

## アーム式水中掘削機の開発

## DEVELOPMENT OF "BOOM TYPE UNDERWATER DRILLING MACHINE"

内藤 誠一\*・矢作 枢\*\*・相沢 林作\*\*\*・伊藤 啓之\*\*\*\*  
 By Seiichi NAITOU, Kaname YAHAGI, Rinsaku AIZAWA  
 and Keishi ITOU

The substructure of YOKOHAMA Bay Bridge is multi-column foundation; for the tower foundation, nine piles are grouped and the tops of each pile are imbedded in a footing. Each pile is constructed by sinking a 10m out dia. open caisson made of reinforced concrete. Those caissons are penetrated about 20m in depth into the soft mud stone bed. To penetrate such big caissons deep into a bearing hardpan, it is necessary to excavate and remove the material under caissons' cutting edge. We have already developed a swing boom type underwater drilling system that can excavate and remove materials under caissons' cutting edge. We hereby explain the progress of the development of the system both of manufacturing shop and working site with the result through actual operation.

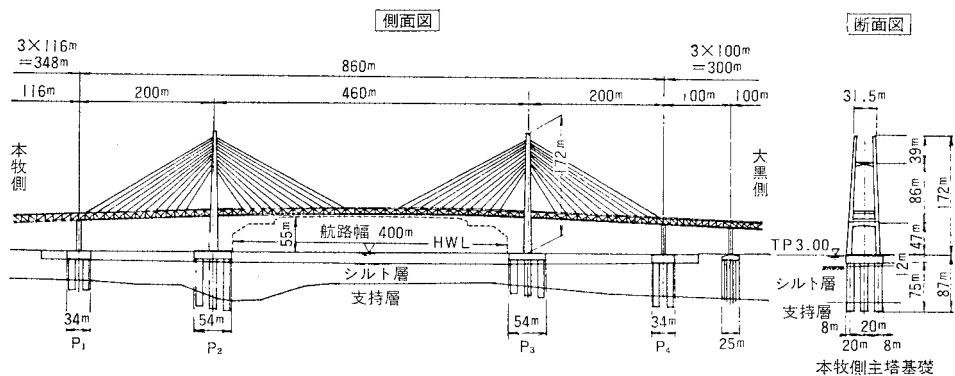


図-1 横浜港横断橋一般図

## 1. まえがき

東京湾環状道路および、横浜市道高速湾岸線の一環として、横浜港入口の海上部に建設される横浜港横断橋は

中央径間 460m, 橋長 860m の 3 径間トラス橋で、完成すると世界最長の中央径間を有する斜張橋となる (図-1)。架橋地点は水深が約 15m あり、海底から下 30~50m までは軟弱な沖積粘土層 (N 値 5 以下) が堆積している。本橋の支持地盤はその下位にある新第三紀の三浦層群 (一軸圧縮強度 40 kgf/cm<sup>2</sup> 程度の固結シルト, 以下「土丹層」とよぶ) になる。

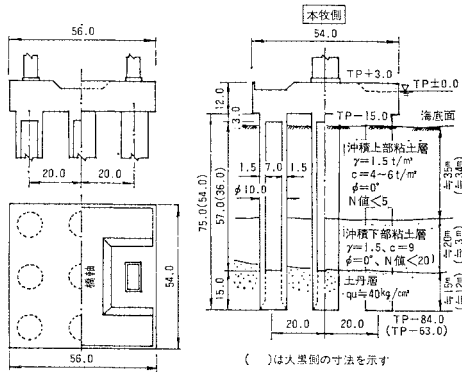
船舶航行の激しい国際航路脇の建設作業, 前記の地質等を考慮して, 種々の基礎形式が検討されたが, 多柱基礎 (図-2) が経済性, 施工性の面から最適の基礎形式として採用された。

\* 正会員 首都高速道路公団第二建設部次長  
(〒151/渋谷区代々木 1-2-13)

\*\* 正会員 首都高速技術センター技術部長  
(〒105/港区虎ノ門 1-1-21)

\*\*\* 正会員 建設機械化研究所研究第一部長  
(〒417/静岡県富士市大淵 3154)

\*\*\*\* 三井三池製作所三池工場開発部調査役  
(〒836/福岡県大牟田市旭町 2-28)



図—2 主塔基礎一般図

多柱基礎は外径 10m、内径 7m のプレストレストコンクリート製のオープンケーソンを主塔部基礎で 9 本、端部基礎で 6 本をフーチングで連結した構造である。

フーチングの大きさは主塔部基礎で平面寸法 56×54m、高さ 12m、端部基礎で平面寸法 34×54m、高さ 12m である。施工は下記の手順で実施する。

フーチングの外殻に相当する大きさのコンクリート製の枠をドック内で製作し架橋地点まで海上運搬し所定の位置に設置する。この枠をケーソン構築用の作業足場およびケーソン沈設用の荷重として利用し、ケーソンを施工する。全ケーソン沈設終了後コンクリートを枠内に打設して中実フーチングを完成させる。

ケーソンは設計上、土丹層内に約 15m 根入れさせる必要があるため、その外径以上に土丹層を掘削する必要がある。本文ではこの水面下 80m の土丹層を掘削する大口径掘削機の開発について報告する。

