

# 海洋石油掘さく新技術と一般試錐

小 鯛 柱 一

## I はじめに

最近の諸外国ならびにわが国における海洋石油掘さくの新技術の動向を探るとともに その中から 深度 数100m 程度の小孔径試錐(以下 一般試錐と仮称)に波及的に応用されるものに どのようなものがあるだろうかということについて考えてみた。

## II 海洋石油掘さく技術の動向

水深100m 以深の洋上で石油掘さくでは 世界的にみて 船型および半潜水型の掘さく船2種がおもに活躍している。これらはいずれも 装置類の大部分を搭載した洋上掘さく船を浮上固定させて作業を行なうものである。したがって 掘さくの稼働率は ヒービング(船を持上げる高さ) ローリング(船の回転運動) スウェイング(船の動揺)といった波の影響を強く受けやすい。船型掘さく船は 曳航性が優れている代りに 波による影響は特に顕著である。

半潜水型掘さく船は 曳航性を犠牲にする代りに 波の影響を極力防いでいるために 前者よりも多く使用されている所以でもある。そして後者において これを大型化すればするほど 順次大きい周期の波を相殺し 吸収除去できるようになるので より良好な安定性が得られるようになる。このため 年々大型構造のものが建造される傾向にある(第1図参照)。

この傾向は 特に米国において顕著で ペンロッド・ドリリング社 セドコ社 ネプチューン社 オフショア社 オドコ社などが いずれも水深200m あるいはそれ以上の海域において掘さく可能な掘さく船を建造中であり わが国においてもこれらに匹敵するものを2・3建造している。現在までに建造されたもの または建造中のものうち 最も大型の掘さく船の1つとして

がある。掘さく船自体は 以上のような過程で安定性を向上し 稼働効率を高めてきており これが掘さく性能の向上にもつながっていることはいうまでもない。しかしながら ①②にみられるカタログ上の性能数字は単に その出力や機器類の収納能力のみを示す場合が多く 実際上の掘さく性能は 他の種々の技術上の制約を受けるためにこれほど大きくはない。それは各掘さく船の実績をみても明らかである。特に ①は海洋科学調査を主目的としているため 最大水深深度は桁違いに大きいけれども この最大水深時の掘さく能力は 最大掘さく能力値の1/3位であろうと推定される。

これら 高水深 高掘さく深度の掘さく作業に対する技術的な障害として 2つの大きな問題点がある。1つは 洋上に浮ぶ掘さく船の位置安定の問題であり もう1つは 洋上から海底まで繋ぐライザーパイプの安定性と強度の問題である。前者は アンカー方式からダイナミックポジショナーに移行させることによって 一応の解決が得られるものとみられるけれども 後者においては経済性や既存の材料強度などから考えて 限界に近いものがある。これらの問題点を解決する新しい掘さく方式として

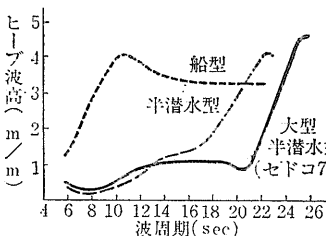
- ④ カリフォルニア ステート カレッジ システム(米国・IRM社 調査レポート 1970年4月)
- ⑤ アーティック ドリリングのためのシーフロアリグ(米国・Tetra Tech 社 ワールドオイル 1971年6月)

などがある。これらは いずれも荒天時に対する安定性を考えた支援船と 海中に設置し着底させる掘さく装置部とからなり この間をケーブル等により中継する。そして 掘さく部内は 気体雰囲気または水中暴露部からなり 操作はある程度の自動化により ダイバー作業を少なくする考え方をとっている。

わが国においても 海洋科学審議会の答申によって 国が主導的な役割を果たしながら計画している 海洋開発のうち 工業技術院が民間企業10社に委託して研究開発中の大型プロジェクトとして 『大深度遠隔操作海底石油掘さく装置』(以下 略してDSDと仮称する)がある。

