位置ぎめをする際に方形のものより容易である。従って、サイクルタイムの短縮という形で現われてきている。

(3) バケット容量を 1 m³ に換算した場合の 1 分間当りの掘削量

順位	バケット	掘削量 単位時間・単位バケット容量 $(\frac{m^3}{mn} \cdot \frac{m^3}{m^3})$
1	ハンマグラブ	0.677
2	油圧式	0.305
3	標準型	0.258
4	硬土盤用	0.203
5	オレンジビール	0.062

バケットの容量、掘削時間を同一にした場合、バケットの形状が掘削量に及ぼす影響を表わしたものである。この場合、上の5種類のバケットの容量がすべて1m³あるものとみなし、順位は1分間掘削を継続した時の掘削量の大きいさで定めた。

この順位から想定して、ハンマグラブの大容量化をはかることにより、掘削能率を向上させることができるものと考えられる。

(4) バケット重量を1tに換算した場合の1分間当りの掘削量

順 位	バ ケ ッ ト	掘 削 量 掘削時間・バケット重量 $(\frac{m^3}{mn} \cdot \frac{t}{t})$
1	油 圧 式	0.227
2	標 準 型	0.094
3	硬 土 盤 用	0.044
4	ハンマグラブ	0.039
5	オレンジビール	0.024

バケットの重量が掘削量に及ぼす影響を表わしたものである。この場合、上の5種類のバケットの重量がすべて1tあるものとみなし、1分間掘削した時の掘削量で順位を定めた。油圧式クラムシユルの場合は、バケット重量以外に本体重量の50%近くが加わるので比較にならないかも知れないが参考までに記しておいた。

バケット重量が掘削量に大きな影響を及ぼすものと考えられるワイヤ吊りのバケットの中では、標準型クラムシユルが最もすぐれている。

(5) 各バケット毎の観察

各バケットを通じて、砂質ローム層での掘削土の排土性が悪く、土ばなれという点で一考を要する。一般に砂質ロームは粘着力が他の土質に比して強いようで、バケット内の掘削土を捨土するためにバケットを振ったり、落下時に急激に止めたりする程度では完全に排土せず、別途、排土機構を設けてやる必要がある。

特にハンマグラブでは、掘削土が圧入される傾向にあるので完全排土が困難である。試験中、度々、スコップによってバケット内の土を人力排土した。

各バケットを観察していて気のついたことをバケット毎に列挙してみると、次のとおりである。

1) 標準型クラムシユル

- バケットを開口した場合、刃先きが少し内側を向いているが、刃先きが少し外側を向く状態に改めると、直立した壁の孔が掘れそうである。現状のものでは、深さが増すに従って、孔の大きさが減少する傾向がある。
- 落下高さは、この土質では0.5～1m程度で十分である。砂礫層に向かって3m高さから落下させた時、刃先の一部に曲りを生じているから余り大きな落下高さは採れない。
- 振れ止めのワイヤの位置が適正でないため、常にバケットの位置が掘削機本体に対して少し傾き、バケットの位置ぎみに困難を感じた。
- バケットが不整地に落下した時の安定性は比較的良好である。これは開口した場合のバケットの重心が低い位置にあるためであろう。

2) 硬土盤用クラムシェル

- a) バケットを開口した場合、刃先きが、標準型のものより内側を向いており、しかも、摩耗により丸くなっている。そのために掘削性はバケット重量が大であるにもかかわらず劣るようである。
- b) 落下高さは、0.5～1 m程度で十分である。
- c) 振れ止めワイヤは、標準型クラムシェル用のものを使ったので、容量が小さく、余り効果がない。
- d) 重心が上部にあるためか、不整地に落下させた場合の安定性は非常に悪い。
- e) 刃数が、2枚と3枚とからなっており、2枚の側で壁面掘削を行うと滑って逃げる傾向があり、壁面の傾斜が3枚の側よりゆるやかになる。
- f) 深さが増すにつれて、孔の大きさが減少する傾向は、標準型のそれよりも著しい。

3) オレンジピールバケット

- a) 刃先きを開口した場合、刃先きと地面との角度は90°で、ほぼ直立している。この状態で落下させると、刃先きが15 cm前後、土中に喰い込むが、閉口してゆくと刃先きが浮上がり掘削性が非常に悪くなる。
- b) 落下高さは、2 m前後で行った。それ以上の落下高さを採ると、バケットの側(刃先上部)が損なわれそうである。
- c) 振れ止めのワイヤは標準型のものを用いたが、バケットの重量が軽いのでは十分その効果を発揮する。
- d) 不整地に落下させた場合、刃が閉じ易く、使いものにならない。
- e) 刃先の形状が薄く、丸いことから、本来、このバケットがフケ土などを対象に作られたものであろう。砂礫のフケ土を掴ませてみると、ほとんど満杯になった。
- f) 刃先の形状を鋭く、堅牢なものに改め、バケット重量を増加させることにより相当の掘削性が付与されるものと考えられる。

4) ハンマグラブ(ベント)

- a) バケットを開口した場合、刃先が少し外側を向くように設計されている。本試験で使用したものは、新品で内部機構が十分ならされておらず、刃先が少し内側を向く状態であった。試験孔は深さが増すにつれて、直径の減少がみられ、バケットの外径近くまで孔が縮小すると、そのまゝの口径で掘進できそうである。
- b) 落下高さは、5 m位が最適であるが、本試験では、1 m前後の落下高さで行った。高い場所からの位置ぎめが困難なこと、がその理由である。この程度の落下高さでも刃先の刃こぼれが若干あった。
- c) バケットが不整地に落下した時、しばしば転倒し、ほとんど土を掴まない。刃先きが鋭利なため土中への喰込みがよく、安定した掘削力を示した。
- d) 排土の際、バケットを上部の吊輪まで持って行かないと排土ができないので不自由である。

5) 油圧式クラムシェル

- a) バケットを開口した場合、刃先が少し外側を向いており掘削壁の直立形成は良好である。
- b) バケットの刃先の向きを変えられるので定められた区域を掘る場合は非常に有効であり、孔の出来形も一番正確で美しい。
- c) 掘削機本体の重量をバケットに加え得るので掘削力は強力である。
- d) 現状のまゝでは深い孔が掘れない欠点がある。

2.4.2 外国での施工の一例

＜ベラザノ・ナローズ橋のケーソン内掘削＞

中央支間長1,298mを有するベラザノ・ナローズ橋の主塔橋脚基礎のブルックリン側ケーソンは、その断面が約80m×70mと世界でも最大のものであり、根入れ深さも又52mと非常に深いものである。このケーソンはシートパイルで水締めを行った盛砂上にセットされ、グラブ・バケットにより浚渫井内から掘削し、所定の基盤まで沈下させたものである。

こゝでは得られた資料より、上記のケーソンを沈下させるにあたってのグラブ・バケットの作業効率と、単位掘削土量当りの工費について参考までに述べることにする。

なお、図2・5および図2・6にそれぞれケーソンの平面図、側面図と橋脚建設地点の地質縦断面を示した。

掘削作業はクレーンで吊ったバケットで行われた。主として使用されたのはクラムシェルバケットであるが、それは掘削の対象となる地質が砂、砂まじりシルト、あるいは砂質シルトまじり粘土などであったからである。掘削深度が深くなり、地盤が硬く玉石などが現われる箇所ではオレンジビールバケットを使用した。クラムシェルバケットの容量は0.76～1.4m³のものであった。

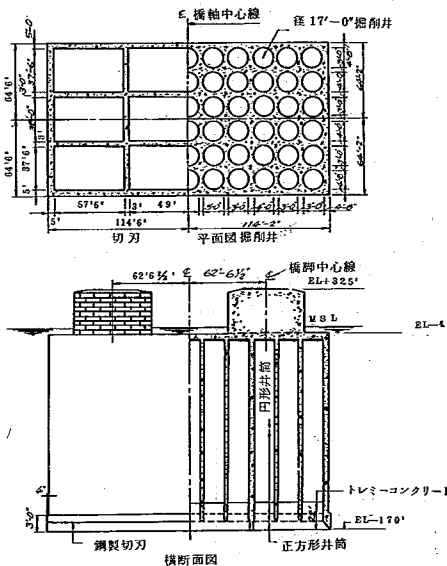


図2.5 ブルックリン側 ケーソン詳細図

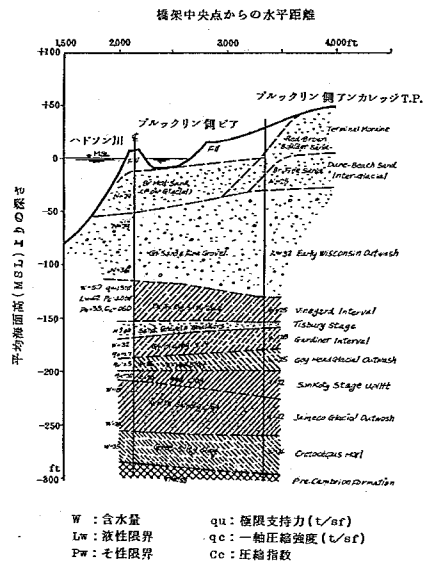


図2.6 ブルックリン側主塔橋脚建設地点の地質縦断面図

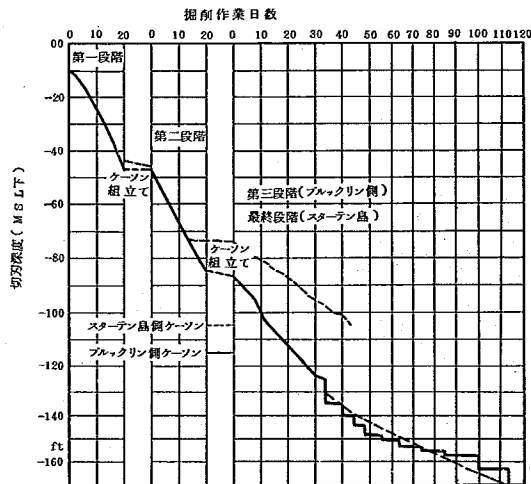
掘削は表2・2に示すとおり4段階にわたって実施された。

掘削日数と沈下量との関係をグラフに示したものが図2・7であり、これより理論的に各掘削段階における1日当りの掘削土量を計算しまとめたものが表2・3である。

表2・2 掘削工程表

刃口深度(m) 開始 終了	落下量 (m)	期 間 日	一日当りの 平均落下量 (m)	ケーソンの高さ (m)
-3.5 -14.2	10.7	23	0.46	13.2
-14.5 -25.8	11.3	20	0.55	25.8
-26.6 -35.6	9.9	27	0.34	37.7
-39.4 -52.0	12.6	94	0.15	49.0

図2・7 掘削日数と沈下量



注：最終段階においてはウォータージェット併用

表2・3 各掘削段階における理論的1日当り平均掘削土量

I	$22,500 \text{ m}^3 / 23 \text{ 日} \div 980 \text{ m}^3 / \text{日}$
II	$24,400 \text{ m}^3 / 20 \text{ 日} = 1,220 \text{ m}^3 / \text{日}$
III	$20,300 \text{ m}^3 / 27 \text{ 日} = 755 \text{ m}^3 / \text{日}$
IV	$34,500 \text{ m}^3 / 94 \text{ 日} = 367 \text{ m}^3 / \text{日}$

ケーソン内の掘削とケーソンの沈下作業に対する1m³当りの契約単価は2,280円であった。実際問題として1日当り(三交代制)の労賃と機械損料はほとんど一定であったので、1日平均の沈下量は深度に逆比例するから深度が大きくなるにつれて掘削単価は急激に高くなることは明らかである。実際の掘削単価は浅い部分で

1,610円/ m^3 から順次高くなり最も深い地点での掘削単価は3,750円/ m^3 であった。

深い地点でのこの単価の増加はグラブ・バケットの昇降時間が非常に長くなり、しかも水中をグラブを上げるためにつかみ効率が悪くなるところに原因がある。わかりやすく説明すると今容量1.4 m^3 のグラブを使用して水面下4.88 mの地点の掘削を行う場合、平均しておよそ表2・4に示すような時間がかかる。

表2・4 バケットによる掘削の一サイクルに要する時間

土砂の放出作業	30秒
底面までの吊おろし作業	26秒
つかみ作業	53秒
吊上げ作業	40秒

したがって1サイクル149秒(約2分30秒)この深度、この地質ではグラブが1回につかみあげる量はわずかに0.25 m^3 にすぎなかった。これはクレーンをフルに稼働させたとして、クレーン一基に対して一時間当りの掘削土量がわずかに61 m^3 であることを示している。

参考文献

- 1) NAI G. YANG Structural Design Engineer, The Port of New York Authority
- 2) ASCE Structural Engineering Verrazano Narrows Bridge (Conference and Annual Meeting/Oct. 19-23, 1964)

2.4.3 大容量グラブバケット

(1) ハンマーグラブ

ハンマーグラブの大きいものを作ること
は技術的に困難でない(前述 三菱重工)
とされているように、最近さらに大型の
ハンマーグラブが製作されている。例えば、
三菱ベント用ハンマーグラブ(刃先外径
1,050 mm, 重量1,600 Kg), および加藤
製作所(刃先外径1,780 mm, 重量4,300
Kg, 写真2・1参照)などがあり、むしろ
クレーン能力, つかみ効率, サイクルタイ
ムなどが問題となるものと考えられる。

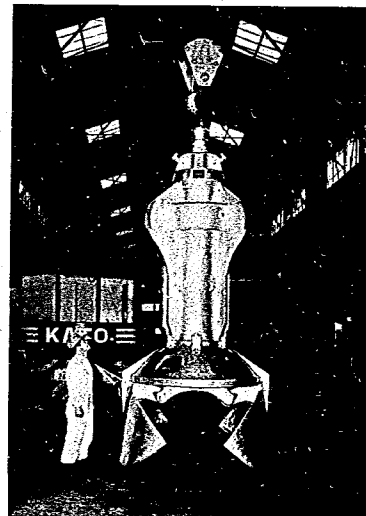


写真2・1 4.3tハンマーグラブ

(2) グラブバケット

現有の我国最大級グラブバケットの一例を次に掲げる。

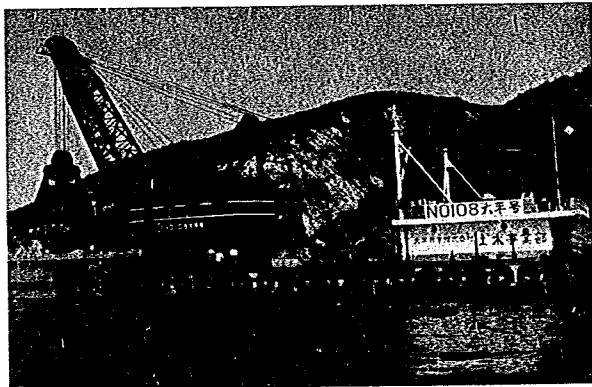


写真2・2

グラブ浚渫船「 Δ 108 太平号」

長さ×幅×深さ 33.0 m×16.0
m×3.8 m

吃 水 2.5 m

主 機 1,000 PS

グラブの詳細は写真2・3に説明

写真2・3 クラムシェルグラブバケット

(日立造船因島工場製)



対 称 地 質 硬土盤

フラッシュ容量 10 m^3

公 称 容 量 15 m^3

自 重 63 t

グラブ開口時 長さ 7.5 m

幅 2.2 m

本船にはこの他に、土砂浚渫用グラブ(フラッシュ容量15 m^3 ,
公称容量23 m^3 ,自重85 t)を備えている。

ク レ ー ン 360度旋回式ジブクレーン

捲 上 荷 重 80 t

最大掘削半径 16.5 m

総 揚 程 35 m

捲上速度(80 t時) 35~40 m/分

捲下速度(63 t時) 60 m/分

旋 回 速 度 約1.5回/分

第 3 章 流体によるずり出しおよびこれに伴う掘削

3.1 各社の意見

3.1.1 石川島播磨重工業 K K

現在あるポンプ船ではサクシオンヘッドの関係で、水深は 3.0 m くらいが限度と考えられる。粒径 150 mm くらいは問題ない。また、硬い所はカッタを使用すればよいと思う。

水深については石川島で作ったエジエクタ式のものを用いればよい。これは神戸付近で -50 m 程度まで掘った実績があり -100 m 程度は十分掘れると思う。この場合硬い土質については掘削にジェットを用いている関係で多少問題がある。

3.1.2 浦賀重工業 K K

ポンプ船については石川島と同じ意見であり、水深を深くするためにはエジエクタ式、水中ポンプ式などが考えられる。水中ポンプを使う場合粒径が問題となる。150 mm~200 mm の粒径のものは機械的に問題はない（例えば粒径の倍の太さのパイプを使用する）としても、その出てくる頻度を問題とすべきである。なお、水中モータの反力をどう取るかも考えなければならないが、ウエルを用いる場合はそれに持たせることは可能である。

掘削については、ロータリーカッタ、水噴射が考えられるが何れが有効かは実験によるのが良いと思う。ただ、水噴射については形状や吸引力の減少、ジェットの方向の固定など問題が多いので、研究が必要と思う。

能力的には 100 m³/h は期待でき、5 m 掘るのに約 2 時間でよいことになる。この場合むしろ段取り換えが問題となりその能率化のため 10 t 吊、リーチ 50 m の水平引込クレーンが必要となる。段取り換えの時間を 15 分として計算すると、所要工期は 3.5 m 下げるのに 1 日 10 時間、1 ヶ月 20 日間と仮定して 1 セットで施工すれば 1.5.6 ヶ月、2 セットではその半になる。