## 2. 大口径掘削機開発の必要性

本橋のケーソン掘削の工法および施工機械を検討するために、まず従来の大口径掘削の施工法や使用機械の実績を整理した。

表—1 はわが国で製作された大口径掘削機の施工実績から、地質別の掘削深度・掘削径・拡張量を示す。

表—1 から本橋の地盤と同程度とみられる軟岩においては、最大掘削深度 110m、最大掘削径 4.0m、最大拡張量 0.45m（半径当たり）までの実績があるものの、これを本橋にあてはめて考えてみると、掘削径で約 6m 以上、拡張量で約 1.0m 以上（半径当たり）不足する。また大口径掘削機は単体で使用されることはなく、揚泥

表—1 現有大口径掘削機の施工実績

地質	項目	最大掘削深度 (m)	最大掘削径 (m)	最大拡張量 (半径m)	掘削ビット
一般土 (N値<50)	①	70	4.6~6.0	0.70	コニカルやバイトカッタ
	②	110	4.0	0.45	コニカルやバイトカッタを取付けた鋼形や多軸ビット
軟岩 (Sc=20~100kgf/cm <sup>2</sup> )	③	65	4.4	—	ローラカッタ
	④	—	—	—	—

装置やサービスクレーンを含むトータルシステムで稼動するので、掘削機の構造によっては補助機械が大型になり、海上作業足場上の作業には適さなくなることもある。現有機と試算設計例から、本工事に必要な直径 10m の大口径掘削機は重量約 1500t、所要動力約 4000HP となり、実用性に疑問を生じた。

以上のことから、基礎掘削を合理的かつ経済的に行うためには新しい掘削機の開発が必要となった。

## 3. アーム式水中掘削機の開発

### (1) 基本構想の検討

1. で述べたような多柱基礎の構造およびその施工に使われる新型掘削機の必要条件を整理すると次の 5 項目になる。

- ① 掘削機の最小格納寸法は、内径 7m のケーソン内を自由に通過できるものとする。
- ② 最大掘削径は、外径 10m のケーソンに対して、11m 確保できるものとする。
- ③ 掘削対象岩盤は、一軸圧縮強度 40 kgf/cm<sup>2</sup> 程度の土丹層とする。
- ④ 掘削面の最大深度は水面下 100m とする。
- ⑤ 作業スペースは、主塔部基礎で 54×56m、端部基礎で 34×54m の平面を有する海上足場上とする。

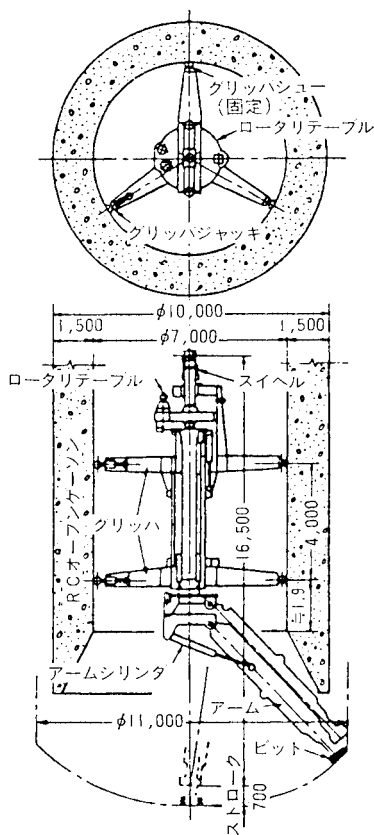
上記 5 つの必要条件を満たす掘削機の構想と、その予備検討の結果を説明すると次のとおりである（図—3 参照）。

① 岩盤掘削方式とカッタ 適用できるカッタには岩盤の圧壊をねらったローラカッタと切削を期待するバイトカッタがある。前者で土丹を掘削する場合は目詰りを起こしやすく、掘削速度を低下させるので、バイトカッタ形式とする<sup>1)</sup>。

② 全断面掘削ビットと部分掘削用ビット 全断面掘削用ビットを使用するとすれば、前記 2. で検討したように機械重量や設備動力が大きくなり、海上作業足場上の作業に適さなくなるので、今回は軽くて動力が少なく済む 図—3 に示す部分掘削用ビットを採用する。

③ 拡張掘削方法 ケーソン刃口直下で 2m もの拡張掘削機械は実例がなく、拡張部機械製作上の問題も多いので拡張に有利なアーム型を採用する。

④ ずり揚げと掘削面におけるずりの掻き寄せ 口径 11m もの大断面掘削のため、ずり揚げは当然逆循環方式となる<sup>1)</sup>。また、ずりを吸込み口まで掻き寄せる機構は大口径になるほど困難となり、これが原因で、○ずりの再カッティング、○カッタの目詰りや急激な摩耗、○



図—3 アーム式水中掘削機本体

掘削速度の大幅な低下、○立孔内泥水比重の急激な上昇、等を招く。

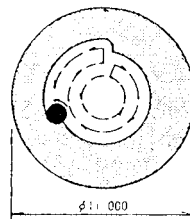
本掘削機ではアーム先端のビット部に近接し吸込口を設けこれらの問題を解決することにする（後掲写真—1参照）。