これは 水深200~250mまでの海底面に掘さく装置のおもなものを沈め設置し 海上から自動および遠隔操作

- ① 船型で グローマル チャレンジャー号(最大水深25,000' 最大掘さく深度20,000' 1968年完成)
- ② 半潜水型で セドコー700(最大水深20,000' 最大掘さく深度25,000' 1973年完成予定)



第1図 海洋石油掘さく船のヒービングと波周期の関係

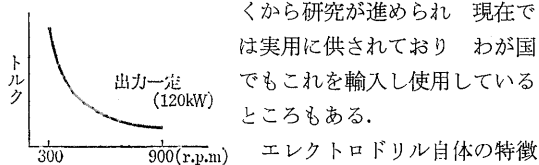
によって そこから最大9,000mの深度まで掘さく可能な装置を開発しようとするものである。

深海における掘さく方式として 基本的には以前からこのような方法が要望されていて 前述のように 米国でもこれに類似したアイデアはあるけれども 自動遠隔化を駆使して具体的な開発段階にまで発展させているのは 今のところわが国だけである。

### Ⅲ 一般試錐への応用について

「DSD」の題目のごとく 大深度掘さく(目標深度8,000~9,000m)であるから この最大深度点(坑底)における石油の賦存性を考慮した温度200°C 圧力1,400kg/cm<sup>2</sup>(但し 掘さく部核は水深200~250mの海底に設置するのであるから 坑内の装置類の耐圧は25kg/cm<sup>2</sup>)を開発目標に設定しているために 各装置機器類の性能向上のための研究開発の大部分は この未開発の高温高压に対処するためのものである。そしてまた 同じく題名のように 大部分を自動遠隔で操作するのであるから これのためのソフトおよびハードの研究も大きな割合を占めている。この他 掘さく部核や支援船自体の構造に関するものや 海洋石油掘さくが大規模な掘さく作業であるが故に 掘さく作業に欠かせない特有の付属設備として 海底坑口装置 資材の供給貯蔵装置 管理通信装置などがある。一方 一般試錐では その規模に相応しい経済性や可搬性が要求される関係上 優れた掘さく機械であるための条件として 機構的に無駄がなく簡素化され しかも耐久性のあるものでなければならず これに相反する複雑なハイメカニズムは極力避けるようにするのが技術的な常識であると考えられる。このような理由から 一般試錐への応用部分は おもに掘さく(掘進 泥水・セメント 検層の各システム)に関係した各技術の内のごく一部分に限られるのである。

エレクトロドリル 現在 既存の各種坑井の掘さく方式は その掘さく規模の大小を問わず ほとんどのものが掘管を回転させることによって その先に接続してあるビットが同時回転して掘進するところのドリル回転方式である。この方式は深度の浅い工事の場合において確実かつ経済的であるけれども 深度的に深い部分を掘さくする場合は 回転する掘管と坑壁との間の強い接触によって エネルギーの吸収消費の増大 掘管の磨耗増大 坑壁の崩壊による事故などをまねくほか 硬岩を掘さくするのに 室内実験で示す性能ほど十分な効果を示さなくなる場合も多い。このような理由からビット部のみが回転する方式が以前より理想的な掘さく方式として期待されていて ソ連およびフランスにおいては早



