

# 海洋石油掘削

中山 勳\*

## 1. はじめに

石油開発事業における掘削作業の役割は、地質調査や物理探鉱の結果から有望と判定された地下の地質構造の石油の有無を調べる試掘と、発見された油層の広がりを見る探掘と、経常的な石油生産のための坑井を仕上げの採掘とからなる(図-1 参照)。

海底石油資源の開発は、陸域における石油開発の結果から、その油田の延長部が海底に広がっていることがわかり、海岸からの傾斜掘りを行なうことから始まった。しかしながら、掘削技術では90°の傾斜掘りも可能だが付帯する各種測定機器の機能や石油採取段階での保守作業などに制約があって、現実には傾斜掘りによって海底の石油を開発するのは、海岸から1~2kmの範囲に限定されることとなる。したがって、これより沖合の海底石油の開発のためには、掘削のための作業基地を海洋に求めざるを得ず、またこれに伴って掘削終了後の石油採取のための諸設備も必要に応じて海洋に移すこととなる。これらの組合せは、技術上の問

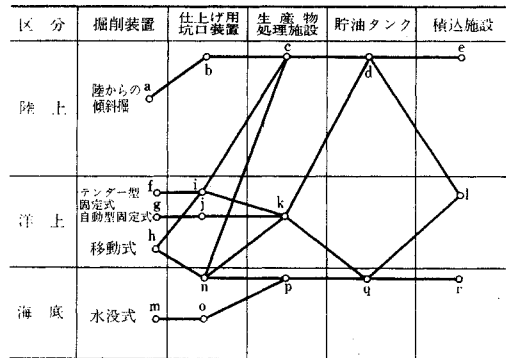


図-2 掘削基地と採採用諸施設の基地の組合せ

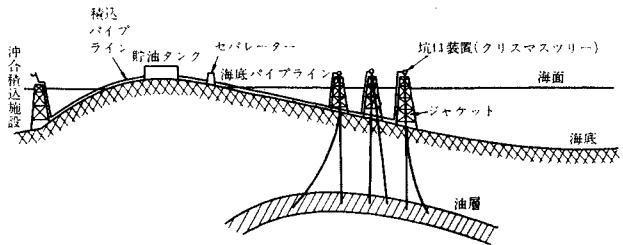


図-3 各基地の組合せの例

作業の順序	構成技術	石油地質および地質調査技術	物理探鉱技術	掘削技術	生産技術	(放棄)
探鉱	石油埋蔵の可能性の高い堆積盆地の探査	周辺陸地地質調査 海底地質調査	磁力探鉱 重力探鉱			
	発見された堆積盆地のなかの有望な地質構造の探査		地震探鉱			
	地質構造の確認および貯留岩の探査		地質情報総合解析	試掘	坑井試験解析 油層評価	試掘に足る有望な地質構造がない場合
	油田の能力の判定		坑井資料解析	探掘	坑井試験解析 油層評価	探掘に足る有望な油層がない場合
開発	開発方法の検討			油田開発計画		経済的な開発が望めない場合
	石油採取の準備			採掘	生産設備建設	
	石油の採取および生産管理				生産管理	

図-1 石油開発工事の構成

\* 石油開発公団計画部調査役補佐

題と同時に、全体のシステムとしての経済性によってプロジェクトごとに決定されるのはもちろんのことであるが、現状で考えられる組合せを示すと図-2のようになる。なお、図-3は図-2のh-i-c-d-lの組合せを例示したものであり、油田のある海域の水深が浅く海岸との距離が小さい場合に適している。以上からわかるように海洋における掘削工事は一時的なものであり、石油採取のための諸設備は油田の寿命の続く限り必要なものであるから、掘削のための作業基地はできるだけ移動式のものとし、石油採取用諸設備の設置過程で許容可能な場合に限り、移動式以外の掘削装置を使用する方

法が原則となっている。

## 2. わが国の海洋石油掘削の概要

わが国で初めて海岸からの傾斜掘りによらない本格的な海洋石油掘削が始められたのは、昭和33年10月に完成した移動式海洋掘削装置「白竜号」によるものである。白竜号は石油資源開発(株)がアメリカ合衆国のルトーナー社から設計図および一部主要機材を購入し、石川島播磨重工業(株)の施工により、秋田県の土崎港で建造したものであり、二等辺三角形をしたハルに昇降可能なトラス構造のスパッドレッグ3本を有する甲板昇降型移動式海洋掘削装置である(図-4参照)。