⑤ 掘削部の固定方式とその位置 ケーソン刃口部付近内側にグリッパを張って掘削部を固定し、アームの俯仰、伸縮および旋回機構はすべてグリッパ部に集中させ、海上作業足場上から油圧操作でリモートコントロールする。

水中の掘削部から上方に伸びるエアリフトパイプは掘削機本体の昇降と揚泥だけを受け持ち回転がかからないので軽量なものにできる。ただし、これにはカッターモータ用の送電ケーブルとコントロール用油圧ホースが取り付けくのでパイプ脱着時の作業がやや繁雑となる。

⑥ ビットの運動機能 アーム式部分掘削では、掘削面に対し半径と円周方向の運動をビットに与えてやらなければならない。

開発機では2本の油圧シリンダで半径方向の動作をさせ、円周方向には油圧モーター駆動のロータリテーブルで図—4のように約360度の交互旋回をさせる。この場



図—4 ビットの旋回軌跡

合、揚泥管系統はグリッパ部頭部にあるロータリテーブル付近に設けたスィベルで伸縮を可能にする。

以上の平面動作に加え、掘削部全体の上下動はグリッパを張ったまま油圧シリンダで70cmのストロークをもたせる。標準の場合、深さ方向に20cmずつ全断面掘削を3回繰り返す、60cmずつケーソンの圧入を行うようにする。

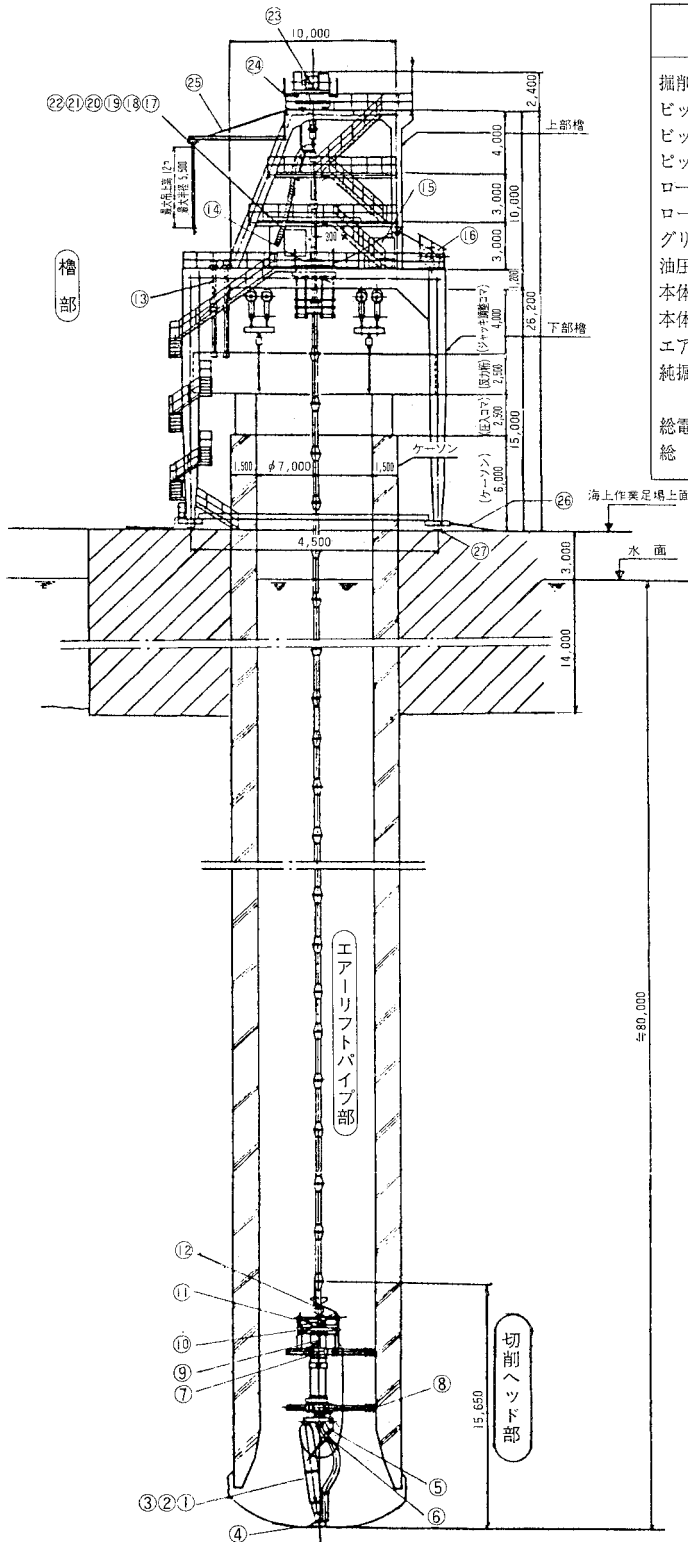
## (2) 掘削の自動化

本機は水中深く潜ってケーソン底面を掘削するので、地上で稼動する機械のように目で見て、耳で音を聞きながら運転することはできない。よってビットの動き等は検出器によって検出し、運転室まで電送し各指示計に表示させ、運転者はこの指示計をみながら動きを確認して運転することにする。一方、作動を確実にし効率よく掘削するために、マイクロコンピュータを組み込み自動運転も可能にする。以下そのシステムについて説明する。