第2図 エレクトロドリルの出力特性

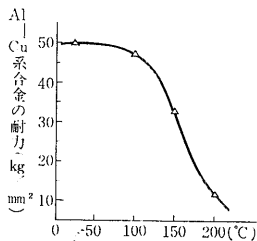
くから研究が進められ 現在では実用に供されており わが国でもこれを輸入し使用しているところもある。エレクトロドリル自体の特徴は ロータリー方式などと比べて 地質の変化状況を電氣的に迅速にキャッチでき しかもこれをすぐさま自動的に制御できること ドリルパイプ(一般試錐ではロッド)の寿命が約3倍延長できること 所要馬力が約25%減少されることなどの利点がある。機構的にみると エレクトロモータ部内におけるピストンとコンペンセータスプリングの作用により 油注のトランス油圧力が坑内掘さく液圧力より 0.2~0.25kg/cm<sup>2</sup>だけ高い構造になっている。モータコンペンセータ内およびスピンドルコンペンセータ内の油量はいずれも3~5ℓである。掘さく時において金属シールが正常に働いている間でも6cm<sup>3</sup>/hrの油洩れがあるので ビット交換など揚管の際(普通60時間以内の作動を規準にしている)に この油洩れによる圧力低下がないかどうかの保守・点検を行わなければならないことが難点になっている。

DSDで新たに開発中のものは 圧力バランス 速度制御 信号の搬出などの方式のうちから 既存特許を避けながら より高温高压に耐えうる性能のもので 出力一定の直流分巻電動機特性を有する交流電動機である(第2図参照)。

外国およびわが国のものは すべて石油を対象しているために エレクトロドリル外径は最小のもので165mmφもある。一般に エレクトロドリル外径をわずかに縮小することが モータ特性上 出力の大幅な低下に連るといった技術上の問題点がある。しかしながらこれを一般試錐へ応用するためには さらに小径にするための企業努力を待つほかはない。加えて 変圧器 計器盤 制御盤などの各ユニットを集計すると かなりの重装備になるので これらのコンパクト化もまた必要である。

フレキシブルドリルパイプ エレクトロドリル方式がソ連とフランスで大きく異なる点として 導電線内装のドリルパイプ形式がある。ソ連では ロータリー用ドリルパイプの中心に電線を固定したものを使用しているのに対して フランスでは 細い鋼線を螺旋状に幾重にも巻き その間を耐熱ゴム等で積層している中空のフレキシビリティのあるパイプ(電線はもちろん内装してある)を使用している。

DSDにおいても 当初このフレキシブルドリルパイ



第3図 アルミニウム合金の耐力と温度の関係 ⑤試験温度に10,000時間保持した後の測定値

プの使用の可否について検討した。けれども開発目標が掘さく深度8,000~9,000mと非常に大きいのでこの場合において坑径の大きい掘さく初期時(浅層部分)では循環泥水量を大きくしなければならぬのであるが この泥水はいち

いち8,000~9,000mのフレキシブルドリルパイプ内の細い水路を通ることになるためこれの摩擦損失を考慮すると膨大な必要圧力値になってしまいこれに耐えうるポンプおよびホース(フレキシブルドリルパイプ)の開発は経済的に成立たないので否決された。

フランスでは3,000m位までこれを使用して掘さくしていることからして一般試錐では上記のような心配は全くない。

一般試錐においてさえロッドの昇降時間が全稼働時間の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ を要することからするとロッドの継ぎ足し取り外しのいらぬフレキシブルドリルパイプを使用することによって時間的・操作的な軽減が計れる魅力は大きいものがある。このフレキシブルドリルパイプ自体の開発は一般試錐用としては難度が低いと思われるので問題は小径でしかもコンパクト化したエレクトロドリルの開発如何にかかっている。

**アルミ合金製ドリルパイプ** フレキシブルドリルパイプとは別に従来から一般に使用されている鋼製ドリルパイプの代りとしてアルミ合金(おもにAl-Cu系が強度的に優れているので用いられている)製ドリルパイプを使用することにより大幅な重量の軽減をすることが可能である。重量の軽減はとりもなおさず燃費ドローワークスコスト運搬費その他の荷動費等の縮小につながるためアルミ合金の高いイニシャルコスト(鋼製ドリルパイプの約1.6倍)をペイして余りあるものがある。