3.1.3 K K 渡辺製鋼所

現在水深 30 m 程度まで施工できるポンプ船が作られているが、外国ではオランダで 40 m の実績があり、またアメリカでは 70 m まで施工した文献もある。これらはどれもカッタレス式で、ジェット、エジエクタなどを併用している。水中ポンプ式のものも外国では作られているようである。一般に水深が深くなるほど含泥率が下がり能率が悪くなるのでジェット等の併用は必要である。掘削については、カッタをつけるかどうかは地盤の硬さによるので、試験によるなど研究する必要がある。

3.1.4 日立造船 K K

ポンプ船の能力等については他社と同じ。8000 HP のポンプ船を製作しているが、これに水中モータ式の水

40~50mまで可能であるが、土質は硬くない方がよい。硬い土質についてはカットが必要となるかも知れない。

ケーソンの一部にポンプを取付けうる構造とすることも考えられる。

土運給については、バージ上に泥水を吹いて水だけ溢流させればよい。

3.1.5 KK荏原製作所

ポンプによる吸込みのみで作業する場合の水深は-25m(ポンプ負圧で-8mAq)であろう。したがってこの様な深い水深については、エジクタ、ジェットによるブースタ、水中ポンプなどの手段が必要である。

ジェットブーストは効率が悪く、水中ポンプ式の方が良いと思う。

3.2 質疑応答

3.2.1 掘削について

ジェットで岩を掘削することは困難でカットが必要である。例えば10kg/cm²の圧力では硬い土層はぬけない。18kg/cm²でも硬い砂利層などは困難で25kg/cm²の圧力水が必要である。(石川島)また、圧力水流が吸入水流をさまたげる点も問題である。(浦賀)水力採炭の場合は40~80kg/cm²を使用している(荏原)。カットとジェットの併用も考えられる(石川島)が、その使用例はなく、小型の攪拌用スクリーを用いた例があるので、これを大型化することも考えられる。

水梁が大きくなるとカットを取付けることが困難となるが、これは油圧駆動式のものをラダーの先に取付けたり一輪入例あり(渡辺)、水中モータなどによることも考えられる。(浦賀)いずれにしても、掘さく土砂の程度に関連して試験が必要である。

3.2.2 水中ポンプについて

水中ポンプ式のものを目下試作中である(川重、荏原)。目下試作中のものは800PSのチューブラポンプ式で管の中にモータも取付けているベロベラ式のものであるが、管自身をロータにして、それに羽根を取付けてポンプとすることも考えられる。(荏原)この機械は8000PSのポンプのブースタとして取付けられ9月頃完成する。水中ポンプを使う場合、最大粒径が問題となる。(渡辺)

3.2.3 その他

1. 特殊な型としてノズル先端を方向変換できるものを作っている。(渡辺)
2. バイブのウエル間配置換えは困難でクレーン能力が問題となる。(浦賀)
3. ポンプ所要動力は400mmφのバイブを使用し管長60m(総揚程13m)とすれば、150KWでよいので問題は無い。(浦賀)
4. エアリフトについての意見の交換はほとんどなかった。

3.3 補足資料

3.3.1 サクションポンプの能力の限界 (土木研究所)

2.1項の各社意見にあるように、ポンプ船の深度における限界は30m~35m位であると言われている。ポンプ船の場合、ポンプは土砂搬送用をして吐出圧の高い渦巻ポンプが使用されており、このポンプはサクション用としては設計されていない。

リバースサーキュレーションドリル用その他用途に製作されているサクションポンプは200m位までサクション可能であると言われている。

土木研究所において、サクションポンプを用いた削孔試験 (図-3-1参照) を深度100mまで行つたが、深度による能力の減少は非常にわずかであった。この結果からも分るように、掘削土砂の搬送を同一ポンプで行わないならば施工水深は殆んど問題にならないものと考えられる。しかし、効率上吸込揚程を約3m以内にするために、施工法上ポンプの設置方法および設置場所が問題点となる。

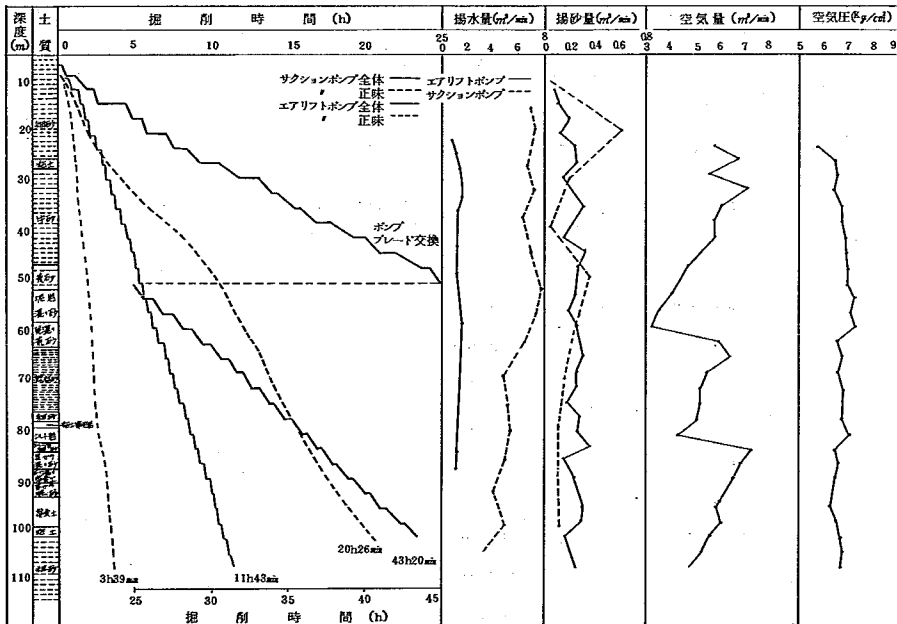


図-3-1

3.3.2 エアリフトポンプの現況（土木研究所）

リバースサーキュレーションドリルによる場所打抗工法が採用されて以来我国においてもエアリフトポンプの利用度が急激に増加して来た。

エアリフトポンプは機構が簡単なうえに高深度の土砂の排出に適しており、流体による連結的なズリ出し用としては有用な工法の一つであるものと考えられる。

以下土木研究所で行った調査、試験結果の概要についてのべる。

1 エアリフトポンプに関する現有の理論式とその検討

エアリフトポンプに関する理論式は幾種類か打出されているが、大別すると空気の等温膨脹における仕事量から導いたものおよび運動方程式から導いたものに分かれる。主な理論式は次の通りである。

$$\frac{Q_0}{L} = \frac{H_2 + h\ell}{10 \ell n \left(\frac{P_1}{P_0} \right)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{Q_0}{L} = \frac{H_2 + h\ell + h_s}{10 \ell n \left(1 + \frac{H_1}{10} \right)} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_0^* = \frac{H^*}{0.2 \ell n \left(\frac{H_2^* + 3.4}{3.4} \right)} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{Q_0}{L} = \frac{1}{P_1 \ell n \left(\frac{P_1}{P_0} \right)} \left\{ H_2 + \left(1 + \zeta_0 \right) \frac{V_0^2}{2g} + \zeta \frac{V_1^2}{2g} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{Q_0}{L} = 2.3 H_2 K \gamma \ln P_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$K = 1 - \frac{L}{46.7 A^2 Q_0 \ln P_1} \left\{ 2 Q_0 L \left(1 - \frac{1}{P_1} \right) + Q_0^2 \left(1 - \frac{1}{P_2} \right) + L^2 \right\}$$

こゝで

- Q_0 : 標準状態に換算した空気量 (m^3/min)
- L : 揚水量 (m^3/min)
- H_1 : 浸水量 (m)
- H_2 : 揚程 (m)
- h : 管内損失水頭 (m)
- h_s : その他の損失水頭 (m)
- P_1 : 空気吐出口における圧力 (kg/cm^2)
- P_0 : 大気圧 (kg/cm^2)
- Q_0^* : 空気量 cuf (free air) / gal (water)
- H^* : 管長 (ft)
- H_2^* : 揚程 (ft)
- C : 効率

- c_0 : 管最下端より空気吐出口までの損失係数
 c_1 : 空気吐出口より出口までの損失係数
 V_0 : 空気吐出口における流速 (m/sec)
 V_1 : 揚管出口における流速 (m/sec)
 η : 流体効率
 A : 揚管の断面積 (m^2)
 g : 重力の加速度 ($9.8 m/sec^2$)

上式(1)~(3)式は空気の等温膨脹による仕事量から導いたもので損失水頭の考方のみが異なる。これ等の場合に損失を一定とすれば揚水量と空気量は直線的な関係になるため、効率が揚水量又は空気量に対して一次以外の関係を持つことになる。図-3-2は内丸博士の実験による値と効率の関係を示す。

(4)(5)式は運動方程式から導いたもので、(4)式は c_0, c_1 および V_0, V_1 を定数とした場合には空気量と揚水量の関係は一次の函数となるため V_0, V_1 が空気量又は揚水量の函数とならなければ実験値と合わない。(5)式において、 η は流体効率として管内の流動抵抗、空気の滑りなどを表わす係数であって、実験結果から0.61位であると云われている。この式では空気の滑りを一定にしてある。

2 実験結果と理論式

空気と水の2相流として、揚水量は空気量が増すにしたがってある程度まで増加し、更に増すと除々に減少する。一方浸水比が増にしたがって揚水量は増加する。

エアリフトポンプにおいて上昇する管内の水と空気の流れの流型(flow pattern)を大別すると次の3つに分けることができる。

(1) 閉塞流(plug flow) 図-3-3(a)に示す様に管内に水だけの部分と空気だけの部分が出来て振動しながら上昇する。すなわち、空気量が少い場合(浸水比によって異なる)に空気と水の滑りが大きくなって空気が通り抜けたあとと滑った水が落下して次に来る空気の上に溜る。次々に上昇する空気が上に溜った水を押し上げるに充分な圧になるとその水を出口に押出す。その押出す空気と一緒に昇って来た水は出口まで達せず滑って落下するそれを次の空気が押出す作用を繰返す。

(2) スラグ流(slug flow) 図-3-3(b)に示すように管内のどの部分にも空気と水の混合流が存在する。この流型は最も安定していて土砂との混合

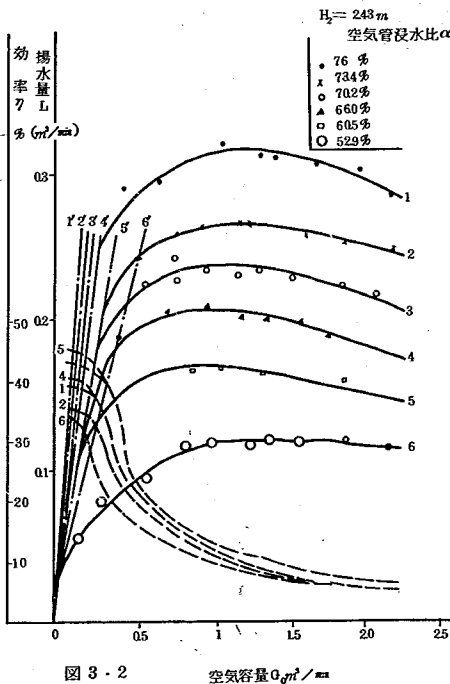


図 3-2 空気容量 $Q, m^3/min$

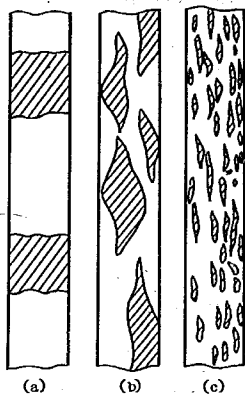


図 3-3

$$V_g = \frac{G}{60 A \epsilon} \quad (m/sec) \quad \dots\dots\dots (7)$$

流を得る場合においてもこの流型が望ましい。

(3) 噴霧流 (Spray flow) 図-3-3 (c)に示すように更に空気量が増加するとスラグ流が噴霧状になってこの流型を作る。ここから揚水量は減少しはじめる。

図-3-4, 3-5, 3-6, 3-7は実験結果を揚管径毎、空気吐出口の種類毎に示したものである。

水の上昇速度は管の位置によって変らないものとし、(流速測定の結果は一定とみなすことが出来る)管内の水、空気の流れを V_L , V_g とれば次式によって表わすことが出来る。

$$V_L = \frac{L}{60 A (1 - \epsilon)} \quad (m/sec) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで ϵ : 空隙率

なお空気吐出口における圧力を P_1 その圧力の状態における空気量を Q_1 とし、吐出口において空気と水の滑りが無いものとしこの仮定における流速を $V_L'c$ とすれば(6)(7)式より

$$V_L'c = \frac{L}{60 A (1 - \epsilon)} = \frac{Q_1}{60 A \epsilon} \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる。水の流れが一定であれば空気は上昇するにしたがって当然膨脹するため空気の流速も速くなり水との間に滑りが出て来る。ここで空気の重量を無視すれば空気と水の単位体積当重量 r_m とすれば次式で表わ

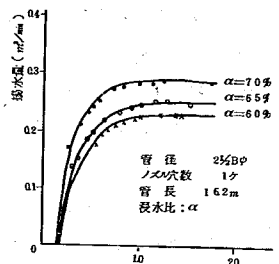


図 3-4 空気量 Q (m³/min)

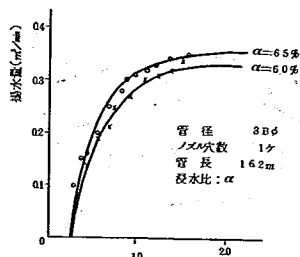


図 3-6 空気量 Q_0 (m³/min)

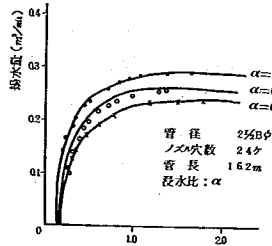


図 3-5 空気量 Q (m³/min)

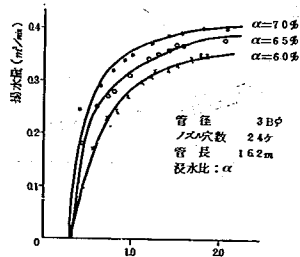


図 3-7 空気量 Q (m³/min)

すことが出来る。

$$r m = \frac{L}{G_1 + L} \dots\dots\dots (9)$$

また $r m = 1 - \epsilon$ であるから(9)式

$$V L c = \frac{G_1 + L}{A} \dots\dots\dots (10)$$

で表わすことが出来る。

図-3-8, 3-9は実測値 $V L$ と(10)式によって求められた $V L c$ の関係の1例を示したもので、図に おいて $V L c$ は $V L$ とほぼ同じ値をとっていることが分る。

空気吐出口の位置における圧力の釣合をベルヌイの式に代入すると次式で表わすことが出来る。

$$r H_1 = \left(\frac{V_1^2}{2g} + H \right) r m + \eta P \dots\dots\dots (11)$$

ここで、 r : 水の単位体積重量

ηP : 残圧および損失水頭

V_1 : 空気吐出口における流速

いま、 $r = 1$ として(9)および(11)式を代入すると

$$\frac{L (G_1 + L)}{2g A^2} + \frac{L H}{G_1 + L} - H_1 + \eta P = 0 \dots\dots\dots (12)$$

となり実験の結果 ηP は $r m$ の一次函数となり勾配の係数は管長よりやや小さくまた定数項は浸水量よりやや小さい、それぞれを管長および浸水量の係数として ϵ および ξ で表わすと(12)式は次の通り書変えることが出来る。

$$\frac{L (G_1 + L)}{2g A^2} + \frac{L H}{G_1 + L} (1 - \epsilon) - H_1 (1 - \xi) = 0 \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 ϵ は排出口における残圧および管内の損失によって決る係数でその位はおおむね $\epsilon = 0.85 \sim 0.95$ また $\xi = 0.92 \sim 0.96$ である。(13)式を整理すると

$$G_1 = \frac{3600g A^2}{L} \left\{ H_1 (1 - \xi) - H_1^2 (1 - \epsilon) \pm \frac{L^2 H (1 - \epsilon)}{1800g A^2} \right\} - L \dots\dots\dots (14)$$

更に

$$Q_0 = \left(1 + \frac{H_1}{10} \right) \left[\frac{35280 A^2}{L} \left\{ H_1 (1 - \xi) - H_1^2 (1 - \epsilon) \pm \frac{L^2 H (1 - \epsilon)}{17640 A^2} \right\} - L \right] \dots\dots\dots (15)$$

が得られる。(15)式より最大揚水量 L_{max} は次式で定まる。

$$L_{max} = H_1 (1 - \xi) A \sqrt{\frac{17640}{H (1 - \epsilon)}} \dots\dots\dots (16)$$