① 検出器 各部の動きを検出するため、掘削機本体にはアーム用の俯仰角度検出器と旋回角度検出器および本体用の伸縮ストロークの検出器を取り付け、これらは水中稼動に耐えるよう耐水压構造とする。海上足場上の橋には掘削機本体の深度を検出する深度検出器を、油圧ユニット内にはアームの旋回速度（油圧ポンプの斜板角）を検出する斜板角検出器を設ける。これらで検出された数値は、操作盤の各指示計に表示されると同時にマイクロコンピュータを用いて2台のテレビモニターに掘削ヘッド部の動きを表示し、また、制御回路を動かし自動運転制御を行う。

② テレビモニター 運転監視用として取り付ける2台のモニターテレビのうち、縦断面表示モニターは、ケーソン、掘削機、掘削跡の縦断面を表示し、ビットが刃口に近接して掘削するときの確認に使用する。一方の掘削表示モニターは、ビットの動きを平面的に表示し掘削軌跡の確認に使用する。

③ 運転の自動化 本機の掘削要領は前掲図—4に示すように、ケーソン底面の中央部でビットの切込み動作を行い、その後に「自動」の押釦を押してやれば、アームが360度旋回して掘削し、旋回が終了すると俯仰動作を行って径を拡大、規定量拡大すれば停止して今度は



主 要 仕 様	
掘削用電動機出力	400 V×50 Hz×55KW
ビット径×長さ	φ856mm×250mm
ビット回転数	28 rpm
ピック取付け本数	27本
ロータリーテーブル旋回トルク	22.5 tf・m
ロータリーテーブル回転数	0～0.58 rpm
グリッパー押付力×脚数	30 tf/脚×6脚
油圧ユニット電動機出力	15KW×2台
本体上下用巻上機電動機出力	37KW
本体上下用巻上速度×巻上力	3 m/min×50 tf
エアリフトパイプ内径	300 mm
純掘削能力 (推定)	洪積層の砂・粘土互層…25 m <sup>3</sup> /h、土丹層…20m <sup>3</sup> /h
総電動機出力	140KW
総重量	320t(うちやぐら関係240t)

②⑦	走行用滑りシュー	4基
②⑥	走行用油圧シリンダ	2台
②⑤	壁付ジブクレーン	1基
②④	掘削機巻上げ装置	1式
②③	深度検出器	1台
②②	掘削表示モニタ	2台
②①	エアリフト排出口監視テレビ	1台
②①	自動制御盤	1式
①⑨	動力盤	1面
①⑧	操作盤	1面
①⑦	運転室	1台
①⑥	ケーブル・ホース巻取り装置	10台
①⑤	油圧装置	1式
①④	排土ホース	12本
①③	エアリフトパイプ	30本
①②	スイベル	1台
①①	旋回・伸縮検出器	1台
①①	ロータリーテーブル	1台
①①	グリッパー用伸縮シリンダ	2本
①①	グリッパー用拡張シリンダ	2本
①①	グリッパー	1台
①①	俯仰用油圧シリンダ	2本
①①	俯仰角度検出器	1台
①①	ビット	1台
①①	切削フレーム	1台
①①	切削減速機	1台
①①	水中電動機	1台
番号	品名	数量

図-5 φ10 m アーム式水中掘削機の全体組立図および仕様

前回と逆方向に360度旋回を行って掘削する。この動作を繰返し行うことによって所定の径まで自動的に拡大掘削する。旋回速度は1~4m/minの間で変化できた、アームの俯仰角度も1~6度間で変化できるようにし、掘削岩質に応じて、運転者が選択できる。なお、最大ピッチ6度 のときでビットの径の80%程度(図-9参照)の切込み幅となる。

④ 安全装置 本機には運転上の安全装置として次のものを組み込む。

- 水中電動機については、掘削時の電流を検知し設定値以上の負荷が掛かったときは全停止になる。また、コイル温度が規定値を越えたときも全停止となる。
- 切削ヘッド部を固定しているグリップについては、グリップとアーム旋回との間に相対運動を検知する装置を内蔵し、グリップが所定の油圧で拡張され、ビットが回転しないとアームは旋回しないようにする。さらに、グリップ油圧が圧力低下したときは自動的に昇圧する構造にし、万一昇圧しなくなったときには旋回動作が停止する。
- ビットの位置によってはビットがケーソン刃口と接触するおそれがあるのでこれを防止するために俯仰極限スイッチを取り付ける。極限スイッチを所定の位置にセットしておけば、自動運転でも手動運転でも設定角度以上にビットが移動することがないようにする。
- 槽のウインチを使用して機体を吊上げる時は、グリップの拡張シリンダが緩んでいないと作動しないインターロックを付ける。

### (3) 開発機の仕様

前項の基本構想によるφ10mアーム式水中掘削機の全体組立図および仕様は図-5のようになる。

## 4. 掘削試験結果

アーム式水中掘削機を実用化するため、図-6に示す研究・開発の全体計画をたてた。

①の工場試験は、掘削機本体からグリップを除いた形の実験機を製作し、水槽内でφ6mの掘削試験を行い、掘削性能、ずり揚げ性能および運転性能を調査し、実機設計のための資料としたものである。なお、被掘削物は低強度モルタル( $S_c=35\sim50\text{ kgf/cm}^2$ )と、このモルタルで土丹大塊を固めた2種類の模擬地盤とした。