アルミ合金製ドリルパイプは1963年頃米ソ仏が時を同じくして使用し始めたようで米国におけるアルミ合金製ドリルパイプの使用実績は石油用ドリルパイプ全生産量中の約10%であるといわれている。

わが国では遅ればせながらDSDにおいて初めて研究を開始したのが実情である。米国レイノルズ社で多量に生産しているドリルパイプ用アルミ合金材のうち最も代表的な引張試験結果を記すと引張強さ52.5kg/mm<sup>2</sup> 耐力49.7kg/mm<sup>2</sup> 伸び5% 弾性係数7,500kg/

mm<sup>2</sup> といった性状で現在一般試錐で用いられている鋼製ロッド材の強度と比べてみると伸び率が約半分である他は全く遜色がない。DSDでは強度的にもさらに優れた数値が得られるよう研究中である。

石油掘さくでは高温時における物理的特性の脆化が掘さく深度を制限している。しかし第3図からも解るように100°C前後までは強度的にほとんど変化しないので一般試錐への応用には問題がないはずである。

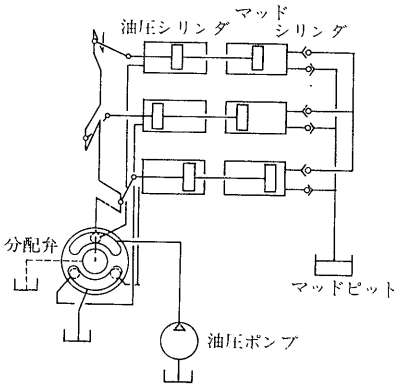
わが国の企業がアルミ合金ドリルパイプ類の生産をこれまで行なっていなかった理由は需要が大きくない割りに製造技術面の障害が多かったことによる。すなわちAl-Cu系合金の押出鍛造切削等の加工性が悪いのでこれを解決処理するための設備費が必要である。特にドリルパイプ用となると長寿命化を計るためのアブセット加工(応力の多くかかるパイプ両端部を肉厚にするための加工工程)を施すのに大きな設備費が必要である。

⑤: わが国の鋼製ロッドも損耗比とコストの関係上アブセット加工をしていない点は同様で試錐技術的にみると他に影響するマイナス面は大きいものがある。

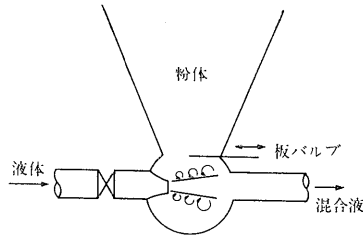
**マッドポンプ** 試錐作業において泥水ポンプの調子如何が工事の成功不成功を左右する最も大きな要因であることはいうまでもない。試錐の技術的な性質上泥水ポンプは高い耐久性のあること脈動が少ないことポンプ効率がよいことなどが必要条件であり従来からこれに適合するような多連のプランジャーまたはピストンポンプが開発され用いられてきたわけである。

しかしながらDSDで開発中の方式(下記)を採用すると耐久性等において一層の性能向上がみられるものと考えるのでここに紹介する(第4図参照)。

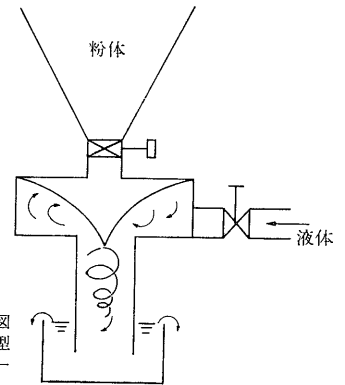
**ダブルピストン型往復動ポンプ**(S47-2・特許出願済) これは油圧駆動によるピストン駆動方式で同一シャフト中に主ピストンと副ピストンの2つのピストンを有しこの2つのピストンの空間に外部より油を導入しその圧力をポンプの圧送する液体の圧力よりも高く保つことで圧送する液体の漏洩を防止するとともに油がピストンとシリンダー接触部にはまりこんで著しい摩擦を引起すのを防止する。このように本機構の利点はピストンの摩擦を減少し寿命の向上を計ると同時に力の伝達が主副両ピストン間にある油を介して行なわれるので緩衝作用によって安定した運動が得られるし油圧式であるため試錐作業に合った幅広い流量制御にも即応できる。