白竜号は完成以来しばらくは、わが国における唯一の移動式海洋掘削装置として、裏日本の秋田沖や新潟沖での海洋掘削に従事し、途中、昭和34年の土崎沖油田の発見および昭和40年から昭和42年にかけての頸城沖

構造の確認という成果をあげ、前者は白竜号で採掘を実施し、後者は頸城沖第三人工島および第四人工島に採掘作業を引き継いでいる。いっぽう、新潟県の頸城油・ガス田の開発がしだいに海のほうに拡大されてきた結果、陸からの調査で判明した沖合の地質構造に対して、昭和35年に帝国石油(株)が頸城沖第一人工島を建設して、わが国における最初の自載式固定プラットフォームからの海洋掘削に着手し引き続き昭和38年には第二人工島が建設された。従来、わが国の石油開発企業は小規模で、ほとんど石油資源開発(株)と帝国石油(株)の2社で行なわれていたため、掘削装置の保有および作業ともに石油開発会社の自営で実施されてきたが、昭和42年の石油開発公団の設立に前後して急速に活発になってきたわが国企業による国内外の石油開発事業に伴って、わが国にも世界の例にならって海洋掘削の専門会社が設立されるようになり、わが国企業の保有する海洋掘削装置も急激に増加した。

現在、わが国に設立されている海洋掘削の専門会社としては、昭和43年に石油資源開発(株)と三菱グループとで設立された日本海洋掘削(株)をはじめとして帝国石油(株)とZAPATA社との合弁会社であるアジア海洋掘削(株)および国土総合開発(株)とODECO社との合弁会社であるオデコ日本(株)とがあり、その保有する海洋掘削装置は表-1のとおりである。

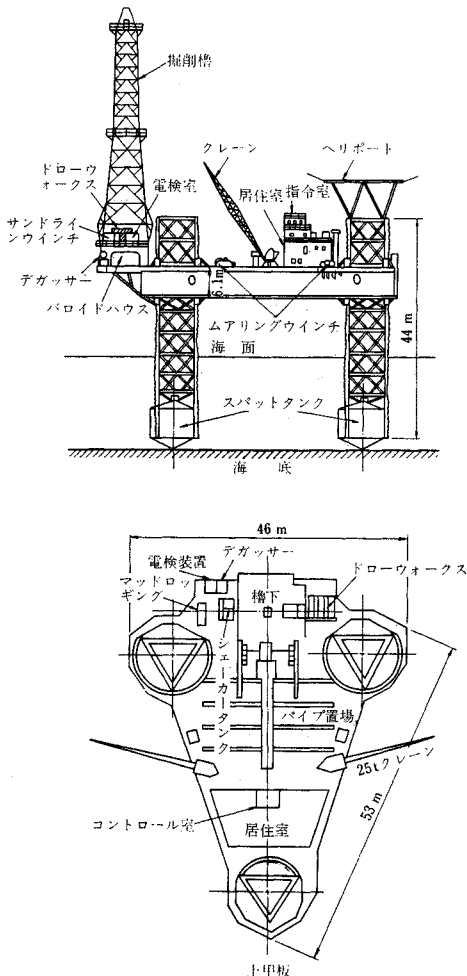


図-4 白竜号の側面および平面図

表-1 わが国の海洋掘削装置

区 分	白竜号	さくら	第二白竜		インベス ティゲ ーター	
			オーシャ ンプロ セク ター	インベ ス ター		
形 式	甲板昇降型	固定式用 テンダー ボート	半潜水型	半潜水型	船 型	
建 造 年	1968	1969	1971	1971	1967	
所 有 者	日本海 洋掘削	日本海 洋掘削	石油開 発公団	オデコ 日 本	アジ ア海 洋掘削	
主 要 寸 法	全 長 (m)	53.7	76.0	84	105	78.0
	全 幅 (m)	45.3	16.0	61	85	21.0
	高 さ* (m)	6.1	3.3	31	39	4.5
軽 荷 重 量 (t)	3200	1500	9100	12700	3200	
掘 削 能 力 (m)	4200	4500	9000	8000	6000	
最 大 稼 働 水 深 (m)	32	70	200	200	180	
自 航 能 力 (PS)	なし	なし	なし	5400	なし	
ヘ ッ ド 数	63	71	70	69	53	
現 在 地	エジプト	インド ネシア	日本海	日本海		