②の陸上試験は掘削機のほぼ全体を完成させた後、現地陸上部で本工事より若干小径のφ6mオープンケーソンの掘削、沈設試験を行い、高水圧下での各機器の性能の確認および、掘削-揚土システムとしての全体的な掘削機の性能を調査する。

### (1) 工場内掘削試験結果

試験は図-7に示すようなテスト水槽上のはりから吊

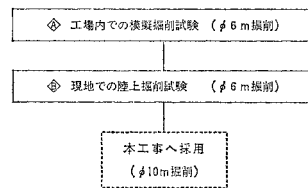


図-6 研究開発の全体計画

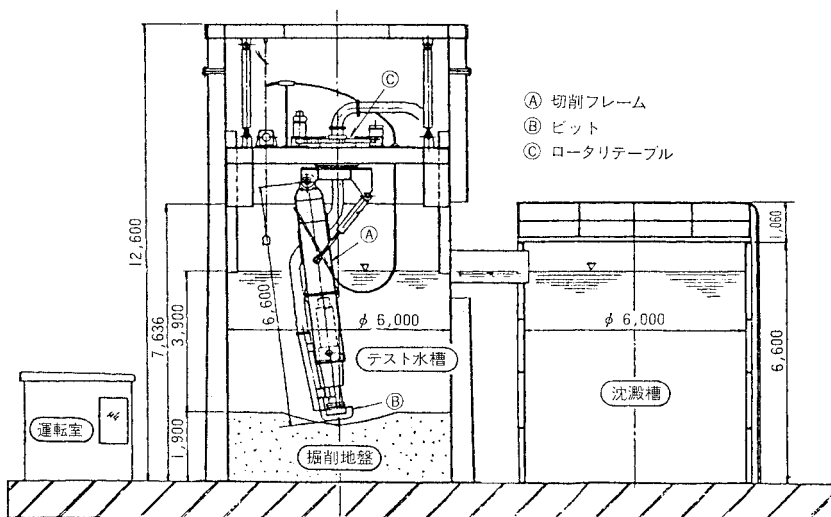


図-7 掘削機ヘッド部の試験装置



写真-1 アーム式掘削機の掘削状況とエアリフト用吸込み口



写真-2 直径 6 m 立孔の孔壁と孔底

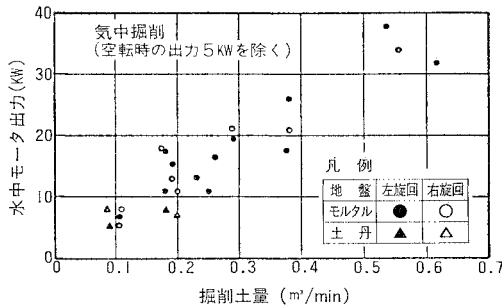


図-8 掘削時（旋回時）の水中モータ出力

り下げられた掘削ヘッド部によって模擬地盤を掘削し、各種の性能調査を行った。なお、本試験ではサクシオンポンプでずり揚げを行った関係上、大塊が発生するとポンプが詰まり試験不能となる。そのためずり揚げを伴う水中での掘削試験は単位時間当たりの掘削能力を下げて大塊が発生しないよう行い、その他試験は気中で実施した。写真-1 は掘削状況、写真-2 は孔壁とスライム処理後の孔底である。

主な試験結果は以下のとおりである。

a) 掘削性能試験

① 水中モーター出力（気中）

試験時に測定した電流値から求められた掘削時の水中モーター出力を図-8 に示す。

図-8 において横軸の掘削土量は次式から求めたものである。

$$\text{掘削土量} = h \times b \times v \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

ここに、 $h$  : ビットの切り込み深さ (m)

$b$  : ビットの切り込み幅 (m) (図-9 参照)

$v$  : 切削フレーム回転速度 (m/min)