第4図  
油圧駆動によるピストン直動形マッドポンプ



第5-1図 ジェットホッパー型ミキサー



第5-2図  
ターネード型ミキサー

泥水ミキサー 従来から作泥調泥のためのミキサーはその構造の簡単さ 作泥時間 保守および運搬の容易さ 経済性などを考慮して ジェットホッパー型ミキサーが比較的によく用いられてきている。けれどもこれは高圧ポンプを必要とする。作業現場において吐出圧不足でミキシングするためにうまく混合されていないことをよく見うける。DSDではこの型以外にターネード形ミキサーと薄膜式ミキサーについても技術的比較検討を行なっている。ミキサーは機構的に寸法・規模の大小に無関係に適用できると考えるのでその概略を説明する(第5-1~5-3図参照)。

(1) ターネードミキサー: この構造は第5-2図のように液体を円筒状の混合室に接線方向に流入させ流れに旋回を与えその中心部に発生する高速の渦流に粉体を落下させると粉体は渦の中心の剪断流れにより溶解し吐出管内を落下しながら拡散混合されるものでこれには高圧を要しないがバルブコントロールがむずかしい。

(2) 薄膜式ミキサー: 第5-3図に示すようにシュートを通った粉体は噴射コーンによって分散展開されオーバーフローコーンを薄膜状に旋回しながら流下する液体と合流混合する。合流した流れはさらに混合盤およびガイドベーンによって剪断を与えられて一層よく混合されるというものでこれも高圧を要しないほか広い混合比範囲をとることができ割合に良好な溶解混合の状態が得られるという利点をもつが薄膜をコントロールすることがむずかしい。

IV おわりに

船型および半潜水型の広義の掘さく装置は掘さく船を建造する段階までと掘さく船内に搭載する掘さく機

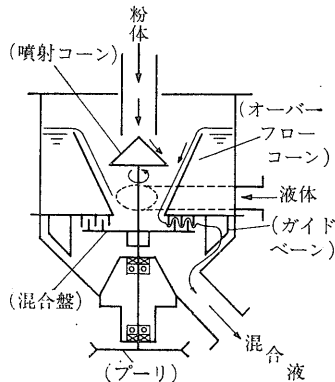
器類とに大方分離可能である。したがって技術的にも造船・掘さく等の各専門技術者がその職分の範囲内の技術を発揮すればそれでよかった。このことは現に第2白竜号をみても解る。掘さく船自体は世界水準をゆく立派なものであるけれども昇降用槽ドローワークス泥水・セメント関係の機器等掘さくに直接に関係する機器類は米国・フランスなどの輸入品である。これはすべてわが国の技術が劣っているというのではなくて造ろうとすればもっとよいものができるのだけれども輸入した方が安上りであることが大半の理由であり技術的に独立性があるためにただ配置を考えて購入し設置すればそれで済んだということにすぎない。

しかしながら掘さく部の一部を海底に設置する方式など従来の洋上方式と異なった方式を採用するとこのような安易な考え方は通用しなくなってくる。

未開発の新たな高温高圧の問題に加えて自動遠隔操作による装置を開発するためにはソフト的にもハード的にも各担当技術者がそれに関連ある掘さく技術を完全に理解しなければならないからだ。

わが国においてこれら技術者は今まではたけ違いであるとしてそっぽをむいていた掘さく技術について異常なほど熱心に勉強し始めているので今後多くの新技術を開発してくれることだろうそしてこれが一般試錐にもより多く波及されることを期待するものである。

(筆者は 応用地質部)



第5-3図 薄膜式ミキサー