ϵ , ξ を一定とすれば(15)式はスラグ流の場合に一致して閉塞流の場合は計算値より実測値の水量が小さく、噴霧流の場合は虚数となって水量が出て来ない。

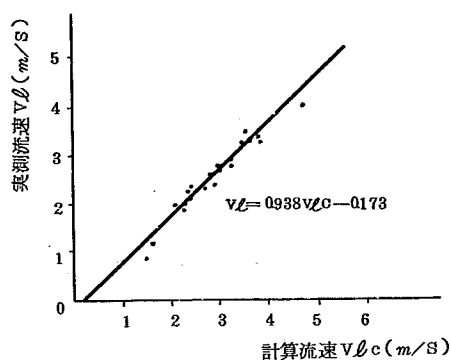


図 3・8

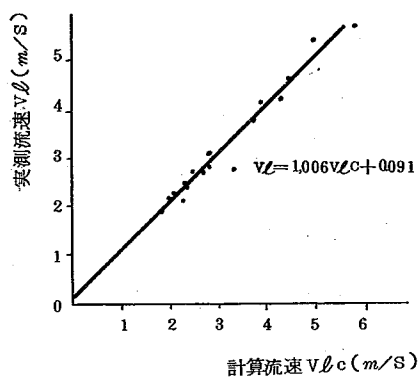


図 3・9

3.3.3 硬岩用浚渫船の施工例

浚渫作業船の一種であるポンプ・ドレジャ―は、浚渫能率が良好であることが知られているが、硬岩掘削用のものが現れたのは最近のことである。ここでは「スエズ号」を一例としてその使用例を簡単に述べる。

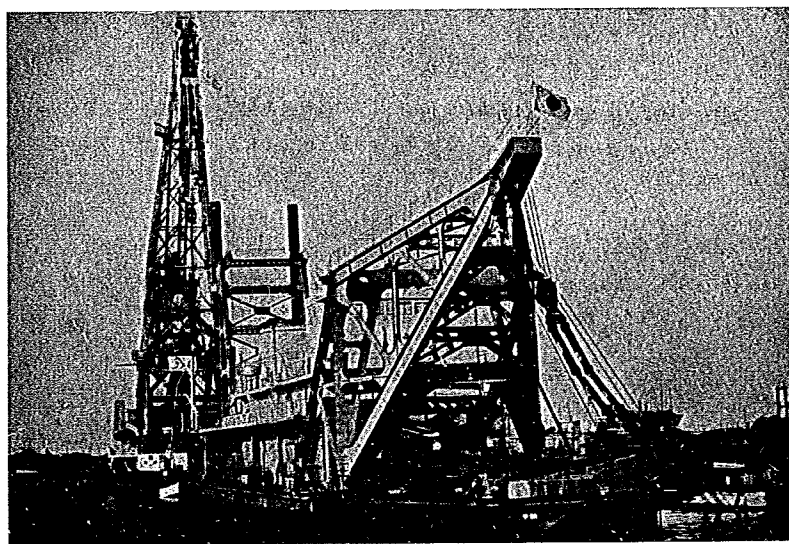


写真 3・1 スエズ号 (五洋建設)

全長 (ラダーを含む)	88.4 m
長×幅×深さ	59 m × 16 m × 4.3 m
吃 水	3.6 m
排水屯数	3150 t
浚渫最大深 (海面下)	18 m

吐出管径 760mm

主ポンプ用原動機スチームタービン 5000HP

カッター用原動機 1100HP

掘削機構は船体から張り出したラダーの先端に付いたカッターにより掘削を行い、これをポンプで流体運搬するものである。すなわち重いラダー（約200t）で岩盤を押しつけながらカッターを回転し岩石をえぐり取るようにして掘削を行う。

スエズ運河浚渫工事における実施例では、礫岩、砂岩（茶色、灰色）、頁岩などの水面下約14mの硬い岩盤19000m³の掘削を就役日数37日（稼動日数30日）で完了した。これは平均640m³/日、あるいは86m³/時に相当する。

硬岩の掘削ではカッターの磨耗が著しく、カッターの形状、材質の改良が必要である。また掘削能率を上げるためにはこの他に、ラダーを重くし、カッターの回転力を上げ、かつ船体全体を剛強にする必要がある。

第4章 水中削岩および削孔

4.1 マキナントリー（高千穂交機K.K.）

マキナントリーの空気（または蒸気）ハンマは複動式のものもあり、一応水密構造であるので水中でも使用できる。その先端にチゼルまたはモイルポイントを取付け、ガイドを使用すればロックブレーカとしても使用できるので国内でその様に改造して水中さく岩用に使用している。現在まで25m水深の使用例があるが、水深50mで使用するには大型機を使い、シールを完備する、使用空気圧を上げる（蒸気の使用は困難）の点を考慮すれば可能と思われる。

（なお、空気圧8kg/cm以上の場合は特注機械となる。）

この機種の特徴は、発破、落錐式に比べ付近への影響が少ないこと、仕上げ精度の良いことがあげられている。

（以下質問に答えて）

チゼル、モイル取付けによって可動部分重量は増加するが、ラム重量の4倍までのタイが打てることになっているので性能上問題は無い。地盤が傾くとセットが斜めになるため性能が下がる。水深の深い場合はガイドが必要と思う。施工法は1～1.5mおきに打ってそのあとをグラブで掘削する。平らな所はモイル、山部はチゼルによる。落錐に比べいつも高い能率であるとは限らない。価格は本体のみ700万円、全体で1000万円（11B8型）である。

（以上高千穂）

運輸省第4港湾建設局の上の関号は、ドリル-発破-グラブとマキナント-グラブの両方が可能であるがいろいろな点から後者を多く用いた。

（函館ドック 川島 元四建）

4.2 削孔機械（三井造船K.K.）

水中削孔についてはドリフタを水中に沈める方式とガイドに依ってドリフタを下げる方式の2通りを作ったが、浅い水深の施工側しかない。深い水深になった場合はドリフタを海底に沈める方式の方が良いと思われ、機械を作ることは可能と思う。ただ、潜水夫が利用できない水深の場合、孔位置の確認、装束方法に問題があり研究を要する。なお、米国では90'の水深をドリフタを沈める方式で施工した例がある。

（以下質問に答えて）

今使用しているドリフタは東洋工業のYT45で、孔径90mmφ、孔深さ2m、水深約10mがガイドフレーム長さ16.5mである。これをマルチドリル式のドリルジャンボとすることは可能である。

4.3 その他

掘削については土質にもよるが、発破が最も効果的と考えられ、ただ漁業補償の問題がネックになっている。落錐式とエアハンマの比較は、何れが良いか結論は出ていない。施工条件によるので、研究する必要がある。(港研) 25 tの重錐(800 mm ϕ)を用い、落下高3~5 m、ウィンチ200 IPの落錐式のものを製作した。また、海底地均し機械を開発中であるが水深22 mを考えているので、より深い水深については今後研究したい。(函館)

何れの形式のものでも、水深、潮流を考えるとガイドフレームを下ろして作業することはかなり困難と思われる。(浦賀) または台船をけい留することも大きい問題で、特にアンカを研究する必要がある。(渡辺)

4.4 補足資料

4.4.1 デルマグロックブレイカー(K, BRACH & Co, Ltd)

マキナンテリと同様に空気(又は蒸気)を動力とするハンマで本工法に関するデマグ社の意見は次の通りである。

1 使用方法

UP 24 A型ロックブレイカーは6気圧の圧縮空気を動力として駆動しますが、当然60 m造の水深で稼動することが出来ます。

その際ロックブレイカーのシリンダーの中に於ける圧力は常に水の圧力よりも高くなければなりません。これは稼動中及び作業中止の際も同様な状況を保つべきであります。

ロックブレイカーの中の圧力を水の圧力より高い状態に保つ為空気吸入口にストップバルブを取付け自動的に作動する様に致します。ロックブレイカーの外の圧力が6気圧より高くはない場合には水深は更に深くてもロックブレイカーを使用することが出来ます。

ロックブレイカーの外の圧力が6気圧より高い場合にはホースは水压に依って圧縮されるばかりでなく、シリンダー内部に水が入り故障の原因になります。

VR 28 A型は最高8気圧まで使用出来ます。その場合の空気の所要量は25~28 m³/毎分であります。

8気圧以上になれば機械そのものが浮上りシリンダーに悪い影響を与えます。故にVR 28 A型は8気圧まで耐える様に設計されていますからそれ以上圧力をかけることはいけません。

ロックブレイカーは本来広い場所の岩盤を破壊する為に作られておりますので穴の中ですみずみ迄完全に破壊作業を行うことは困難です。即ち穴の中を掘下げて行く場合、当然深くなるに従って穴の広さは細くなるのでロックブレイカーを作動するには種々制約を受けるでしょう。

ケーソン(70 m $\times$ 70 m)にある5~7 m ϕ 大破碎せず全面に亘って掘削するならば、ロックブレイカーの性能を十分発揮することが出来ます。ケーソンを次の様にすれば如何でしょうか: 70 m $\times$ 70 mのケーソンの枠を二重にしてその中間に圧力を掛けて水の入るのを防ぐ方法を取り、その際ケーソンの水の深さを60

m以上にならない様をすることです。

我々は今まで特殊な工法に依る経験がないので当方の試案として申し上げます。

2 能力

以上の如き特殊な状況下に於ける能力をはっきり云うことは困難ですが水深60m迄に於ける能率は下りません。然し深くなるほど掘削の地点を移動する時間はかゝります(1分間の打撃力は変わりません。

穴の中で稼働させる場合には深くなるほど能率は低下します。花崗岩を水中に於て破砕する場合の能率は移動時間を含めて6~8m³/毎時ですが軟かい岩質の時の能率は12m³/毎時です。

硬い岩盤の破砕には普通のチセルの方が能率が良いが、軟かい岩質の際はピラミットヘッドを附けたチセルを使用した方が良いと思います。

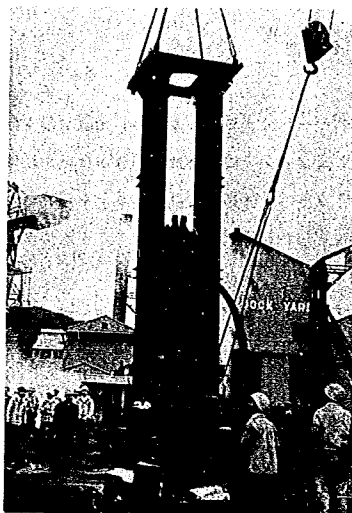


写真4・1 デルマグロックブレイカ

4.4.2 重錘式砕岩船

重錘式砕岩船は、ふつうの浚渫船では掘ることの不可能な海底の硬い岩盤を、重錘を落下させ破砕する作業を行うものである。この方法は原理が単純で、ハンマー式砕岩方法に比べ装置の故障が少く、能率も比較的良好である。

一例として現有最大の重錘式砕岩船の概要を示す。

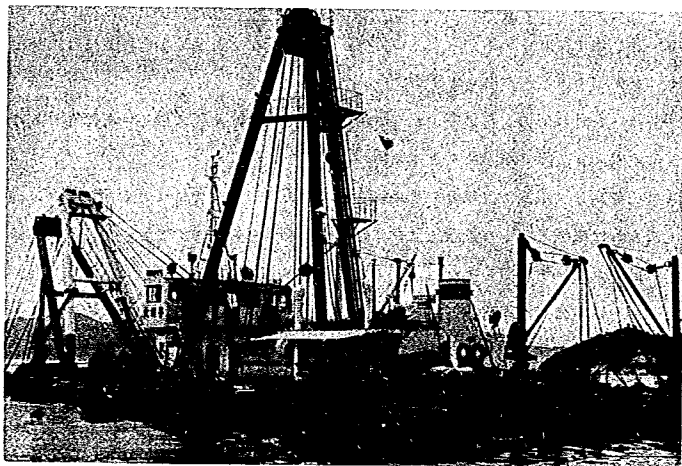


写真4・2 大船号

大槌丸（運輸省第3港建所属）

長×幅×高	337m×13m×3m
排水屯数	814t
重錘重量	30t
大きさ	φ0.70m×12m
落錘回数	60回/時
落下高さ	4～5m
動力	ディーゼル発電機
砕岩能力	水面下 22mまで

昭和40年度より実施中の備讃瀬戸の航路浚渫工事で、本島沖黒鼻の磯では本船により15mまで浚渫したが、（岩質は堅硬なホルンフェルス）掘削能率は3000～4500m³/月であった。

この工法では海底の起伏が甚しいと、掘削能率は著しく低下する傾向があり、また潮流が速くなると作業は困難となる。

またより深い海底の掘削を行うためには、重錘のガイドパイプを長くすること、ウインチ等の機械類を適当なものを選ぶことはもちろん、重錘落下の衝撃に耐え得るように船体全体を剛強にする必要がある。

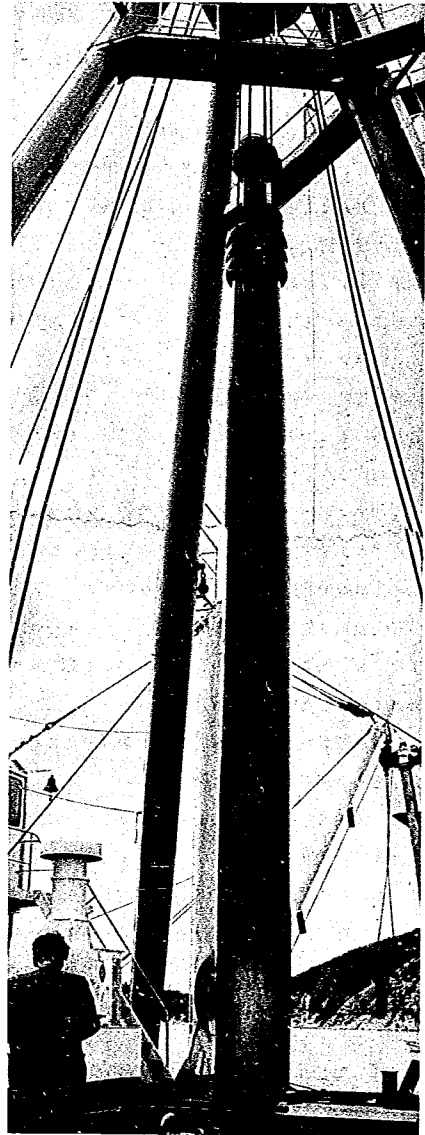


写真4・3 30t重錘

4.4.3 重錘落下掘削機（建設省大阪技術事務所）

過去に種々の掘削機で掘削実験を行なったものの中から、神戸層砂岩の掘削が比較的容易であり、実用化が可能と思われる大口径掘削機として重錘落下掘削機をとりあげ、明石海峡上で実施される海上実験用の掘削機として供しうるものを設計試作した。この掘削機により陸上掘削実験を行ない、引き続き現在海上実験において掘削試験を行なっている。

この掘削機は、下部にV字形断面の刃を取りつけた十文字型の重錘を案内管に沿わせて1m前後の高さから落下砕き、落下毎に重錘を回転して落下位置を変えながら順次掘削していくものである。また、掘削ずりはエアリフト方式によって、ずり揚げ管を兼ねた案内管を通り掘削孔の外へ排出する構造である。

本機は、海上実験におけるウエル（35mφ）の内部を掘削するので重錘の外径を316mmとし、過去に行なった一文字重錘の掘削実験より得られた線圧と同程度のものとするため重量を約8000kgとした。また、刃先角度についても上記実験で用いた60°、90°、120°のうちから掘削性能と磨耗を考慮し90°とした。この重錘は、クローラークレーンにより案内管に沿って落下し、これと同時に油圧シリンダーによって回転される構造とした。

案内管は、重錘の掘削面より約2m先行している。これは、重錘の偏心を避け、できるだけ垂直な掘削孔を得るためのものである。この案内管の先行のため、予じめ案内管の外径以上のパイロットホールをさく孔しておかなければならない。

掘削によって生じたずりは、案内管下部に設けた吸込口（130×150角—4個）より内径300φの管を通してエアリフトにより排出される。なお、これに用いるコンプレッサーは、7kg/cm²、17m³/minとし、エアの吐出口の形状は、絞らずに配管径のままとし、2箇所から吐出した。

海上実験に先立ち、陸上において、一軸圧縮強度が24kg/cm²程度の神戸層砂岩を掘削した結果、掘削能力は7m³/h、掘進速度にすれば0.9m/h（3160φ）が得られた。この値は、一文字の結果より本機の設計に当って想定した能力と同程度のものである。ただ、陸上実験で問題になった点は、掘削面の硬さが一様でない時に重錘が軟かい側へ逃げて掘削孔が垂直に進まないと同時に、重錘の落下時には、案内管と回転装置に衝撃荷重を与える不都合が生じたことである。