この試験では、下記に示す最大掘削条件のとき、空転出力 5 kW を含む最大出力は約 40 kW で仕様値 55 kW に対し、負荷率 73% となった。

最大掘削条件 :  $h=0.2 \text{ m}$ ,  $b=0.7 \text{ m}$ ,  $v=4 \text{ m/min}$

図-10 に掘削指数（掘削土量/水中モーター出力）と掘削土量の関係図を示す。

掘削指数は単位出力当たりの仕事量なので、水中モーターからみると、この指数が最大になるときが望ましい

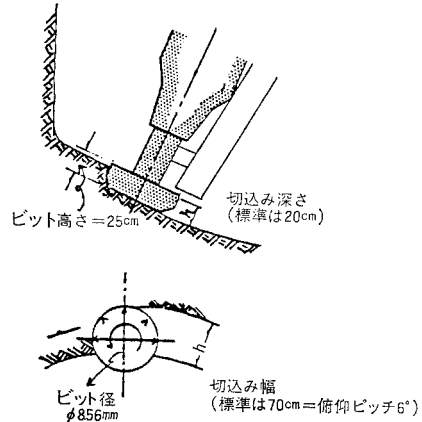


図-9 切込み深さと幅

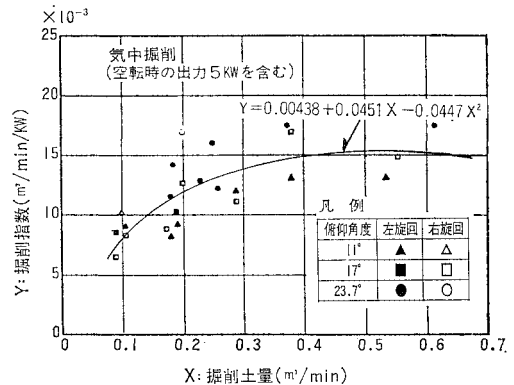


図-10 水中モーターの掘削指数

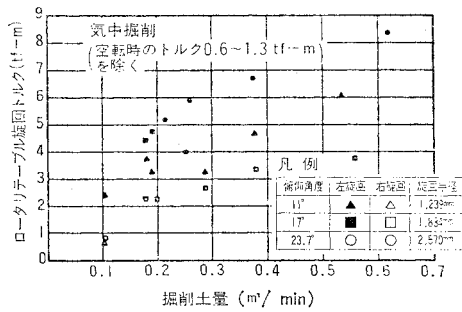
掘削条件といえ、同図より 0.4~0.5 m³/min 程度 (例 :  $h \times b \times v = 0.2 \times 0.7 \times 3 = 0.42 \text{ m}^3/\text{min}$ ) が望ましい掘削条件となる。

② ローターテーブル回転トルク（気中）

掘削土量とロータリーテーブル回転トルクの関係図を図-11 に示す。

同図から、試験時の最大トルク値は、回転半径（ビット中心）2.57 m、掘削土量 0.62 m³/min のとき、8.2 tf・m まで上昇したが、図-10 から読み取れる最適掘削条件付近で運転することを考えると、回転トルクは 7 tf・m 前後となる。

このことから本工事での直径 10 m のケーソン刃口下



図一11 掘削時のロータリテーブル旋回トルク

を半径 (ビット中心) 5.2 m で掘削する場合、掘削土量 0.42 m³/min でのトルク値を求めてみると、

$$T = P \times R = 3 \times 5.2 = 15.6 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

となり、仕様トルク値 22.5 tf·m に対する負荷率は約 70% となる。ここに

R: 切削フレームの旋回半径 5.2 m

P: ビットの押付け力 (実験値の掘削土量 0.42 m³/min 時のトルク値 (実トルク 7 tf·m + 空転トルク 0.7 tf·m = 7.7 tf·m) を旋回半径 2.57 m で除して求めた値) 3 tf

なお、図一11 から旋回方向によって旋回トルクが異なり、左旋回に比べて右旋回のほうが小さいことがわかる。この原因は次の理由によるものと考えられる。

- ビットは常に左回転である。また、ビット側面と掘削側面との接触線は切込み幅がビット幅 (85 cm) 以下なので半円以下である。
- したがって、ビットの回転掘削に伴い生じる反力は常に右方向の成分をもつ。
- 旋回フレームの進行に伴い生じる反力は左方向に移動する場合は右方向に生じるのでビット回転に伴い生じる反力と同一方向に加算される。

また、押付け力 (旋回トルク / 旋回半径) を求めてみると中心部のほうが外周部より大きいことが求められた。これは、掘削面が球面状なので中心部になるほど掘削ずりが底面に溜まり、ずりの中でビットが回転するためと思われる。

### ③ 掘削精度 (水中) (写真—2 参照)

孔底で巻尺を用いて直接計測した結果、設定した掘削径と実掘削径との誤差は ±2 cm 程度であった。

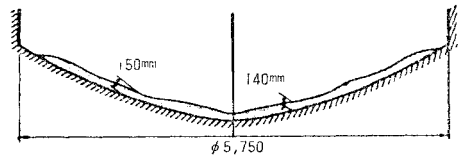
#### b) ずり揚げ性能試験

##### ① ずりの飛散状況 (気中)

掘削ずりは、ビット中心から 130 cm くらいの範囲に散らばるが、最大堆積厚は吸込み口付近に集まるので現状の位置 (ビット中心から約 50 cm) でよい。

##### ② 揚砂率 (水中)

揚砂率 (揚砂土量 / 掘削土量) を求めてみると、中心



図一12 水中掘削後の残土量

部のほうが外周部より高くなっている。これは掘削面が球面状なため中心部にずりが寄りやすいことが原因と思われる。

### ③ 残土処理 (水中)

深さ 0.9 m を水中掘削した後、孔底で直接計測した残土量を 図一12 に示す。

揚砂率、残土量から推定すると、残土は累積されることなく、最初に吸い残された残土は 2 回目の掘削時に吸い込まれてしまい、最終掘削時に吸い残されたずりが残るだけである。このずりは 1 ベンチ分だけ空運転すれば大部分が処理できる。

#### c) 耐水压試験

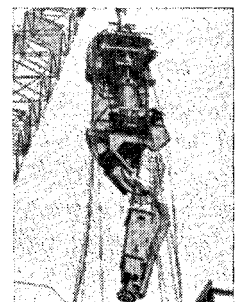
本掘削機は水面下 80 m で稼動するので、機体に取り付けられた電動機、減速機、各種検出器は外圧 8 kgf/cm² の圧力を受ける。もし耐圧構造に不備があれば泥水が機器内に浸入して故障の原因となる。