注：\*の高さは次のとおり。甲板昇降型は、ハルの厚さ。テンダーボートおよび船型は船腹の深さ。半潜水型はメインデッキまでの高さ。

これらの海洋掘削装置によって、その後、山陰沖の三菱シエル(株)や裏日本沖の日本海洋石油資源開発(株)と出光日本海石油開発(株)などの海洋掘削作業が実施され、今後はさらに多くの会社による日本周辺海域の海洋掘削作業が活発になろうとしている状況にある。すでに、日本海洋石油資源開発(株)と出光日本海石油開発(株)およびAMOCO社の共同事業になる新潟県阿賀沖の掘削においては大規模の油田が発見され、本年から

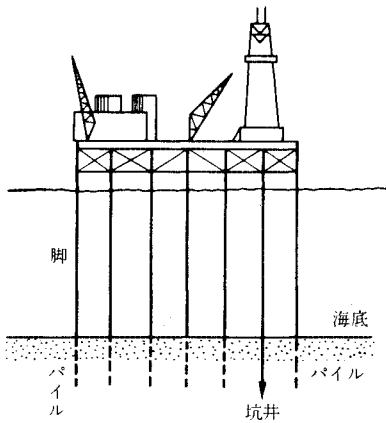
本格的開発工事に着手されることとなっている。

### 3. 海洋掘削装置

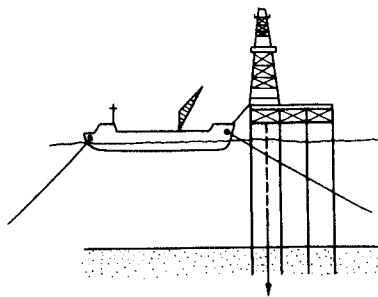
海洋掘削装置は大別して、移動式と固定式とに分類されるが、一般に海洋掘削装置という場合には移動式を意味する場合が多い。

固定式とは、いわゆる人工島に掘削機械一式を搭載したものであり、土盛りによるものや木坑を使用したものなどの例もあるが、近年においてはそのほとんどが鋼構造で建造されている。鋼構造の上部甲板の面積や積載能力によって、掘削機械など掘削作業に必要な設備いっさいをみずから搭載するものと、その一部しか搭載せず、残りはテンドーボートに搭載して一式とするものがあり、前者を self-contained fixed platform、後者を tender assisted fixed platform と呼んで区別している。頸城沖人工島は前者である（図—5 参照）。

現状では、固定プラットフォームの設置水深は 100 m が経済限界とみられているが、100 m 以上の水深についても試みがなされている模様である。固定プラットフォームは採掘を目的として設置されるものであるから、当



(a)全装備型 (self-contained fixed platform)



(b)付属船付プラットフォーム (tender assisted fixed platform)

図—5 固定式海洋掘削装置の分類

該油田の規模が大きい場合には、当然許容される固定プラットフォームの規模も大きくなり、また、油価の値上がりなどの経済条件の変化もあって、経済限界としての設置水深はますます深くなっていきつつある。

移動式は表—2 のように分類される。

表—2 移動式海洋掘削装置の分類

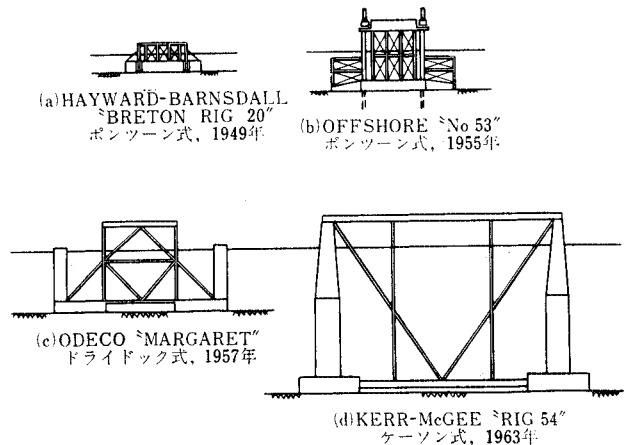
接 地 式	着 底 型	Submersible
	甲板昇降型	Self-elevating または Jack-up
浮 上 式	船 型	Drill-ship
	半潜水型	Semi-submersible