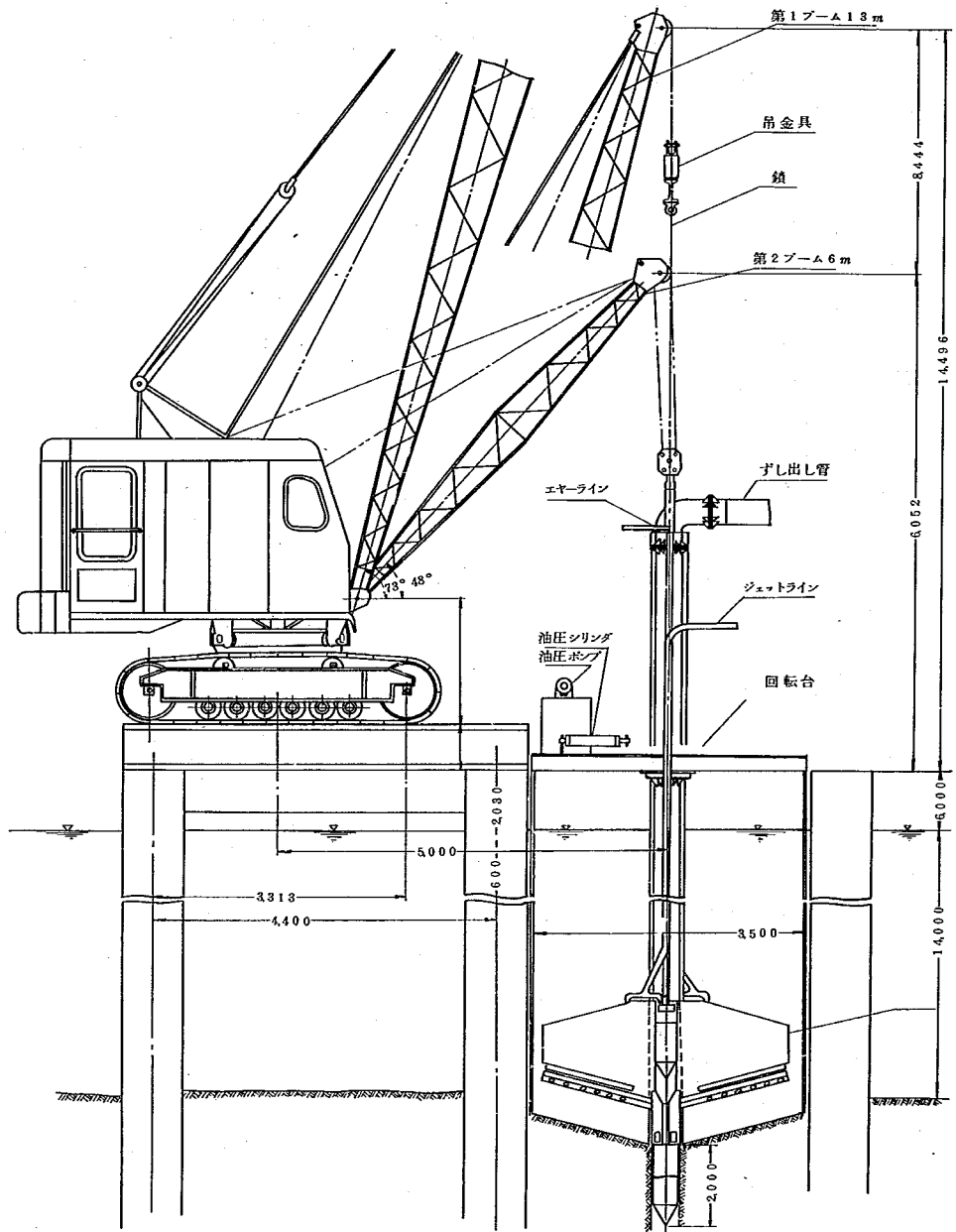
海上実験における掘削は、昭和42年2月に開始されたが、直径35mのウエル4本のうち3本を本機によって海底下約10mないし25m深さまでの掘削を行なうことになり、その結果2～3の改良を加え順調に掘削している。ここでの掘削能力は、最大掘進速度1m/hが得られているし、掘削と併用したエアリフトについてもずり揚げ管下部の吸込口の大きさに近い大きさの塊も揚がり一応の成功をおさめている。

しかし、この形式での掘削については、大口径になるに従って外周部になるほど落下ピッチが大きくなり掘削能力が低下する。その結果、外周部の刃の磨耗も大きくなり全体としての掘削能力もさがるので十文字型を改めて刃先が一様に掘削面をたたく形状のものにしなければならないと考える。

4.4.4 リーミングマシン（建設省大阪技術事務所）

海上実験では重錘落下掘削のあと鋼製ウエルを沈下させる必要がある。掘削岩が軟かい場合には自重によってウエルの沈下が期待できるが、硬くなってくると沈下しなくなる。この場合重錘落下掘削による3160mmφの掘削孔をウエルの外径3500mmφ以上に拡孔整形し沈下させなければならない。

図 4・1 重錘落下掘削機



この拡孔方法については、種々検討した結果、ブレードカッタを自転させながら本体を公転させて掘削する機構の本リーミングマシンを採用することになった。本機のブレードカッタは、掘削孔径3160mm以内におさまった位置から3600mmの掘削孔径まで拡孔するために油圧シリンダーを用い拡張される機構とし、水中においても自転による切削と公転による送りが円滑に操作できるよう油圧モータ駆動とした。

この掘削装置は、リーミングマシン、クローラクレンおよび鋼製ウエルよりなるもので、クローラクレンはリーミングマシンの高さを保ちブレードカッタに異状な推力がかゝらないようにし、鋼製ウエルはカッタの公転反力をとる働きをしている。

この機械を用いた掘削方法としては「段切り掘削」と「スパイラル掘削」が考えられる。前者はブレードカッタの高さを一定に保って所定の拡孔を終えたのち、カッタの高さをかえ上と同様の掘削を繰返すもので、後者は一段目の掘削を上と同様の方法にした後、カッタの位置を漸時下げていきながら自転と公転を行ないブレードの下面で切削するものである。これらの方法について陸上実験の結果、スパイラル掘削と類似した掘削方法をとった場合、上下振動が激しくカッタに異状な変動推力がかゝるので好ましくないことが判明した。従って陸上実験における掘削時の振動および掘削能力試験は段切り掘削によることとした。

この陸上実験で自転と公転の速度が適切でない場合、カッタと本体に大きな振れが生じた。この結果、本機の自転公転の速度範囲では、自転は最大速度の12 r.p.m. 公転を最低速度の0.08 r.p.m. で掘削することが望ましいことが判明した。また公転反力を受けるウエルのガイドレールとローラとの間隙は、極力小さくすることが望ましい。

この陸上実験における掘進速度は1m/h前後であり、重錘落下掘削での掘進速度と大旨等しい値であった。しかしこの掘削実験でも同様に、掘削側壁に硬さの異なる岩が現われた場合、カッタは逃げ本体の振れも大きかった。またカッタの刃数が少なく刃巾が大きいため、掘削負荷のかかり方が断続的になったが、これは小さな刃巾の切削を少しづつ位置をずらせながら数多く取りつけることによって、断続的な負荷も少なくなり、掘削能力もあげることが判明した。今後はこれらの改造を加えることにより大口径の拡孔掘削機の実用化は可能と思われる。

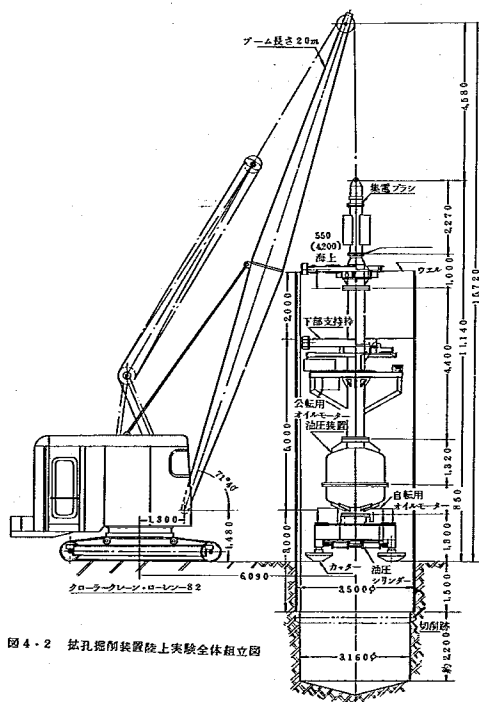


図4-2 拡孔掘削装置陸上実験全体組立図

4.4.5 マキナナテリー水中砕岩機（岩井高千穂株式会社）

1 概 要

米国 M K T 社（旧 McKiernan-Terry 社）製の単動式及び複動式くい打機は空気で封水する事により、水中の稼動が可能である。これは本来、水中にくいを打つ場合の為に考案されたものである。

弊社では、特に M K T 複動式くい打機はストロークが短く、ラムの落下速度が小さい為にくい頭の損傷が小さく、同時にアンビルブロックに加わる打撃力も比較的小さい事に着目して、M K T 複動式くい打機を用いて水中砕岩の装置を考案した。

この水中砕岩装置については、現在迄に或程度の使用実績が得られて居り、現場によっては非常に有効な事が判明したので、以下に本装置の概略を説明し、連絡橋建設の為に参考に供したいと思う。

唯、今迄本装置は殆んど航路拡張或いは航行の邪魔になる岩の除去の為に用いられているので、せいぜい水深 25 m ほどであり、海象条件も大分異なるので、連絡橋の現場でどの程度有効に使用出来るかという事は今後の研究検討を待たねばならないと思われる。

2 水中砕岩に使用出来る機種及び主な仕様

機 種	9 B 3	10 B 3	11 B 3
ラム重量 (lb)	1,600	3,000	5,000
1 打当り打撃力 (ft-lb)	8,750	13,100	19,150
打撃回数 (毎分)	145	105	95
必要ボイラー馬力	45	50	60
必要空気量 (cfm)	600	750	900
必要圧力 (psi)	100	100	100
口 径 (in)	8 $\frac{1}{2}$	10	11
行 程 (in)	17	19	19
全重量 (ハンマーのみ lb)	7,000	10,850	14,000

3 水中稼動に必要な装置

B 3 型くい打機を水中にて使用する場合は、陸上で使用するのに必要な装置の外に下記の様な装備を行う。

(1) エアシール

ボトムシリンダー（図 4-3）内の外部から水が侵入しない様に、1"φのエアホースをボトムシリンダーに連結し、70 cfm の空気を送って封水する（図 4-4）

この際シールの空気圧力は水圧よりも多少高い事を要する。即ち、水深 1 フィート当り $\frac{1}{2}$ lb である。シール用空気はくい打機を水中に入れる前、水中での稼動中及び水面上に引上げた後も供給を続ける。

(2) エキゾーストホース

ハンマーを水中で使用する場合は排気にもホースを連結し、排気を水面上に導く必要がある。

排気のホースは最少限下記のものを用いる。

9 B 3		3 $\frac{1}{2}$ "
10 B 3		4"
11 B 3		4"

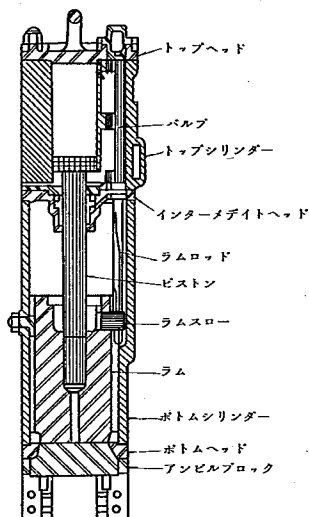


図 4-3

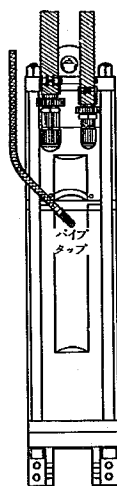


図 4-4

(3) 油 滑

水中で使用する場合はシールは空気によって行いが、ハンマーの駆動は空気でも蒸気でも可能である。しかし、蒸気を用いた場合、インレット外側の水によって冷され、水分の多い（湿った）蒸気になる為特に潤滑油には注意を要する。

- 1) ハンマーの稼動に蒸気を用いる場合、通常よりも動物性油脂を多く含む潤滑油を用いる。

通常（ドライスチーム）.....動物性油脂を 5～7%

水中稼動の場合 10～12%

- 2) 空気を用いて稼動する際は、陸上で空気に用いるのと同じ油で良い。

- 3) シーリングエアの油は 2) と同じものを用いる。

4 ハンマーをロックブレイカーとして用いる為の装置

- (1) ポイントガイド、バイルハンマーをロックブレイカーとして使用する場合、モイルポイント又はチゼルポイントをハンマーに取付ける為の装置としてポイントガイドをハンマーに装備する。これは型鋼で作られた保持用の枠で、バイルハンマー...、この枠内で一定の距離を上下に自由に動ける様になっている。

破砕作業を行う時は、台船上からポイントガイドを吊り、ハンマーはフリーの状態です定の砕岩個所に設置して作業を行う。

- (2) モイルポイント及びチゼルポイント、砕岩に用いるポイントにはモイルポイントとチゼルポイントがあり、岩質及び岩の状態に応じて使い分ける事が出来る。一般的には、平らな岩盤にはチゼルポイントが使用される。材質はニッケル・クロム、モリブデン鋼を用い熱処理を施してある。

5 作業能力

MKTのB3型ハンマーを水中砕岩に使用した場合の利点として、下記の事が考えられる。

- (1) 発破による砕岩と異り、付近を航行中の船舶に何ら影響を与えず、漁業保証の心配も少なく済む。
- (2) 落錐式のものよりも確実な作業が出来、仕上りもきれいである。
- (3) 発破、或いは落錐式による砕岩よりも精度の高い仕事出来る。

仕事量については、落錐式のものと同様、気象、海象、岩質現場の条件等種種なファクターが影響し、一概に基準を設ける事は出来ない。また今迄行われた砕岩作業に於ても殆んどデータが残っていないが、参考迄に現在判っているものを二三紹介する。

作業例 1

使用機械 9-B-3

現場条件 水面下約 1 m に厚さ 50 cm の緊密な砂層があり、その下に約 50 cm 厚さの砂岩層、更に 50 ~ 100 cm の間隔をおいて同様の岩層が存在する。

作業能力 モイルポイントを約 3 m、つまり岩をトータルで 1 m 程打抜くのに 4 分を要し、ハンマーの移動時間と併せて 1 サイクルが約 5 分であった。1 回の打抜きで砂岩層には 1.5 ~ 2.0 m 半径の間に亀裂が生じていた。

1ヶ所の船の位置決めて、1時間に図4・5の様に12ヶ所ポイントを打込む事が出来た。

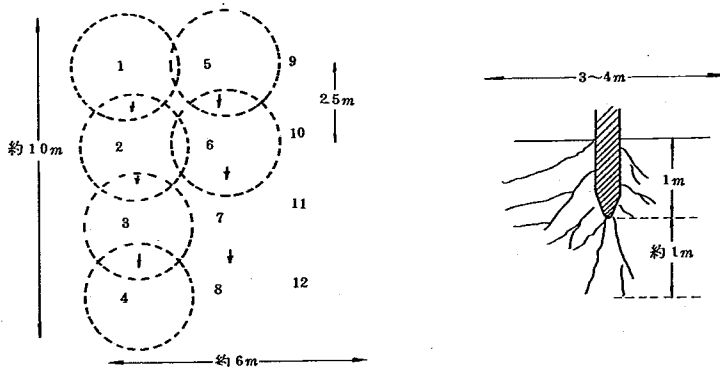


図 - 4 . 5

これは面積にして約 60 m²、深さにして約 2 m の範囲にクラックが生ずる事になるが、実際に採岩出来たのは深さ約 1.5 m までであった。

従って岩量は 90 m³ となるが、実際には $\frac{1}{3}$ のロスがあり、約 60 m³ 程度であったと思われる。

第四港湾所有の上の関号 (9-B-3) のデータによると、砕岩機的能力は下記の様になっている。

デゼルポイント使用

	水 深	岩 質	打 数	喰込深度	所要時間
1	2.45m	花崗岩	202回	0.85m	1.37分
2	2.30	"	293	0.35	2.22
3	2.20	"	360	0.95	2.53
4	1.40	"	309	0.75	2.18
5	2.40	"	263	0.85	2.05
6	2.00	"	277	0.90	2.10
7	2.50	"	146	1.00	1.09
8	1.10	"	579	0.70	5.13
9	1.10	"	293	1.00	2.22
10	1.40	"	349	0.80	2.43
11	2.30	"	203	0.90	1.35
12	3.15	"	180	0.95	1.24
13	4.20	"	157	0.50	1.11
14	3.30	"	387	0.80	2.41
15	2.75	"	330	0.95	2.40
16	2.65	"	150	1.05	1.04
17	2.65	"	148	0.45	1.04

又、この上の関号の維持費はおよそ下記の通りである。

建造費 (昭和33年) 33,000,000

総重量 106Ton 360HPディーゼル機関

年間運転経費 4,200,000 材料費 760,000

人件費(6人) 3,500,000

修理費 1,500,000

稼働率 年間230日 1日5時間

作業能力 年間20,000m³ 1日90m³弱

必要人員 6名 船 長 1

コンプレッサー 1名

機 関 長 1名

機 関 士 1名

測 定 員 1名

雑 用 1名

6 水深50mにて使用する場合

今迄得られた水中砕岩に関する経験は全て水深25m以下のものであり、これを水深50m以上の場所で用いた場合、どのような結果が得られるか全く予測が出来ない状態である。

ただ機械そのものについては、現在用いている水中砕岩装置に多少の改造を加える事により十分使用に耐えられるものと思われる。その重点は

- (1) 使用機種は、出来るだけ重量を大きくする為に11-B-3を使用するのが良いと思われる。
- (2) 50mの水深にあっては約5kg/cm²の水圧が加わるので、シーリングには十分留意する必要がある、ハンマーのアンビルブロック及びポイントヘッドの部分を特殊なカバーで保護する必要がある。
- (3) シーリングエアの圧力は、5.5～6kg/cm²、ハンマー駆動エアの圧力は、ハンマーの許容限度8kg/cm²程度必要である。
- (4) 蒸気を使用すると、インレットのホースが相当長くなり、その間に冷却するおそれがあるので出来るだけ空気を使用するのが良いと思われる。