本機は機器のケーシング、シールに高圧がかからないよう圧力平衡方式を採用している。耐水压性を確認するために 図一13 に示す圧力タンク内で切削ヘッド部の耐圧試験を約 450 時間実施した。試験項目を表一13 に示す。主な試験結果は以下のとおりである。

- 掘削機各部の含水率を測定した結果、シールの性能、圧力平衡状態もよく、水の油内への浸入も増加分は 0.2% 以内であった。
- ビット軸フローティングシールの摩耗量はテスト前後で寸法測定した結果、最大 7 μ で問題ない。
- 水中電動機絶縁抵抗も試験前後で変化なかった。

## (2) 現地試験結果

ほぼ全体が完成した実機を用い外径 6 m、内径 4 m のオープンケーソン沈設の試験工事を現地陸上部で実施した。写真—3 は掘削機本体、写真—4 は運転制御室である。以下に試験工事での掘削実績や工場試験に準じて調査した主な試験結果を述べる。



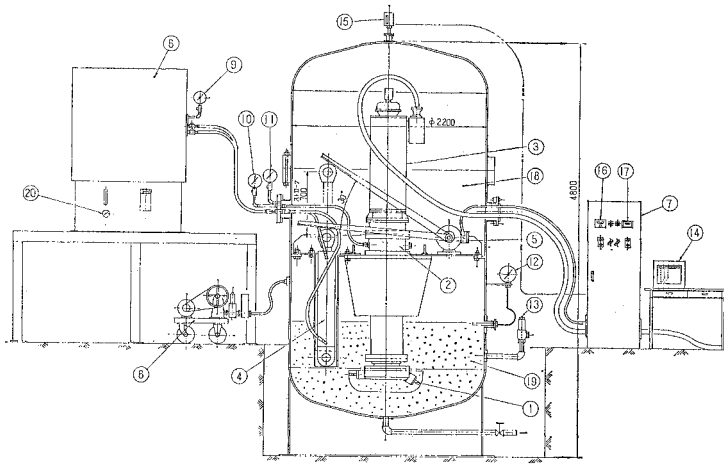
写真—3 口径 4 m/6 m 用アーム式拡張掘削機本体

#### a) 掘削数量と掘削方法

本機による掘削深度は 図一14 に示すようにクラムシェ

表-2 試験項目

計測箇所	計測項目
1. 水中電動機 電源60Hz×440V(電圧変動あり)	イ) 電流値 ロ) コイル温度 ハ) 挿入絶縁油の含水率 ニ) テスト前後絶縁抵抗値測定
2. 切削減速機	イ) 減速機内圧 ロ) 挿入潤滑油の含水率
3. ビット軸部	イ) フローティングシール間の潤滑油の含水率 ロ) 摩耗量(試験前後の寸法差、重量差検査)
4. 油圧シリンダ	イ) 作動油圧、作動時間 ロ) 油圧ユニットの作動油の含水率 ハ) 油圧ユニットの作動油の温度
5. 俯仰角度検出器	イ) 挿入絶縁油の含水率



番号	名称	備考
1	ビット	
2	切削減速機	
3	55kw水中電動機	
4	俯仰用油圧シリンダ	
5	俯仰角度検出器	油圧シリンダ操作用
6	油圧ユニット	油圧シリンダ操作用
7	制御盤	
8	水圧ポンプ	タンク内加圧用
9	圧力計	油圧ユニット油圧測定用
10	圧力計	タンク内圧測定用
11	圧力計	減速機内圧測定用
12	温度計	タンク内水温測定用
13	安全弁	タンク内圧用
14	乱雑温度計	室温、モータコイル、油温
15	圧力スイッチ	タンク内圧用
16	電流計	水中電動機用
17	時間積算計	運転時間用
18	潜水又は海水	
19	砂	
20	温度計	油圧ユニット油温

図-13 耐水圧試験装置



写真-4 アーム式水中掘削機運転制御室

ルによる掘削沈下が困難となった洪積砂層から下 26.2 m 間(掘削土量約 810 m<sup>3</sup>)である。

地山掘削は 図-15 に示す 2 種類の掘削方法で行った。同図中 ① は掘削中にケーソンが自沈するおそれのある洪積層の掘削方法を、② は土丹層内の掘削法を示す。なおケーソン躯体内に周面摩擦計、刃口荷重計等をセットし、沈下抵抗力を測定し拡張掘削の安全性を確認している。本機の大きな特徴の 1 つは、このように地質に応じて掘削法を自由に変えられることである。