移動式は試掘または探掘に主として使用されるが、後述する土崎沖油田の場合のように、探掘井を掘削することもある。これら掘削目的や水深・海象などの自然条件によって形式を使い分けるが、いずれにしても、掘削作業時の安定性および、海域間移動時の速度が早く安全度が大きいことが要求される主要な点である。

着底型は、固定プラットフォームの海底との固定をはずし、バラスト操作で浮上・移動が可能にしたものとみればよい。1950 年代に多く建造されメキシコ湾沿岸で使用されたが、稼働水深もほとんどが 30 m 以下と小さく、移動・設置が不安定であるため、現在はまったく建造されていない（図—6 参照）。

甲板昇降型は、稼働水深が限定され昇降機構にトラブルが発生し易いという欠点はあるが、掘削作業時には海底に接しているため、人工島と同様の安定性があり、また、固定プラットフォームを建設しないで探掘をするに適しているので重用されている。現在世界で稼働中の約 230 基の移動式のうち約半数を占めている。稼働水深の最大のもは約 90 m である。

白竜号および、日本で建造されインドネシア海域で稼働したのちに中国に売却された“ふじ号”は、いずれも甲板昇降型であり、とくにふじ号は純国産技術で開発・建造されたものである。



図—6 着底型の例

船型は、通常の船に掘削設備一式を搭載したもので、自航式のものと同非自航式のものがあるが、いずれも海域間移動時のスピードが大きいのが利点である。掘削作業時には、8~10本のアンカーで繋留するか、スラスタなどの推進機を使用するダイナミックポジショニングによって定点に保持する。稼働水深の限界は大きく拡大されるが、気象条件や海象条件による船体の運動が大きいため掘削作業に支障をきたすこととなり、使用海域や使

用時期が制約される(図-7参照)。

半潜水型は、その船体構造部にケーソンまたはコラムを有しており、船型に比して波浪に対する安定性が非常にすぐれている。したがって、使用海域や使用時期に制限を受けることなく、高い稼働率を確保することができるので、建造費が高いにもかかわらず、近年多く建造されるようになってきた。昭和36年に石油開発公団が三菱重工業(株)の施工により完成した“第二白竜”は、半潜水型としても世界最大級の性能を有し、搭載機器の一部を除いて、純国産技術で設計および建造を実施したものである。稼働水深は最大200m、掘削能力は9000mである(図-8参照)。