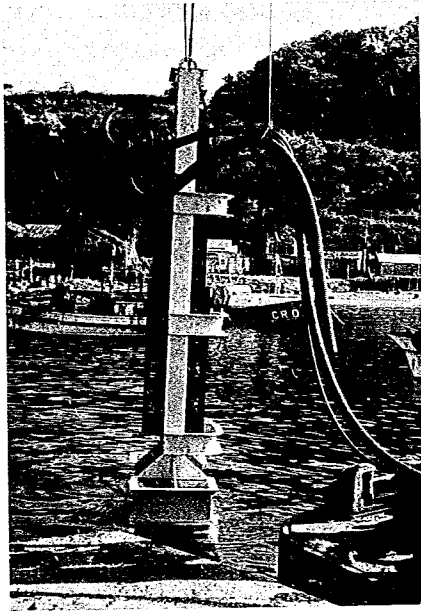


写真4・4 マキナンテリ

第 5 章 特殊作業船

5.1 クレーン船

1,000t吊、リーチ17mのクレーン船を目下建造中であるがこの大きさについては更に大きいものを作ること
も可能である。これはコンクリートブロックの運搬用で、バラストには水を使用している。なお、450t吊のも
のも作っているが(第3港湾向け)これは防波堤工事でコンクリートブロック、セルなどを吊るのに利用して
いる。これらは何れも固定式ブームである。スイング式は50tのものを作ったことがある(函館・港研)。ス
イング式では350tのものを海軍用として作ったことがあり250t程度のものを作ることには問題ないと思う(石
川島)。ただ、スイングさせる方式は価格が2倍以上となり必ずしも有利とは云えない(函館)。特にアウトリー
チの大きいことは問題となる(浦賀)が、35mくらい迄は作られたことがある(石川島)

価格は350t自航、スイング式で5~10億円となる。1,000t固定式のもので5億円である。100~150
t以上になると割高となる。納期は約1年であろう。

自航式が良いとはいへ切れぬ、外国回航の場合は自航式でも自航しないのが多い(石川島)原動機は使用後
の転用のことも考えてディーゼル発電ワードレオナード式が良いと思う。1,000tのもので530PS2基使用し
ている。

5.2 潜水艇(川崎重工・他に三菱重工資料提出)

この工事に使用できる潜水艇を設計した、深度については十分余裕があり、潜水夫の代替に使用できるし、掘
削ユニットを取付けて掘削機としても使用可能である。この場合反力のとり方が問題となり、重量を大きくして
海上からリモコンすることも考えられる。これは、10t程度の有効重量があれば良く、現在のもので可能であ
る。この他マニピレータを装備して装薬などの作業もできる。発破は超音波爆破が良いと思う。

移動式でなく基地から有線でコントロールする方式も考えられ、その方が安価であるが、潮流、船舶航行を考
えると自航できる方が良く考えている。水中速度は底層流を考慮して4ノットとした。(底層流は6ノット吉
田幹事)作業サイクルは1日10時間稼動8時間整備(充電など)を考えている。海底での位置ぎめは0.5m(ジャ
イロ)、1m(ソーナ)の精度でできる。

5.3 補足資料

5.3.1 クレーン船の現況

我国現有のクレーン船のうち比較的大型のもの(クレーン能力250t以上)を表5.1に示す。

表 5・1 現有クレーン船一覧(クレーン能力250t以上)

船 名	定格荷重(t)	巻上速度(分)	揚 程 (m)	張出し距離(m)	所 属
昭 鶴 号	1,300 (1,000)	1	585 (28)	21 (17)	寄神建設 ()内は改造前
柏 鵬 号	500	3	33	11.5	寄神建設
第 2 3 吉 田 号	1,200	1	45	21	吉田組
第 2 2 吉 田 号	650	1.4	38	21	"
日 本 号	600	1	35	19	深田サルベージ
オーランド橋 架 橋 用	250	2	60	22	石川島播磨重工 2隻あり
房 州 号	250	2	29	12.5	日本海事
鉄 拐 号	450	—	33	16	運輸省(三建)
大 雪 号	500	1.4	35	21.5	"(北海道)

注) 昭鶴号のみ自航, 他は非航。

写真5・1~2に代表的なクレーン船を示す。

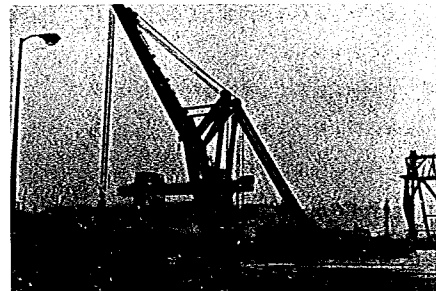
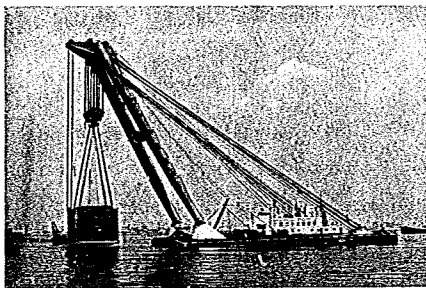


写真5・1 第 2 3 吉 田 号 (1,200t)

長さ(垂 線 間) 74.0m
幅 (型) 31.0"
深さ(型) 6.0"
吃水(荷重時平均) 3.55"

写真5・2 オーランド橋架橋用(250t)

長さ(垂 線 間) 52.0m
幅 (型) 22.6"
深さ(型) 4.5"
計画満載吃水 約 2.5"

5.3.2 大型クレーン船

(1) まえがき

本州四国連絡架橋工事の施工は、作業の可否が気象条件に直接左右される海上での工事が主体である。したがって、この不利を克服するためには、現場作業をなるべく少くし、かつ現場施工を急速に行うのが望ましい。したがって本州四国連絡架橋工事に大型ブロック建造法の全面的採用が想起される。

また別の見方をすれば本架橋現場は、従来の大多数の橋梁架設現場と異り、広大な水路に恵まれている。本架橋工事の施工にはこの利点を最大限に利用することが必要で、たとえば揚重設備に大型クレーン船を使用することが可能である。

そこで、従来行なわれていたような、現場における小さなブロックの積み上げ、継ぎ足しは極力廃止し、巨大なクレーン船を用いて外部より巨大ブロックを供給し、建造を行う方法を以下で検討したい。

(2) ブロック建造法の利点

- 1) ブロック建造によると、設備の整った工場内で製造、組立する部分が多くなるので、現場組立に比べ接手その他に質的向上が期待でき、かつ製作費も安くなる。また現場接手が少くなるので、構造が簡単になり、重量も軽くなる。
- 2) 工場組立が終れば、そのまま海上輸送によって現地に運ばれるので、従来のような工場仮組立、ばらし、現場再組立という手間が省ける。
- 3) 現場における高所作業が少くなり、作業の安全上好ましい。
- 4) 現場工事が少くなるので、工期が短縮できる。特に台風や地震の多い日本では、期間短縮により、橋体の危険状態になる公算が少くなる。

以上ブロック建造法の利点を要約すれば、建設費用を節減し、かつ建造期間を短縮することが可能である、ということである。

(3) クレーン船による橋梁の架設

在来、長大橋の架設に現場で行なわれていた組立方法も、せり上げクレーンや移動クレーンを使った一種のブロック建造法にはかならないわけであるが、その単位が30～50t程度の小さなもので、移動クレーンも100～200t程度のものが多かった。また海中の橋脚の工事に用いられたクレーン船も、せいぜい350tが最大のものであった。

昭和39年に完成した東京の佃大橋、昭和41年に完成した神戸摩耶大橋は、クレーン船を使用して上部構の架設が行なわれている。また明年度(昭和48年)にはニュージーランドのオークランド橋の拡張工事では、クレーン船2隻を用いて上部構の架設が行なわれる予定である。これらの場合のブロックは最大でも一個500t以下である。

以上のようにクレーン船による橋梁のブロック建造法は、必ずしも目新しいものではないが、本州四国連絡架橋工事の規模と現場条件を考慮し、この工法を大規模かつ大々的に活用しようとするものである。すなわち上部構造の架設だけでなく、吊橋の塔柱の設置や下部構造の工事全般にわたって、工場製作されたスケールの大きなブロックを、現場において巨大なクレーン船を用いて組立てる大型ブロック建造法を採用したいということである。

(4) 2,000tクレーン船

巨大なクレーン船の能力をどのくらいにしたらいいかという問題であるが、現在計画されている連絡橋を建設するために、クレーン船が対応するその主要は項目の概略の数値を並べてみると、

補剛ゲタ高さ（水面から下面まで）	67m
下部構造（海中に設置するユニットの骨組の一边の長さ重量）	50m, 1,800t
吊橋の塔柱の高さ	150m

である。

これに対して現有のクレーン船は5.3.1 クレーン船の現況で述べた如く、能力こそ1,000~1,200tのものがあるが、吊上げ高さや張出し距離に非常は小さく前記数値に対してはほとんどその用をなさないとと言える。

提案しようとする2,000tクレーン船は図5.1にみるように、その構造は従来のものと違って2組のシャースを平行に立て、柱や塔のような高い構造部材を吊る際に、シャースの間の空間を利用して吊点よりも高いものでも吊上げうるようにしたものである。また能力2,000tは現在の吊索の最大直径および滑車の数を考慮して吊点一つを500tとし、吊上げ最大重量1,800~2,000tに対して4点吊りとして揚重能力を定めたものである。このクレーン船の能力は海中の骨組の設置、橋げたの架設にはじゅうぶんであり、塔柱の全高150mに対してはおよばないが、その下半分を一体として建造することが可能である。（図5.2、図5.3）

(5) クレーン船使用上の問題点と経済性

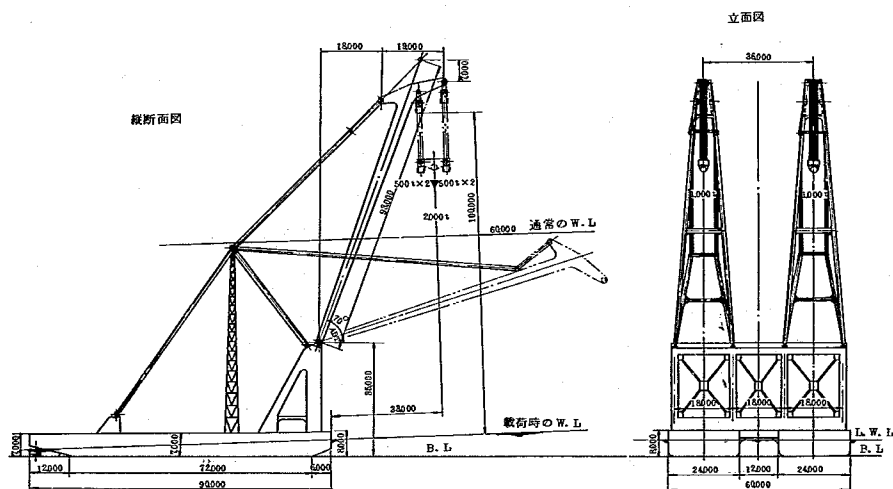
長さ90m、幅60m、高さ115mの巨大なクレーン船は、在来のものに比べてとくに吊上げ高さが飛躍的に高いので、使用上新しい問題がないかどうかを検討してみる必要がある。これには風圧、潮流圧、運動性、安定性などの諸点があげられよう。

- 1) 秒速20mの風による船体傾斜は $1/250$ 程度で、これ以下の風による船体傾斜は問題にならない。また一般に海上におけるクレーン船の作業は風速毎秒8~10mになると困難であるから、この巨大クレーン船の操業率は小型のものに比較してそれほど低くはないと思われる。
- 2) 潮流によって船体の受ける抵抗を求めてみると、係留索を数点とれば、潮流が極度に早い場所でない限り、係留して作業することができる。
- 3) このクレーン船は双胴船体であって、自航できる推進器と横移動を容易にするサイドスラスターを備えている。しかし港から現地まで回航する場合には、タグボート数隻で曳航する必要がある。
このクレーン船は主航路を回航すること、また架設中の橋げたの下をくぐることを考慮して、シャースを前に倒して60mの高さまで通過できるようにになっている。
- 4) 波浪によって載荷状態で吊上げ物がゆれるおそれはないかどうかであるが、このクレーン船の載荷時の自由揺動周期は約10秒で、内海の暴風または季節風の最大波浪周期と同調するおそれはない。また作業可能な最大波高を2m、最大波長を20mと仮定しても、船幅60mに対して約 $1/8$ であって、小さな波ではほとんど動揺する心配はないと思われる。

最後に一隻の建造費約20億円と推定されるこの巨大クレーン船の経済性について考えてみると、まず大型ブロック建造法によって構造物の鋼重は3〜5%軽くなるものと予想される。第2には工期が1年程度短縮できる見込みなので、1年間の資本利子からみて数分の建造費はじゅうぶん償却できるものと思われる。

しかし最も大きな利点は、これらの重量軽減や経済性よりも、現場工事が簡単で安定性のあるものとなる
 ほか工期が短縮できる点である。

以上述べた如く、大型クレーン船を用いた巨大ブロック建造法は十分に検討する必要があると思われる。



第 6 章 大口径ボーリング機械

6.1 リバースサーキュレーションドリル

6.1.1 日立製作所の意見 (図-6-1)

国内の施工では直径 $1.5m\phi$ 深さ $45m$ までであるが外国では $120m$ 以上の施工例 (S150型の能力は $200m$, 施工例の大部分ドイツ) もあり, 又直径も $1.5m\phi$ から $4m\phi$ に拡げることは可能と思う。ドームドケーシング上に 25 セットの機械を置いて施工すれば工期一年で可能と思う。この場合壁面下部は別の方法で, くずす必要がある。

(以下質問に答えて)

砂礫層 (N値 $20\sim30$) は普通形のカッターで可能で $N=50$ (羽田の例) 程度の所を掘った例もある。軟岩層はパーカッションまたはロータリビットを必要とするがロータリビットの直径は $1.5m\phi$ までである。所要台数 25 台の算出は次の通り

なお, 工事後の汎用性から, $p=150$ 型で計算した。(ポンプ能力 $47m^3/min$, $150mm\phi$) 砂礫 $32万m^3$ に対し, 1 日 6 時間年 250 日, 含泥率 5% と計算すると $18,000m^3/年$ ・台で 178 台必要同じく軟岩 $40,000m^3$ に対し含泥率 2.5% で $9,000m^3/年 \rightarrow 4.4$ 台 硬岩 $8,000m^3$ に対し含泥率 1.25% で $4,500m^3/年 \rightarrow 1.78$ 台それぞれ必要とし合計 25 台となる。(なお, マライイボの実績: $2,800m^3/年$, 国鉄の実績 $3,200m^3/年$ である) この他孔を拡大掘削するためのジェット用に 500 馬力のポンプ ($5m^3/min$, $40kg/cm^2$) 5 台とジェット装置が必要である。

6.1.2 鴻池組の意見 (京牟礼氏-元国鉄)

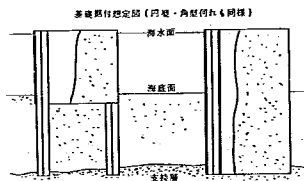
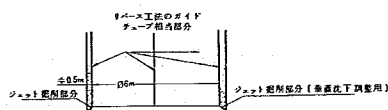
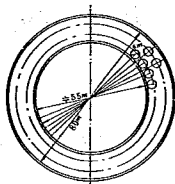
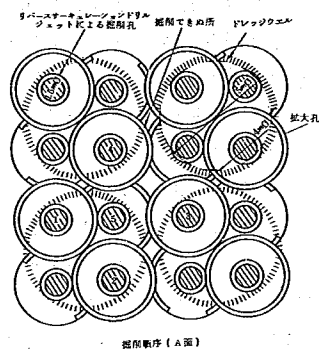
図-6-2 の配置で中空ケーシングが掘削できる, 孔径は $6m$ まで可能と云う文献 (図-6-3) (ドイツ) がある。試験工事が必要と考える。

なお, 硬岩部分はベノト式の方が良いと思う。

6.1.3 その他

最大深さは吸引負圧 $-0.7kg/cm^2$, 比重 1.05 とすると $80m$ まではブースタをつけなくて施工できる。(日立) 国鉄函館の施工例では, 砂シルト質で ($40\sim50mm\phi$ の砂利少々) $-60m$ 迄の実績がある。(東京操機) ケーシングチューブは外壁のくずれさえなければ使用しなくとも良いが, 使用する場合でも孔の底造る必要はない。(鴻池) 海底で使用する場合, ケーシングチューブは海面まで伸ばさなくてはならない。くずれ防止のため外水圧より $0.2kg/cm^2$ 程ヘッドを上げる必要があるからである (三菱)

上げうる最大粒径はパイプ径いっぱい ($150mm\phi$) とされているが, 日立ではまだその実績はない。(日立) パイプ径いっぱいのものが上ることは事実だが詰まる恐れがあるのでサクション部にスクリーンを設けているのが普通である。(石油さく井)



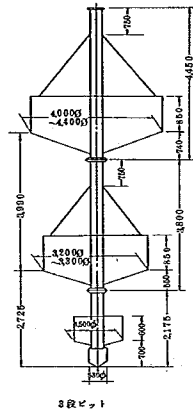
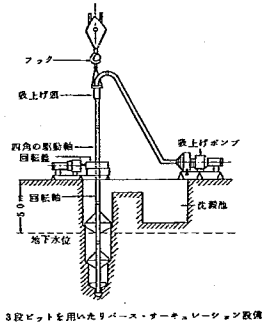


図 6・3



3段ビットを用いたリブス・サーキュレーション設備

6.2 ペノト掘削機 (三菱重工)