b) 掘削性能

① 最適掘削条件

旋回速度 2, 3, 4 m/min の 3 条件を選定して掘削した結果、水中モータの掘削指数や負荷率および旋回トル

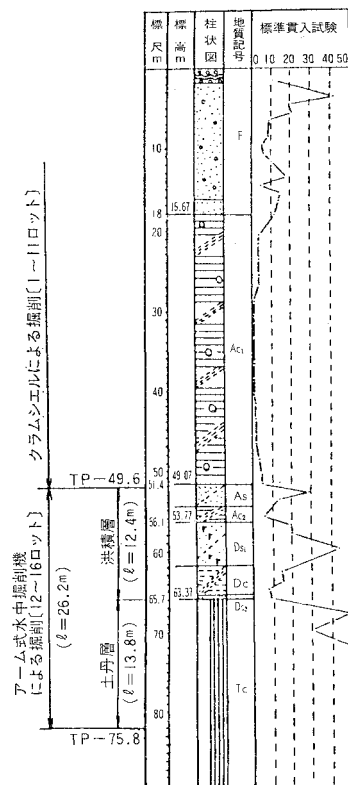


図-14 掘削深度



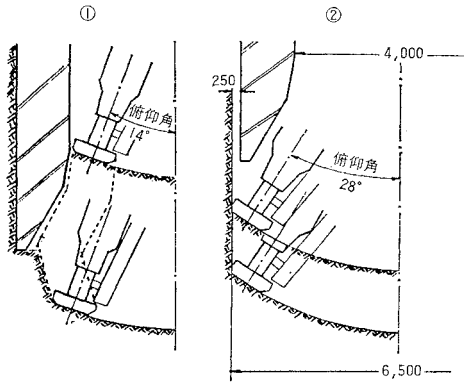


図-15 掘削方法

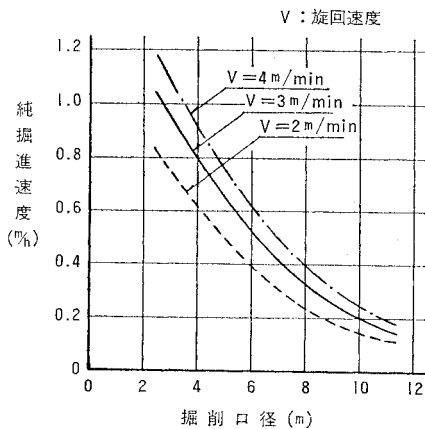


図-16 掘削口径別の純掘進速度

クの負荷率は工場試験とほぼ同様の傾向となり、最適掘削条件は回転速度 3 m/min と判断された。なお洪積砂層については回転速度 4 m/min で掘削しても仕様値には十分余裕があった。

② 掘削能力

本機の掘削は切込み 20 cm、俯仰 6度ピッチ、回転速度 3 m/min の繰り返しによって行われる。このときの純掘削時間は、各動作の累計値となる。φ6 m 掘削の現地試験結果から掘削口径別のサイクルタイムを求め、純掘進速度を予想すると 図-16 のようになる。

図-16 と、表-1 で示した従来の大口径掘削機から軟岩について求めた純掘進速度（口径 3~4 m 級）を比較すると掘削能力はあまり差がないといえる。

③ 掘削径

掘削跡を孔壁測定器を用いて測定した結果、工場試験と同程度の誤差（±2 cm）で実掘削されていた。

④ ずり揚げ性能

エアリフト方式による本機のずり揚げ能力を確認するため種々の調査・試験を行ったが機能上問題となることはなく、スライム処理（孔ざらい）も効果的に行うこと

ができた。

なお、掘削地盤が粘土、シルトで組成される土丹層であるために掘削ずりは非常に細粒化され、粒径 2 mm 以下の細粒分の占める割合は約 50% もあった。

この中には沈殿しにくいシルト・粘土分も多量に含まれているので本工事で泥水処理は大掛りになりそうである。

④ 運転性能

試運転や掘削機の昇降時間を含めた延べ稼働時間は約 300 時間におよぶがこの間に掘削に支障をきたすようなトラブルはなかった。

⑤ その他

○カッタ目詰り

土丹の付着はピックホルダの根本を除きほとんどなく、掘削には特に支障ないように思われた。

○ピック摩耗

ピックの摩耗量は予想以上に少なく、試算すると 1 セット（ピック 27 本）で φ10 m 杭 3 本分約 6000 m<sup>3</sup>（6000/27≒200 m<sup>3</sup>/本）の掘削ができそうである。

○点検、整備

掘削機を水中に入れた時間は約 1300 時間で、このうち稼働した時間は約 300 時間である。この間修理を必要とする箇所はなく、簡単な整備で済む状況であった。なお、掘削試験後、掘削機本体の分解、点検を行ったが何の異常も見当たらなかった。

5. あとがき

4 年間にわたる検討・実験の結果、本アーム式水中掘削機は見事実用化され、現在本工事で 4 台が稼働中である。ここで本機の特徴を整理すると次のようになる。

- ① 軟岩を低動力、軽重量で従来のものよりはるかに大きな口径の掘削ができる。
- ② 大幅拡張掘削および任意の断面掘削ができる。
- ③ ずり処理が完全にできる。
- ④ 掘削が自動化されている。

最後に本掘削機の開発に際して助言、指導をいただいた、建設省土木研究所機械施工部 千田部長、本州四国連絡橋公団工務第二部 松本次長、首都高速道路公団 玉野理事、同 岡田参与、建設機械化協会 三谷副会長、建設機械化研究所 上東所長、をはじめ関係の皆様へ厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 「大口径孔機械の掘削性能に関する研究」建設省土木研究所 土木研究資料、第 1310 号。

(1985.11.26・受付)