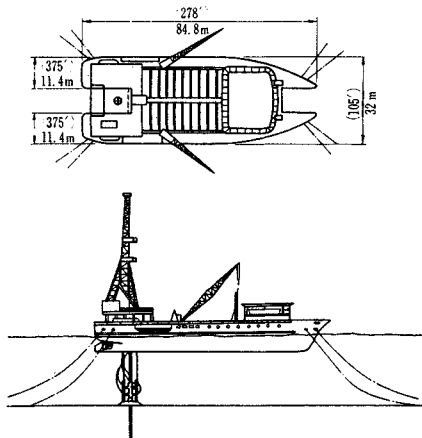


図-7 船型の例

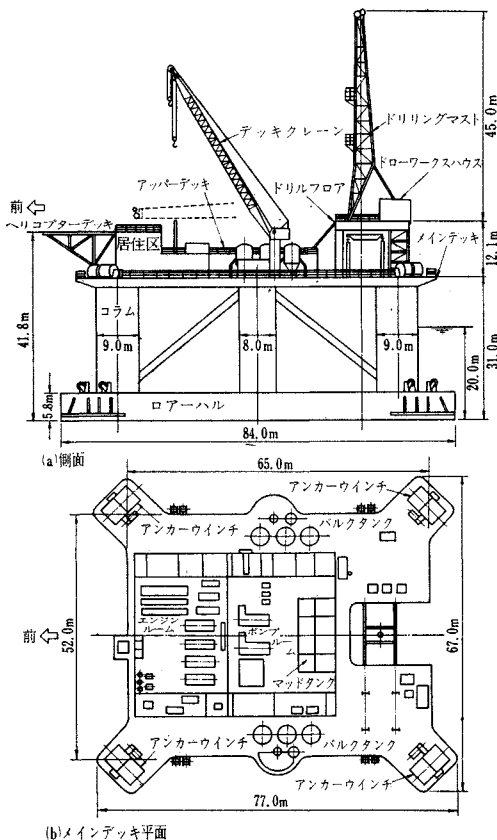


図-8 第二白竜の構造略図

#### 4. 土崎沖油田の掘削

土崎沖油田の掘削は、試・探掘および探掘ともに白竜号で実施された。昭和34年から昭和39年にかけて合計21坑の掘削が行なわれ、うち13坑から出油をみている。白竜号は、あらかじめ測量して設置してあるロケーションポイントまで曳航してアンカーをおろし、アンカーワイヤーの操作で正確な設置点に調整後、脚をおろして接地させる。接地作業の実施は、接地時の衝撃を考慮し、波高1.5mを限界としている。脚が接地したら、さらにハルを上昇させて、ハル下から水面までのエアクリアランスを7~8mとする。エアクリアランスはその海域の海象条件に合わせて必要最小限の高さとするが、台風等の荒天時にはハルを上げて十分なエアクリアランスがとれるようにしておく必要がある。

土崎沖の海底は厚さ約2mの砂層(平均粒度150μ程度)でおおわれ、その下は頁岩層となっている。したがって、脚の接地部の洗掘によるトラブルを防止するために、設置後ただちにノズルを降下して、人為的に脚の下の砂を排除し、岩盤に接地させる方法をとっている。

新潟沖のように砂層が厚い場合や軟泥が深く堆積している海底では、洗掘の防止とともに、作業期間中の積載荷重の変動による脚の接地深さの変化を防止するため、プリロードをかけ、十分な支持力が脚下端に与えられるようにしている。軟泥ではマットつきを使うこともある(図-9参照)。

エアクリアランスは元の高さまで調整する。土崎沖の場合は台風時にはハル下11mにして退避することとされていた。このために、白竜号には各種の気象・海象観測機器を設置し、同時にラジオの漁業気象などにより気象図を作製して、気象・海象の悪化を予測することが大きな仕事となっている。

白竜号を設置すると、外径60"・長さ6mのパイプを海底面に打ち込んでから、その内側を47"のビットで

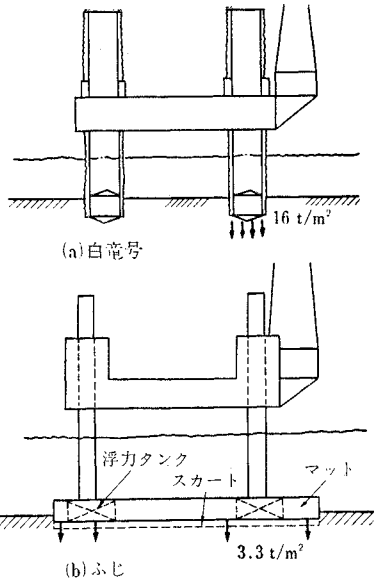


図-9 甲板昇降型の支持荷重

掘削して、外径30"のパイプを挿入しセメントを外側に充填して固定する。30" ストープパイプの上端は水面上の適当な高さとし、下端はパイプが海底に固定されて倒れないのに十分な深さだけ挿入する。水深が深い場合には海底面付近以下を45°にした通称とっくり管を使用している(図-10.11)。