イタリアでの施工例で、 $3,200\text{mm}\phi$ の孔を6.2mまでまた、アビジャンで $1,000\text{mm}\phi$ の孔を7.1m深さまで掘った例があり、またループルでは $10\text{m}\phi$ の孔を掘削中(土質は軟かい)とのことである。今のものがそのまま使用できるとは考えないが、砂利層に対してハンマグラフが有効と考える。ボンツーンに載せた施工例もある。なお、斜ぐいは 15° くらいまで可能である。

ハンマグラフの大きいものを作ることは技術的に困難ではない。これは普通のデリックで操作でき、硬いものが掘れる。シングルライン操作であるという特長をもつ。つかみ効率は40~50%であるが大きくなれば多少これより劣ることになるであろう。現用グラフは $0.1\sim 0.15\text{m}^2$ 、開口幅 $0.7\sim 0.8\text{m}$ 、孔径は軟かい土質で $1.5\text{m}\phi$ 、硬い所で $1\text{m}\phi$ である。掘進速度はシエル(軟岩層) $1\text{m}\phi$ で $1\text{m}/\text{h}$ である。捨土についても特に問題は生じていない。

ウエルから更に孔を下げる時はケーシングチューブを用いる必要があるが、これは振動くい打機を使えば良い。(以上三菱重工)

ペノトによる最大掘削深さは、熊谷組施工の猿ヶ京でBDF型を使って6.5mと云う例がある、土質は玉石 $50\text{mm}\phi$ 混り粘土で、ケーシングチューブの抜き取りは問題なかった。

6.3 カルウェルド式掘削機

カルウェルド式アースドリルはクレーバーの強度から4.0m深さ、 $1.5\text{m}\phi$ が限度であろう。今までの施工例では(サンフランシスコノースベイ)4.3m、 $2\text{m}\phi$ という例(土層)が最大である。(加藤)

アースドリルで軟岩掘削を行なう場合小孔から次第に太らせていった例がある。85ps. 推力10t、 $0.5\sim 1\text{m}/\text{h}$ の掘進速度であった(日立)

6.4 石油さく井機械（石油さく井機製作所）

石油さく井機械は一般に直径が小さく深度は深い。直径は1~2mどまりで、17" Ø が普通である。米国では72" Ø 4,000' 深の施工例がある。これはローラビットを使用し13 3/8" パイプでエア式のリバースサーキュレーションを行なっている。帝石でエアリフト（ニューマチックコンベヤ）を行なった例はあるが湧水のため好ましい結果は得られていない。（新津で施工）

（以下質問に答えて）

石油さく井機を竖孔掘削に使用する場合、大口径ビットが問題となり、トンネル掘削機のような形になるかも知れない。現在ある60"（1.8m Ø）1,000ps の掘削機（ビット72" Ø）を大型化すると考えると、ビット（刃先形状）摩耗、ベアリングなどが問題となる。軽荷重で作業するとベアリングの摩耗が大きいので、普通は荷重カラー（ビット径10mmあたり700~1,000Kg）と称するものを取付けているが大口径になると別な方法が

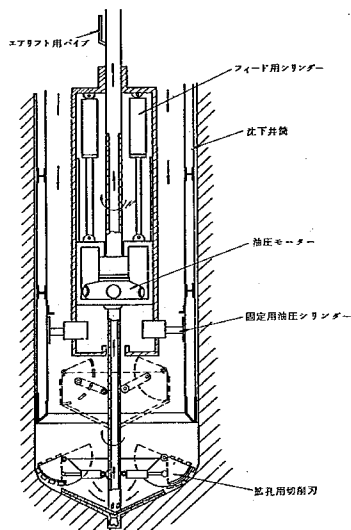


図6-4 リバース・サーキュレーションシステム
（加産製作所）

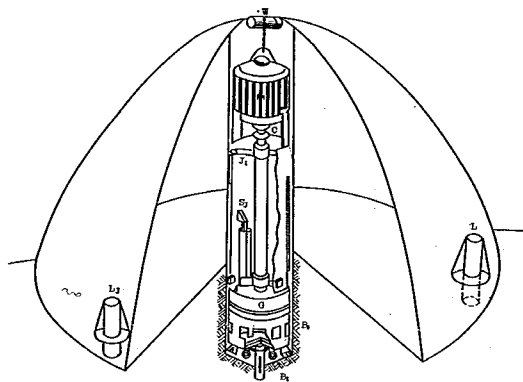


図6-5 特殊携帯式蒸気機械の構造図
（三菱重工業）

必要となる。回転に必要な出力は70~100ps, 小型では30ps程度であるので問題はない。

掘進能力は岩質により差があるが, 200mmφ, 推力12~3tで花崗岩を掘ると1m/h, 第3期層で, 2~3m/h, 砂礫層ではそれよりやや劣る程度である。ズリの最大径は3cmぐらいが普通である。

石油掘り機械は案内を使わないで掘削していくことも可能である。また, 海上掘りの場合, 海底に装置を沈めて船上からこれをコントロールしている(油圧)方式もマラカイボなどで行なわれている。

傾斜面の岩盤ではガイドが必要である。

6.5 その他

6.5.1 加藤製作所

目下, 油圧モータ駆動のロータリービットで掘削, エアリフトで排出する方式の機械(図6-4)を研究中である。深度が大となる場合リバスサーキュレーションかエアリフトが考えられるが, エアリフトは非常に効果的と思う。

なお, アメリカサンフランシスコ付近で水深60', 掘削深-60'~140' 径72" d の孔を, また, オランダツーン立坑では礫砂の中を-237m迄6.9mφの孔を掘っている例がある。

6.5.2 三菱重工業

図-6.5 のような潜航式基礎掘削機械を開発中である。

6.6 補足資料

6.6.1 ヴイルトボーリングマシン(石川島播磨重工業株式会社)

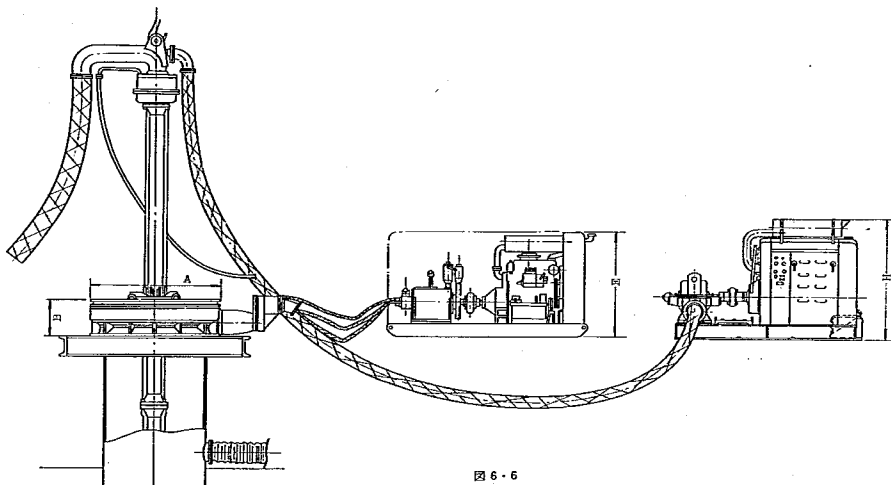


図 6-6

1 L-4S形ボーリングマシン

(1) 仕様(図6・6参照)

要 目		単 位	L-4 S 形	要 目		単 位	L-4 S 形		
寸 法	A	mm	1,900Ø	ケリーパイプ	長 さ	mm	4,500		
	B	mm	552	ドリルパイプ	内 径	mm	200		
	C	mm	3,000		長 さ	mm	3,000		
	D	mm	1,050	油圧ユニット	原 動 機	ps/rpm	100/ 1,600		
	E	mm	1,575		油圧ポンプ	Kg/cm ² × ℓ/min	最大 250×280		
	F	mm	2,800	コンプレッサ	圧 力	Kg/cm ²	7		
	G	mm	960		容 量	m ³ /h	600		
	H	mm	1,620	水ポンプ ユニット	原 動 機	ps/rpm	100/ 1,600		
搭 載 方 法		スキッド	水 ポンプ		Kg/cm ² × ℓ/min	71×2,500			
掘削能力	掘削孔径	mm	1,000~ 2,500	フック荷重		ton	60		
	掘削深さ	m	最大 500	エキセントリックビット} ロックビット		mm	1,000~ 2,500		
ロータリー テーブル	内 径	mm	1,520	掘削機本体重量 ただしスライ ベックリー バ, ドリル パイプ掘削 工具は除く	Kg	6,000	掘削可能土質 軟弱粘土シルト層, ゆるい砂質 層, 普通の粘土層及び砂質層, 締った砂層, 砂礫, 玉石層, 土 丹層, 岩盤		
	駆動トルク	Kg・m	最大 6,000						
	回 転 数	r p m	0~19	掘削可能土質					
	重 量	Kg	3,750						

(2) 昭和42年6月, 神戸市外垂水区にて建設機械化研究所委託の掘削試験における掘削データ図中の記号は下記のとおり

- 1 泥 岩 一軸圧縮強度 30 $\sim$ 60Kg/cm ℓ
- 記 号 2 砂 岩 一軸圧縮強度 100 $\sim$ 180Kg/cm ℓ
- 3 礫 岩 一軸圧縮強度 120 $\sim$ 180Kg/cm ℓ

1) 掘削速度とロータリーテーブル回転数との関係(図-6-7参照)

(掘削工具はロックビットMR形カット使用)

2) 掘削速度とビット荷重との関係 (図-6-8参照)

(掘削工具はロックビットMR形カット使用)

2 連絡橋施工要領案

(2) 大口径 (50~150mm) 掘削方法

(図6・9 参照)

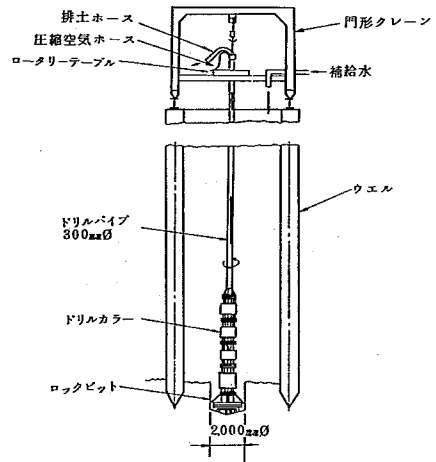
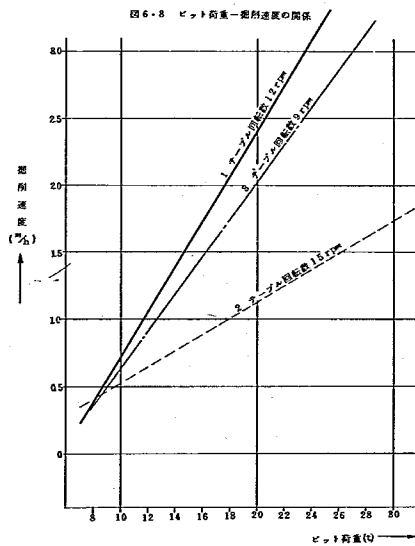
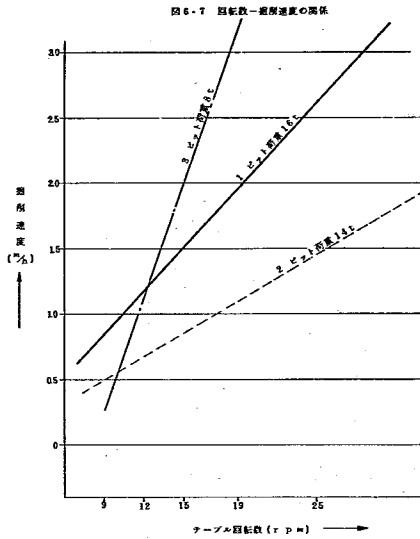
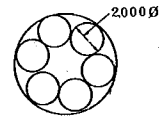


図6・9



(3) 掘削機仕様

L-10S形ボーリングマシン

要 目		単 位	L-10S形
掘 削 能 力	掘 削 孔 径	mm	5,000
	掘 削 深 さ	m	500
ロータリーテーブル	内 径	mm	2,115
	駆 動 ト ル ク	Kg・m	36,000
	回 転 数	rpm	0~20
	重 量	Kg	6,000
ケ リ ー バ	長 さ	mm	4,500
ドリルパイプ	内 径	mm	300
	長 さ	mm	3,000
コンプレッサ	圧 力	Kg/cm ²	7
	容 量	m ³ /hr	1,200
フック荷重		ton	180

(4) 掘削推定速度

土 質 花崗岩 (一軸圧縮強度 2,000Kg/cm²)

掘削径 3m ϕ

このときの

掘削推定速度 0.5m/hr

第 7 章 海上作業台

7.1 ジャケット（日本鋼管）

秋田沖（石油資源）、クエート（アラビヤ石油）、千葉（灯標）などを製作している。いずれも陸上部でできるだけ大きく製作して海上運搬し組立てる。基礎はジャケットのメンバーより少し細いパイルの脚をガイドにして打ち込んで固定している。ヤグラ強度は波浪に対し実験的に求めている。

（以下質問に答えて）

深い水深（50m）については経験していない。今までの最大水深は秋田沖の26mである。潮流の影響については今までのものは考えていない。今後検討したい。海底の不陸についても秋田沖などでは経験していない。水深を深くするとメンバーが太くなって不経済であるが、費用さえかければ作ることはできると思う。試算設計してみたい。

7.2 水中浮力基礎 S B B（呉造船）

この基礎の特長は、波浪、潮流の影響が少ないことで安定性も問題はない。現在プラットフォーム10×15m、水深10～18m、風速55m/s、潮流3ノット、波高5.5m、潮位差2mのものを製作、試験中（呉湾）である。これは全重量140t（除バラスト）、浮力367t、アンカ水中重量150tである。

（以下質問に答えて）

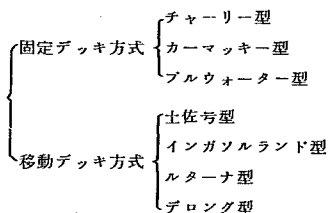
オモリとしてはコンクリートを用い移動時はまき上げる。位置ぎめの精度は水深50～60mでは1m以内に納めうる。ボーリング用など小移動については改めて考えてみたい。

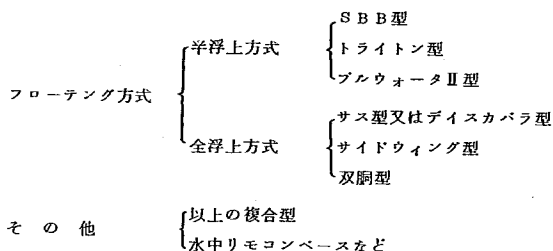
小さい浮動はあるが、潮流などによる移動、モーメントによる傾きは問題ないと思う。アンカーについても特に問題はなくチェーンの懸吊については浮力チェーンのようなものを考慮している。建造は約9ヶ月、装約3ヶ月である（以上呉）。アンカーは大切で特に地切りの問題はよく考慮する必要がある。重鉋の形状と土質との関係を目下研究中である（三菱）。

表 7-1 海中足場の区分（三菱重工 萩原課長による）

固 定 型

移動沈座方式





7.3 デロング (De Long)

(1) 概 要

デロング式海上作業台は、元来アラスカ、グリーンランド等気候条件が劣悪なため現場作業を急速に行うことが絶対必要な場所での使用に供するため米国国防省の要請で開発された、プレファブの移動式橋樑であるが、自然条件に対する適合性、抵抗性に優れ、かつ機動性に富んでいるため、その後種々の海上工事に用いられて好結果を収めている。

デロング式海上作業台の主要部分、浮揚性の船型プラットフォームと、円筒形（断面が矩形のトラス型のものもある）の数本の脚であり、この脚は船体にあけられた鉛直の孔を貫いている。孔の周辺に位置しプラットフォームと連結され、脚を保持している特殊なジャッキ装置により、プラットフォームを海面上に引き上げることができる。プラットフォームを所定の高さまで引き上げれば、この構造物は、あたかも重量物を支えることのできる固定足場のようになり、その上で作業することが可能である。それぞれの脚の一個づつ付いている昇降用ジャッキを、個々別々に操作することができるので、それぞれの脚にかかる荷重を調節できるばかりでなく、海底の地形の不陸に適応させることができる。しっかりした脚は、数が少く波浪、潮流を受ける面積が小さいので、この構造物は気象および海象条件に対する抵抗性が大きい。

一ヶ所での作業が終るとジャッキ装置を用いて、プラットフォームを海面まで降し、脚を海底から引き上げれば、この構造物は船のようになり、次の作業地点まで曳船で曳航される。

このようにデロング式海上作業台は、作業船の機動性と固定足場の作業性という両方の長所を兼ね備えた移動式海上作業台である。

使用例の主なものは次の通りである。

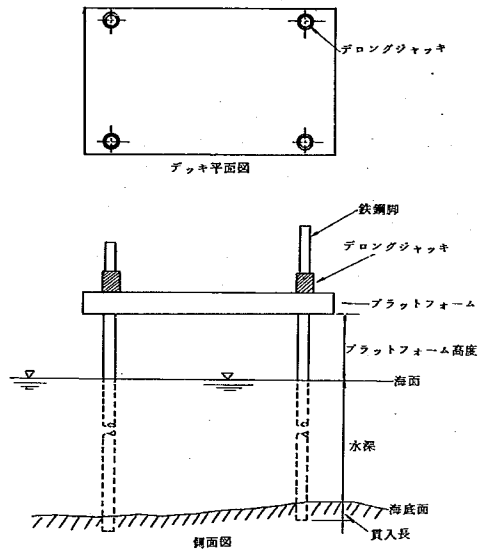
- a) 永久橋樑、仮設の移動橋樑
- b) 海中構造物を築造するための作業用海上足場（橋梁の建設、海底パイプライン敷設、海底ボーリング、海底掘削作業）
- c) 海底石油採取用掘削足場
- d) 軍用として、移動橋樑、洋上レーダー基地、索道用人工島、ミサイル海上発射台

(2) 構造と性能

1) プラットフォーム（船体）

船体 (barge) はふつう鋼製で、現地作業上必要とされる広さを持ちかつ必要とされる強度に設計され、水密で浮上する区画として工場製作される。船体は曳航中に必要な強度と耐波性を持つよう防水区画がある。船体の両側には、水密で補強構造を持つ鉛直の孔が等間隔に配置されており、これを脚が貫いている。船体の内部およびデッキ上には必要な電気および機械設備、使用材料、乗員の居住設備が整えられており、また作業用の機械類はあらかじめデッキ上に載せて現地へ曳航される。

図 7・1 デロング概念図



2) 脚

脚には鋼製円筒型のものと、短形断面トラス型の二種類あり、鋼製円筒型の場合にはデロング・エアージャッキが、トラス型の場合には油圧ジャッキが昇降装置として使用される。

鋼製円筒 (caisson) はふつう直径 6 ft、肉厚 1 ~ 1 1/2 in であり、長さは現場条件に応じたものが使用される。脚の下端は海底の土質によって異なり、硬い岩の場合には脚下部をスチフナーで補強したり、補強エッジをつけたりする。また土質が軟い時はシュエをはかせてベースを拡げ支持力を増加させる。

トラス形の脚の下部には鋼製のスパッドタンクが付いており、この構造は作業台に荷重が全載されたとき、海底に甚しく貫入しないように設計される。

脚の下部にはエアーまたはウォータージェットの孔が開いていて、主として脚を引抜く時に使用する。

脚はその時の条件に合わせて、船体の孔に挿入されたままでも、あるいは引き抜いてデッキ上に置いた状態で曳航あるいは移動が行なわれる。

(3) 昇降装置

1) エアージャッキ式

脚一本につき 1 2 本のシリンダーからなる特殊なエアージャッキ組が備えてあり、一組のジャッキの能力は 100 t ~ 800 t のものがある。使用するエアーの圧力は 10 ~ 30 kg/cm² である。ジャッキ台はジャッキの上下にあり、共にゴムパッキングを介して脚を取りまいており、このゴムパッキングの中に空気を入れると脚に密着して固定され、空気を抜くと脚から離れ、脚に沿って動き得る。脚を海底に固定した後のプラットフォームの昇降は、上下のジャッキ台を交互に固定しながら、プラットフォームと上部ジャッキ台をジャッキで押し上げまたは押し下げることにより遂行される。昇降速度は 15 ft/hr (1 ft/cycle) で各脚別々でも、また全部一緒でも、レバー一つで自由に操作することができる。

写真 7・1 デロングエアージャッキ

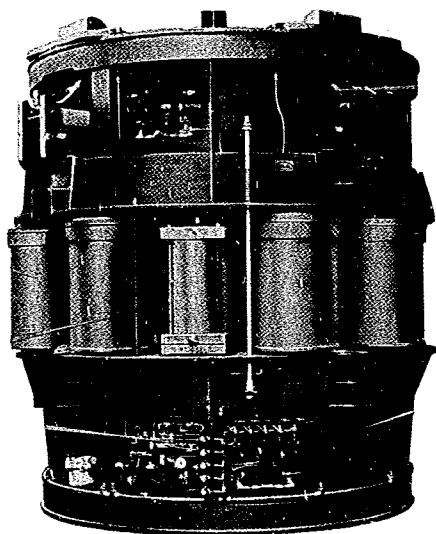
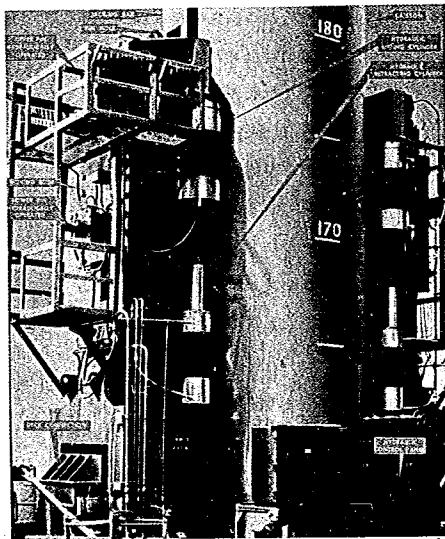


写真 7・2 デロング油圧ジャッキ



2) 油圧ジャッキ式

この方式では、脚を構成する4本の鉛直部材のうち、船首側と船尾側の2本の部材に、25 in. おきに正
方形の穴があけられており、この中にピンを挿入することにより、脚の保持あるいはプラットフォームの支
持が行なわれる。昇降装置には、油圧ジャッキで操作される、上下二個のピンが付いており、このうち一つ
のピンが脚にかみ合っていない限り、他のピンは引き抜けないようになっている。これら上下二個のピンを
脚にあげられた穴に、交互に挿入、引き抜きを行いながら、上のピンと連結されているプラットフォームを、
油圧ジャッキを用いて、押し上げあるいは押し下げることができる。昇降速度は 16 ft/hr である。

(3) 使用例

1) Fehmarnsund 橋の建設

Fehmarnsund 橋は 1961 年に西ドイツ Fehmarnsund (Sund は海峡の意) に完成した全長 9664 m の
橋梁で、幅員 110 m の道路部と単線の鉄道部を有する道路鉄道併用橋である。橋梁はスパン 2484 m のニ
ーホルン型橋梁一連と、スパン 1020 m の鋼箱げた橋 7 連より成り、橋脚部の最大水深は 8.7 m である。こ
の橋梁の橋脚の建設および鋼箱ゲタの架設に、デロング海上足場が使用された。

写真 7・3 橋脚の建造

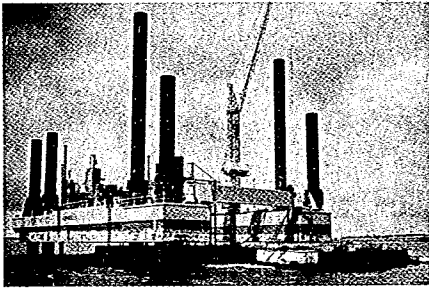
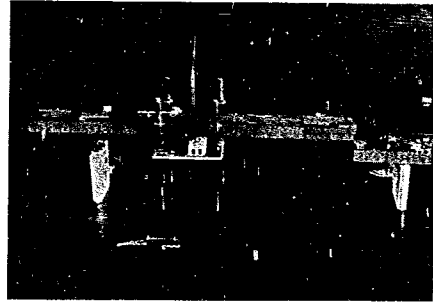


写真 7・4 上部構の架設
(長さ106m, 重さ800t)
足場上に押し出した後、デッキを徐々に
下げ架設を行う。



2) 「テキサス タワー /A2」 - 洋上レーダー基地

米国空軍がボストンの東南東約250kmの大西洋上に建てた、空からの敵の攻撃に対する前哨基地である。

完成は、1955年プラットフォームの全重量は約6,000tである。

写真 7・5 曳航中のテキサスタワー/A2

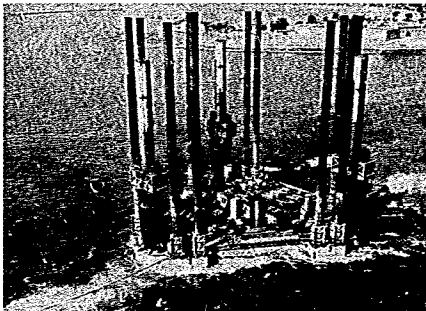


図 7・2 テキサスタワー/A2 正面図

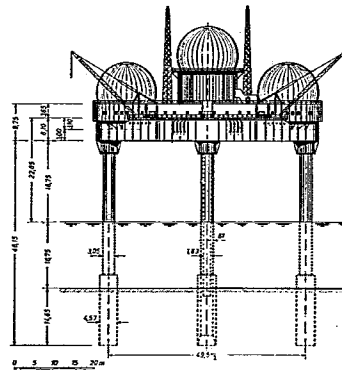
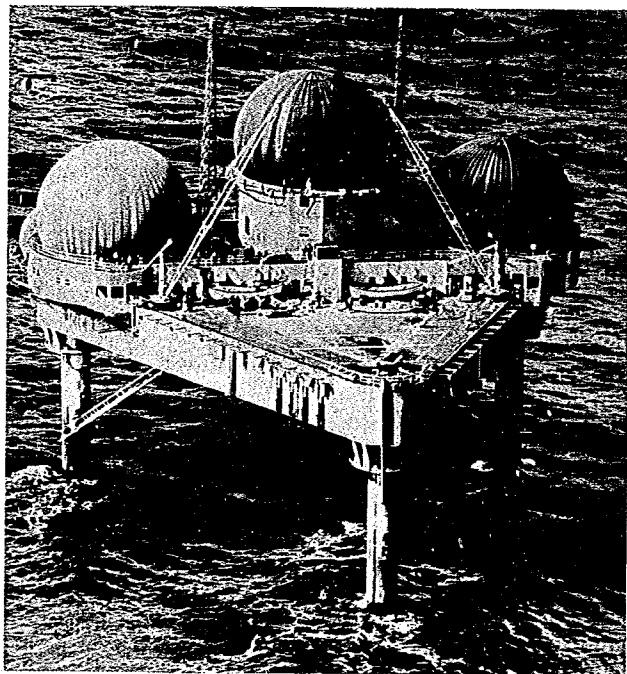


写真 7・6 完成したテキサスタワー62



(4) その他

プラットフォームおよび鋼製ケーソン（脚）は、施工能力と使用現場に近い事を勘案して選んだ造船所で製作が行なわれる。特許となっているデロングジャッキは賃貸の形式で使用され、またジャッキの操作はデロング社の派遣した技術者により行なわれる。

7.4 ルターナー（R. G. LeTourneau）

(1) 概要

ルターナー式海上作業台は、大略の構造形式はデロングと同様であるが、プラットフォームはほぼ二等辺三角形で脚（spud）は3本であるのを原則としており、プラットフォームおよびスバッドの昇降装置は電動ギヤーマーターにより駆動されるラックとピニオン機構を用いているのが主な相違点である。

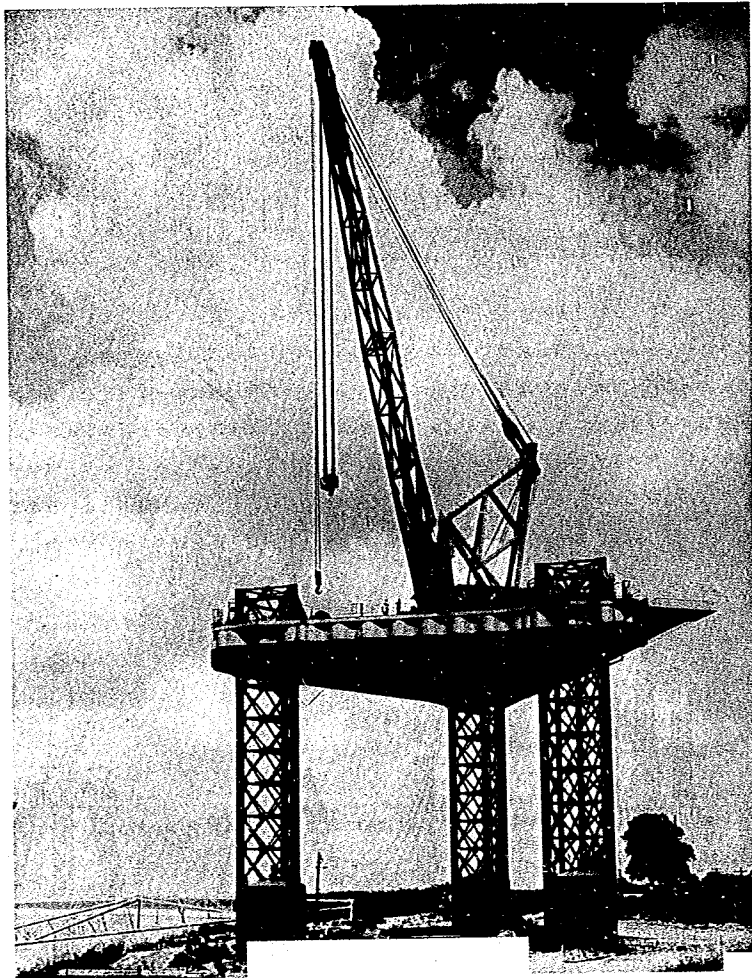
ルターナー式海上作業台は、海底石油採取用掘削足場として用いられているものが大部分であるが、マラカイボ湖（ベネズエラ）で橋梁の架設に、英仏海峡で海底の地質調査に使用された例もある。

またデロング式の脚はつねに鉛直であるが、ルターナーには、より深い水深での構造物の安定性を増すため脚を拡げる新形式のものが開発されている。

写真 7・7 ルターナ海上作業台 “Elefante” 号。

250t クレーンを備えており、マラカイボ湖の橋梁の建設に使用された。

プラットフォーム	全長	38.1m
“ ”	全幅	38.1m
“ ”	深さ	4.6m
スパッド	長さ	38.4m
スパッドタンク	直径	6.4m
“ ”	高さ	10.1m



(2) 構造と性能

ルターナ式海上作業台は、基本的には電動機器により動力を供給されるスパッド（脚）を有する作業船である。スパッドを引き上げて、この作業台は作業現場に曳航され、そこで脚を海底まで下げ、次いで海面上所定の高さまでデッキを引き上げる。（図7・3 参照）掘削作業が終るとプラットフォーム（デッキ）を水面まで降し、スパッドを引き上げ、全構造物は次の作業地点まで曳航される。

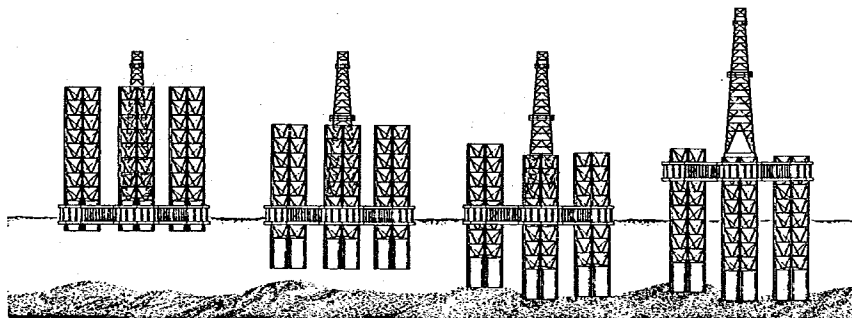


図 7・3 ルターナ海上作業台設置順序図

プラットフォームは二等辺三角形で、その各頂点に一本づつ計3本の脚がついており、これが作業台をささえている。各々の脚もまた3本の鉛直部材を中心として組まれた三角形断面のトラス構造のものである。脚の下端には円筒形タンク（spud tank）を備え、海水が注入できるようになっており、脚の安定性および昇降の容易性を高めている。脚の鉛直部材は上端から下端までサインカーブ状のラックとなっており、電動ギヤモーターにより駆動されるピニオンにより押し上げ、押し下げられ脚あるいはデッキの昇降が行なわれるようになっている。（写真 7・8 参照）電力の供給が途絶えた時には高性能のブレーキ装置が自動的に作動し、デッキが脚に固定される。

このギヤにより駆動される昇降装置は、ジャッキを使った駆動装置（デロングの場合）が一步一步段階的な

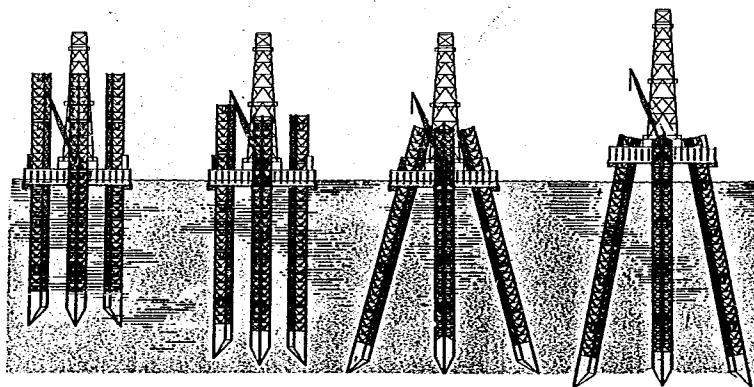
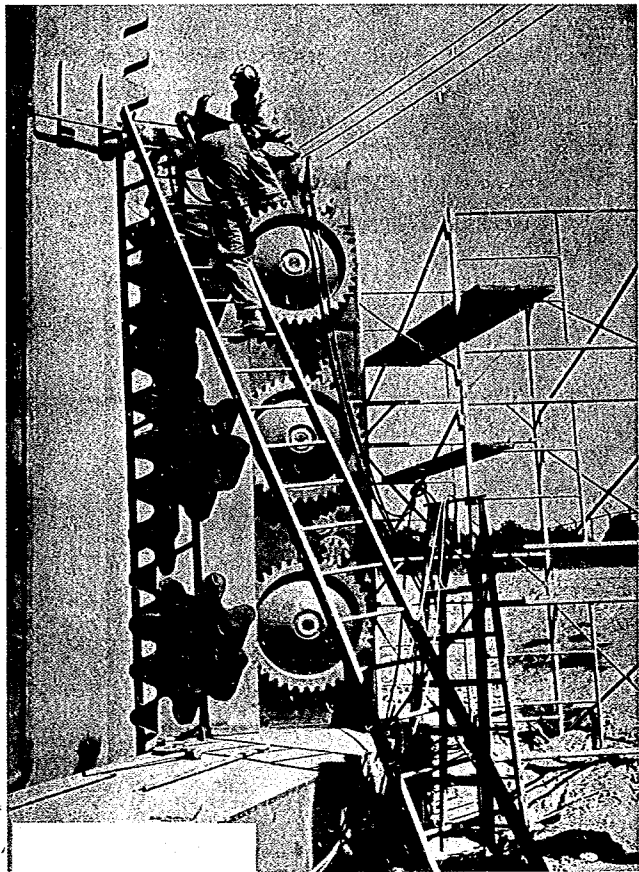