60"のパイプは海底面の洗掘を防止し、30" ストープパイプは坑

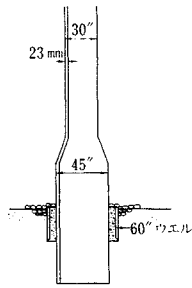


図-10 とっくり管

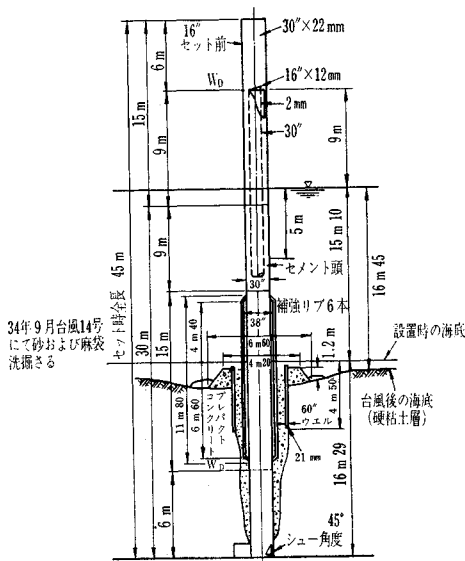


図-11 ストープパイプの設置例

井を海水から遮断するものであり、ストープパイプ設置後の掘削作業は陸上とまったく同様に進められる。

掘削作業中は必要に応じてストープパイプの上端をサポートすることができるが、掘削終了後採油井として仕上がった場合には、長期的に海中に放置することとなるので、30"パイプをサポートするためにジャケットを設置する。同時に、このジャケットを利用して他に2~3坑の掘削を同一地点から傾斜掘りによって実施する。

ジャケットは、設置作業の便を考慮してA, B, Cの3つの構造から構成される(図-12 参照)。

A構造は海中部分の基本となる構造物で、パイリングによって海底に固定される。C構造は石油採取設備の一部を搭載する甲板とヘリコプターデッキとからできている。B構造は両構造をつなぐものである。A構造およびB構造は白竜号のドローワークスで設置するが、C構造の設置は、作業を終了して白竜号が離脱したのちに、クレーン船で行なわれる。

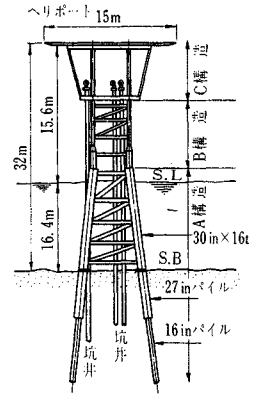


図-12 ジャケットの設置例

土崎沖油田は、最終的にはA, B, Cの3基地にジャケットが設置され、C基地からB, Aを經由して海岸の新屋集油所まで海底パイプラインを敷設した。パイプラインの延長は海底2260m、陸上808m、計3074mで、昭和35年7月に着工して10月に完了した。埋設は、汀線付近で3m、沖へ780mの付近で2m、同じく1500m付近で0.4mとなっている。

### 5. 頸城沖油・ガス田の掘削

新潟県直江津市から柿崎町へかけての海域および陸域にまたがって発達する油層およびガス層を、頸城油・ガス田と総称しており、これらのうち沖合の油・ガス層開発のために頸城沖人工島が建設された。頸城沖人工島は4か所あり、その主要諸元は表-3のとおりである。

頸城沖人工島は、いずれも全装備型であって、掘削作業に必要な機械類、居住設備、貯蔵施設などのいっさいを保有している。ただし、第1人工島のみは海岸から近いので、棧橋によって海岸に連結されており、居住設備をもたない。ちなみに、棧橋には531tの鋼材が使用されている。

必要とする資機材の補給と交替要員の輸送とがサプライポートで行なわれる以外は、陸上とほとんど同じ掘削

表-3 頭城沖人工島の諸元

区分	名称	第1人工島	第2人工島	第3人工島	第4人工島
着工	昭和年・月	35.6	38.4	42.1	43.2
完成	昭和年・月	35.12	38.8	42.8	43.8
水深	深 (m)	6	15	25	20
水距	岸 (m)	288	1170	2290	1710
設計基準	最大波高 (m)	9.3	11.0	14.0	14.0
	最大風速 (m/sec)	54	54	54	54
	積載重量 (t)	298	539	895	853
	床面積 (m <sup>2</sup> )	500	610	700	748
仕	鋼材重量 (t)	707	660	960	758
	脚数 (脚)	16	12	12	6
様	パイリング深度 (in×m)	垂直 20×25.5	垂直 28×30	垂直 27 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ×30	斜 28×39
	実掘削坑井数 (坑)	8	16	13	20