図 7・4 開脚式ルターナ海上作業台設置順序図

昇降をするのに対し、連続的に昇降させ得るのが特徴である。昇降速度は $1 \sim 1.5 \text{ ft/min}$ であるが、この速度はこの作業台が波浪等の影響を受ける危険な状態にある時間を最小にし、また移動の機動性の上から言っても非常に重要である。脚（スパッド）がオープントラス構造になっているのは、波浪や風にさらされる面積を最小にすることにより、これらの外力に対する安全性を大きくするためである。船首のスパッド上にはヘリポートが設備されている。デッキの昇降と付属機械類のための動力は、ディーゼル発電機により供給されている。作業に必要なすべての電気および機械設備、使用材料、乗組員の居住設備が整えられており、あたかも海中に建てられた数千トンの重量を持つ人工島のようなものである。

写真 7・8 スパッド昇降装置

図 7・4 に示すものは -180 m の水深まで可能な作業台の設置の各段階を示したものである。脚は沈めるに従って継ぎ足すように比較的短い部分として製作される。このように背の高い構造物に十分な安定性を与えるため脚が伸びて海底に達する直前に、脚を広げることができるように、脚のガイドはピボット構造になるようになっている。この結果、この構造物は測量機械のトランシットあるいはレベルの三脚とよく似た構造となる。ジャッキ装置で脚をこのように拡げている間に、ギヤモータがふつう通り三脚を海底に押しこむ。海底の抵抗力が押し込む力に等しくなったら、デッキは脚に沿ってよじ登っていくことになる。デッキが登るにつれて変ってくる脚の傾斜角はジャッキ装置を働かせて逐次調節される。脚の昇降および傾斜は制御板のボタンによって各脚個々にも、また同時に動作させることができる。



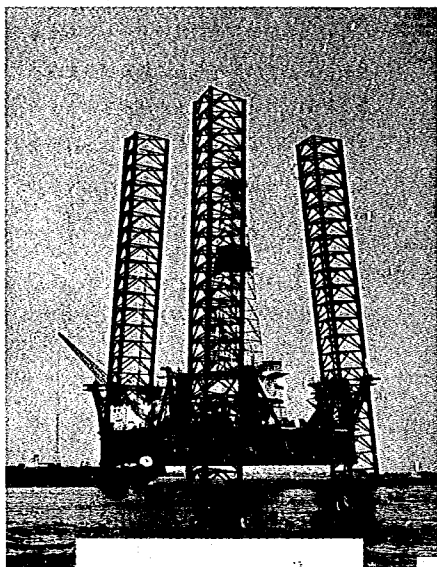


写真 7・9 開脚式ルターナ海上作業台

水平からのデッキの傾斜が0.3度を超えると自動的に警報を発する装置を備えている。

(3) 使用例

海底石油採取用掘削足場の一例として

“Vinegaroon号”を次に掲げる。

写真 7・10 “Vinegaroon号”

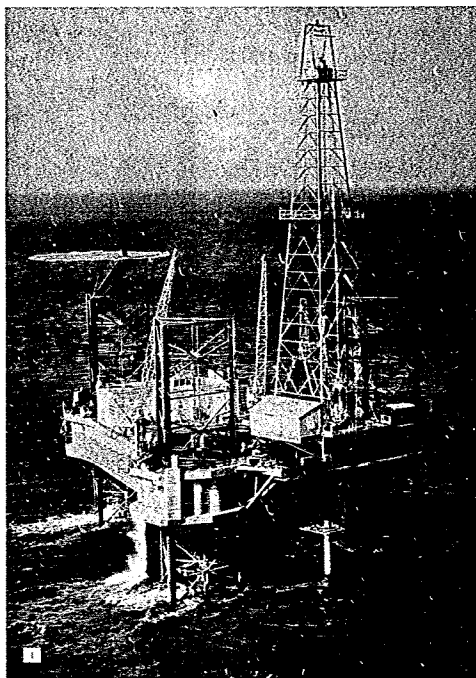
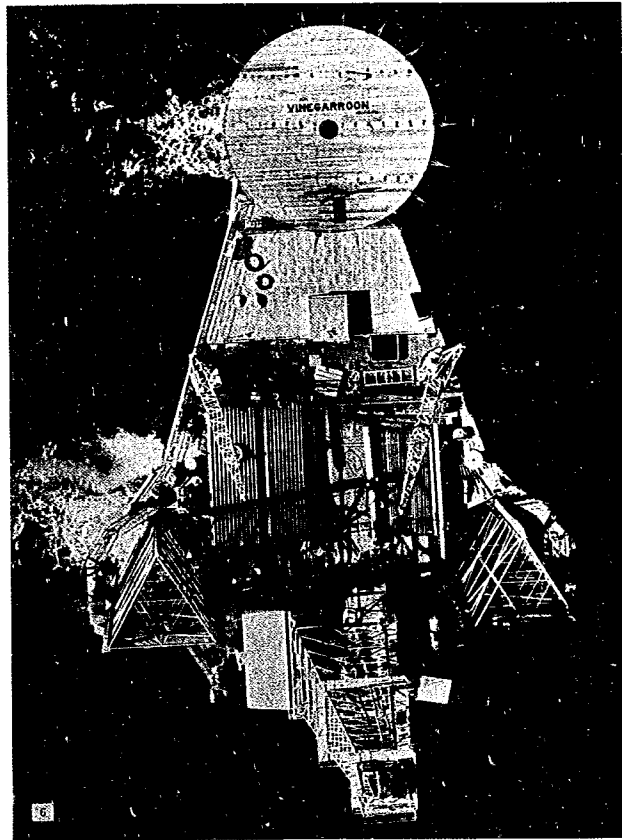


写真 7・11

“Vinegaroon号”



プラットフォーム	全長	53.7m
“ ”	全幅	46.8m
“ ”	深さ	6.1m
“ ”	全載荷時吃水	3.5m
“ ”	排水屯	2,500 t
スバッド	長さ	44.2m
スバッドタンク	直径	10.8m
“ ”	高さ	9.9m

(4) その他

ルターナー式海上作業台を購入か一時借用とするかは、使用者とルターナー社との話しあいにより行なわれる。
また昇降装置の操作は簡単で、操作は使用者に任される。

7.5 三菱SD

本機は米国のサウスイースタンドリング会社から受注した海上ドリリングユニットで、デッキは一辺90mの三角形で、基礎からデッキまでの高さは約50mである。海中に脚をつける時の水深はハリケーン時40mノンハリケーン時45mで、それ以上200mの水深までは浮上して作業できる。

(質問に答えて)

全重量7500tで、甲板にデリッククレーン20t1台、5t2台とドリリング機械(オーナサプライ)をおく。浮上作業時はフーチングに3本のアンカチェーンを取付ける。えい航時は水深40mとなる。設計はField & Goldman (NewOlians Line)により行なわれていて、詳細は不明である。海底のおうとつにより傾斜した場合はそのまま、ドリリングユニットの方の角度を変えて調節している。

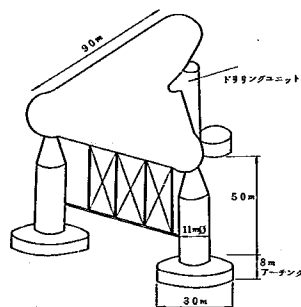


図7・5 三菱SD

7.6 その他

作業台上に人間の居住区をおくかどうかは設計上人命を考慮する条件が入るので重要である。できれば居住区は別なタンダーシップに置くことが望ましい。(三菱)

また、海中足場にケーソンの横移動をもたせうるかどうかは検討しなければ分らないが、かなり困難と思う。(三菱、日本鋼管)

7.7 補足資料

7.7.1 建調式足場

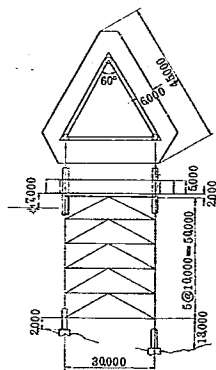


図 7・6 建調式足場一般構造図

建設省本州・四国連絡道路調査事務所は、海中足場の一例として、建調式海上足場を考案し、各部断面を設計して、十分実用性のあることを示した。

その詳細については、土木学会、本州・四国連絡橋技術調査委員会第1次報告書、P. 189~P. 194に説明がある。

一般構造図を図7.6に示すが、3本の脚をもつ浮き足場で、デロング・ルターナと同じ形式に属する。

ただこの場合、3本の足には図に示す、トラスを組むことによって、脚の剛性を高めて、水深の大きい、潮流の大きい個所での使用に耐えるよう配慮してある。

7.7.2 円筒式海上足場

円筒式海上足場は、近年盛んになって来た海峡・港湾における架橋、トンネルその他の土木工事のための調査ボーリング用に開発されたもので、昭和36年建設省の要請により備讃瀬戸、大鏡島の近く水深30mの地点で、考案者である東海サルベージK・K. によって初めて仮設された。足場の仕組は水中に鉄筒を立てアンカーを緊結した数本のワイヤーによつて安定を保ち、この鉄筒の上部に作業台を設置するもので、その特徴は大規模な資材を要せず、又仮設物自体海中部分が少ないため波浪・潮流に対して安定性があることで、過去の実績からも潮流8ノット、風速50mの海況下に充分耐えることが確認されている。この方式は上述のように従来ボーリング用足場として活用されてきたが、さらに種々の海中土木工事にも利用出来ることと思われる。

次にこの工法の概要を述べる。

1) 仮設機械の概要

a) 鉄筒の構造

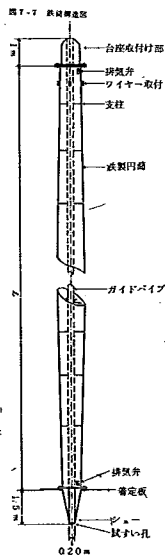
鉄筒の構造は図7-7に示すように、鉄板を溶接した円筒の上部に台座取り付け部、足元には長さ1.5mのシューが取り付けられており鉄筒の内部には200mmのガイドパイプがシューに通じて内蔵されている。このパイプと鉄筒の間は密閉されており筒の上・下部に圧縮空気で開閉する弁が設置されている。底質が軟弱な場合は鉄筒下部、シューの上に2枚の翼よりなる定着板をつける。鉄筒は長さに応じて10~20mの鉄板を溶接して作つてあるが、30~50mのものは中間部を太くして強度を増し全体が6~8ノットの潮流に耐えられるように設計されている。筒の長さは現在20~55mまで（水深15~50m用）それぞれの水深に合わせて数本のものが作られている。

b) アンカー及びワイヤー

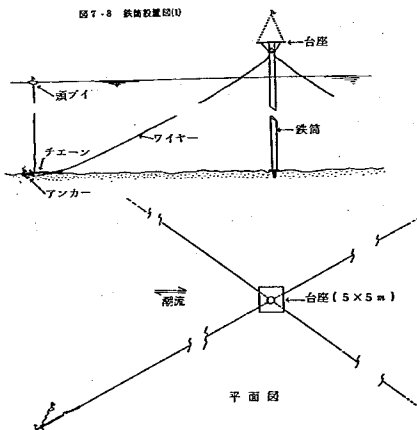
アンカーラインは22~24mmの鋼索を使用し、その先に25mのチェーンを介し2~5tの錨が取り付けられる。普通鉄筒に4本緊結するが、仮設地点の条件により8~12本に増やすこともある。

c) 台座

高さ2mで下部は鉄筒上部にかぶさるようにキャップが取り付けられている。作業台の広さは普通5×5mであるが、多少の補強で7×7mまで広げる事ができるようになっている。



第7章 海上作業台



2) 仮設の方法

a) アンカーリング

地点、水深測量の後、沈鍾を降ろし、目標ブイを浮かせる。この目標ブイを中心として、図7・8に示すように同一円周上4点に浮標をつけて投錨する。アンカーラインの長さはおよそ水深の3倍が普通である。(投錨時は目標ブイが動かないよう潮の流れに注意を要する)。投錨が終ると仮設地点に作業船を移し対角2方向のアンカーワイヤを船のウィンチで巻き錨のかかりを試験する。このテンション試験の終了後は4個の浮標を仮設地点に集め鉄筒の設置に備える。

b) 鉄筒の設置

基地において鉄筒は空気を充填させ浮上させてあるので、そのまま作業船で仮設地点まで曳航して来る。仮設地点に達すると図7・9Aの様に浮標につながるアンカーライン2点を筒の上部に、足ワイヤ2点と作業船に連がる引きワイヤを下部に取り付ける。この作業が終ると筒の上部にある排気弁を除々に開放し、下部にある注水弁を開いて筒内に海水を注入する。冷水の注入によって鉄筒は少しずつ立ち上りながら下部から海中に沈んでいくが(図7・9B、写真7・12)鉄筒の底が海底面より1~2m上に達した時一時注入を停止、垂直に浮いている状態でもう一方のアンカーラインを取り付ける。そのあと再び注水弁を開き下部のシューが突きささる様にして海底に着ける。(図7・9c・写真7・13)鉄筒が海底に設立されたら船上にあるウィンチで、鉄筒を垂直に調整しながら各アンカーラインを緊張させる。鉄筒は上部にのる台座が波・潮の影響を受けないようあらかじめ長さを適当に決めておく事は勿論である。

c) 台座(作業台)の取り付け

鉄筒の設置が完全に終ると台座(作業台)を船の起重機で降ろし、台座下部のキャップを鉄筒頭部に合わせボルト・ナットで締めつけ固定する。(写真7・14)

以上で、鉄筒法による海中足場は図7・8に示す様になるが、海の条件が悪い場合はアンカーラインに沿って1点又は2点づつ(総数8又は12点)投錨し補強する。

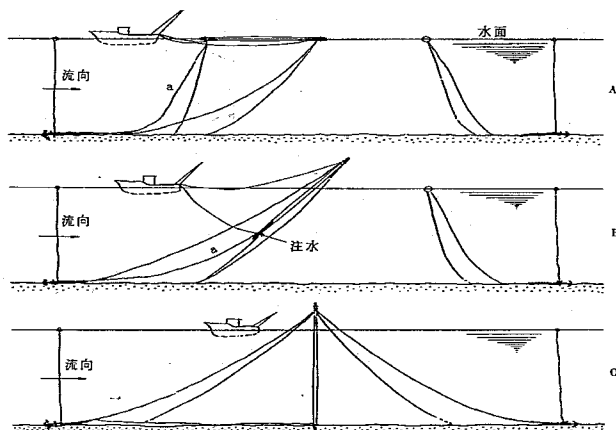


図7-9 鉄筒設置工法

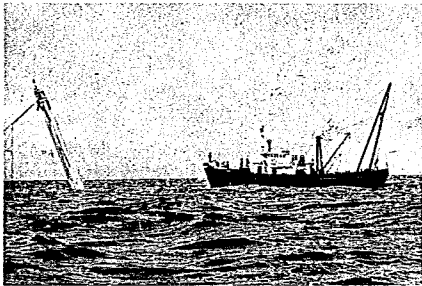


写真 7・12 立筒

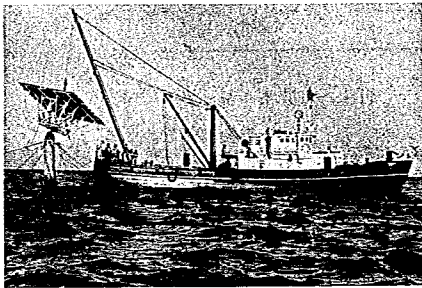


写真 7・13 台座の取り付け

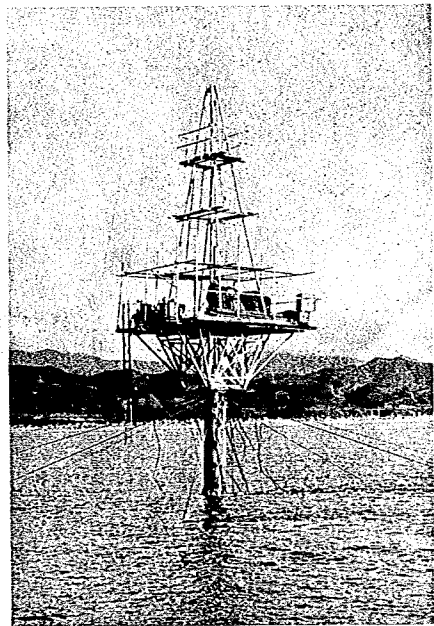


写真 7・14 完成