作業を進めることができるが、海上における気象のきびしさもあって、一般に陸上よりは作業能率が低下する。

同一の人工島から掘削する坑井数は、甲板昇降型のジャケットに比べると、大幅に多くを掘削することが可能であるので、許容される坑井数は油層状況などの諸元で決定される。すなわち、掘削コストや採取段階のメインテナンスコストで許容される最大坑井傾斜角と、油層部分の鉛直方向の深度と、油層部分における適正なる坑井間隔とによって、同一人工島から掘削すべき坑井数が計算される。なお、油層が何枚もある場合には、その分だけ坑井数が追加されることもある。

## 6. 第二白竜による掘削

浮上式共通の問題として、まず作業期間定点に保持することが必要であり、前述のとおりアンカーリングまたはダイナミックポジショニングによる方法がとられている。しかしながら、ダイナミックポジショニングシステムについては、まだ応答性やパワーの点で技術開発の要素が多く残されており、船型の一部で実用化されている段階である。

したがって、第二白竜もアンカーリングによる方法をとっている。第二白竜は稼働水深 200 m を設計条件としたので、アンカーワイヤーの長さを水深の 6 倍と捨捨分 200 m の合計 1400 m として、アンカーウインチのドラム容量を決定してあるが、海象条件によっては必ずしも水深の 6 倍の繰出し長さを必要としないので、水深 200 m 以深でも稼働できる場合がある。

アンカーワイヤーの破断強度は 350 t 以上のもの 8 本を使用して、少なくとも日本海の家象条件下では十分に定点保持が可能であるようになっているが、定点保持力は最終的には海底土質に依存せざるを得ない。アンカーは 15 t の LWT を 8 個と軟泥質用に特注した 10 t のもの 8 個を装備しており、新潟沖の砂層の厚い海域にお

いては 130 t 程度以上の把駐力を確保し、実用上の支障はきたさないが、秋田沖のように岩盤面が浅く出る海域においては問題となる。確実な方法としては、アンカーの代りに、海底に埋め込んだパイリングを使用する方法がとられる。

第二白竜を定点に設置すると、ストーブパイプを設置するわけであるが、この点が前述の掘削装置の場合と大きく異なっている。図-13 に示すように、移動式海洋掘削装置による掘削で水深が深くなってくると、坑口に接続する防噴装置などの坑口装置の重量を、ストーブパイプ（またはコンダクターパイプ）で支持することが危険となるので、ストーブパイプ内にケーシングを懸吊する支点または坑口装置の位置を、しだいに海底面まで下げている。前者のみを下げたのが海底面支持型であり、両者を下げたのが海底坑口装置型である。第二白竜は、海底坑口装置型の装備を基本仕様としている。設置順序は、テンポラリーベースプレート、パーマメントガイドストラクチャーおよびマリンコンダクター、20° ケーシングおよびケーシングヘッド、BOP（防噴装置）スタック、ライザーパイプの順でそれぞれ別々に降下される。マリンコンダクター設置のあとでは、20° ケーシング挿入深度までの掘削が必要である。

ライザーパイプの上端は掘削装置に固定され、スリップジョイントで掘削装置の上下動を、フレキシブルジョイントで同じく横偏位を吸収することとなっている。第二白竜の場合は上下動 13.5 m、横偏位は片側 10° の仕様となっている。

そのほか、動揺する作業環境であることに適応するように機器類の仕様や作業方法に各種のくふうがこらされている点と、坑井事故防止や作業能率向上のための設備の増強と同時に、鉦害防止に大きな配慮が払われている点が第二白竜の特徴といえる。

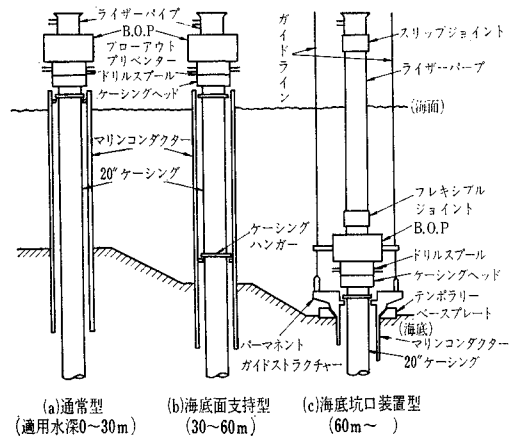


図-13 坑口装置設置方法の種類