

海洋構造物について

文献調査委員会

1. はじめに^{1)~3)}

ここ数年来、わが国でも海洋開発に関する関心が急速に高まり、いまやそれは原子力開発、宇宙開発に次ぐ第三の big project として、強力に推進されようとしている。実際、海洋は地球全表面積の 70% 余を占め、生物、鉱物、エネルギーの膨大な資源があり、しかもこの広大なスペースのほとんどが未開発のままであった。近年の科学の進歩はこうした資源およびスペースの開発の可能性を徐々に高めてきている。

われわれ土木技術者は、港湾、橋脚工事、沈埋トンネルなどの施工を通じて早くから海と取り組んでいたが、それは水深数十m以内の比較的浅い海に限られていた。一方、石油、天然ガスなどの海底鉱物資源の掘削という目的から開発された掘削装置は第2次大戦後の海底大油田の発見に伴い、より深い水域での掘削を可能ならしむるよう、徐々に発展、改良を積み重ねられ、現在海洋構造物の中では最も数が多く、また大規模に実用に供している。これらの構造物に作用する波力の研究を中心に、われわれ土木技術者の果たした役割も少なからぬものがあると思われるが、それでもこうした構造物について、われわれは比較的なじみが薄かった。しかし、今後より深い水域にたとえば海上都市、海上空港などの構造物を作る際には、われわれは積極的にこれに加担しなければならないであろう。そこで、海洋構造物についてこれを使用目的別に分類し、それらについて現在どのような構造物が存在するかを実例を挙げながら紹介する。次いで将来いかなる構造物が作られうるかを説明する。

上述のごとく、石油掘削機を中心に海洋構造物もきわめて多岐にわたり、しかも日々新しい構造物が作られている現在、くわしくこれを説明することは、とうてい不可能である。よってここでは総括的に海洋構造物全般についての紹介を目的とした。

2. 海洋構造物

(1) 定義

海洋構造物なる言葉はきわめてあいまいで、その定義も確固としたものはない。ここでは便宜上以下の解釈を取る。

水際線までをも含めた海のすべての構造物を慣習的な呼び方による分類に従って以下のように区分する。

- 1) 海岸構造物：港湾施設を除いた水際線付近の構造物（海岸堤防、護岸等）
- 2) 港湾構造物：防波堤、岸壁などの港湾施設
- 3) 海洋構造物：上記以外のもので一般に水際線から離れて存在するもの。

これらのうち、海岸および港湾構造物についてはその概念もはっきりしているが、海洋構造物についてはその種類も多岐にわたり、明確な定義はない。しかし、一般に既存の海岸および港湾構造物の範疇からはみ出る構造物を総括的に呼んでいるようである。

(2) 分類

上記のような観点から現存の海洋構造物を使用目的別に分類すれば次のようになる。

- | | |
|-------------|-----------|
| 1) 海底資源掘削装置 | 6) 海中貯油施設 |
| 2) シーバース | 7) 海洋観測船 |
| 3) 海上作業台 | 8) 海底居住基地 |
| 4) 海中塔類 | 9) 沈埋管 |
| 5) 航行・防衛施設 | |

そこでこれらのうち、最も古い歴史を有し、しかも現在最も数多く稼動して海洋構造物の中心的な存在である海底資源掘削装置の例から見てみよう。

3. 海底資源掘削装置

(1) 分類

石油および天然ガスは現在までのところ海底鉱物資源の中では最も経済性が高く、これらの採掘のため民間企業も積極的にこれに加担しているため、石油掘削装置は現在全世界で 300 以上が稼動、海底産油は全原油生産量の 16% を占め、今後ともこの比率は増大する傾向にある。表-1 に石油掘削装置の分類および、その性能を示した。

表-1 海底掘削装置の分類と性能

型式	分類	作業可能限度	水深限度
固定式掘削装置	棧橋付	風速 56 m/sec 波高 16 m	約 15~30 m
	テンダーバージ付	〃	〃
	自載式	〃	〃
移動式掘削装置	着底式	風速 56 m/sec 波高 13 m	約 15~50 m
	脚昇降式	〃	約 15~90 m
	ボーリング船	およそ風速 21 m/sec 波高 4.3 m	約 10~180 m
	半潜式	風速 45 m/sec 波高 19 m	〃

(2) 発達の経過

歴史的に最古の海底石油の掘削は、1894年カリフォルニア沖に始まり、ついで20世紀の始めにカスピ海バクー油田の開発が始まった。これらは初めから海底探掘を目的としたものでなく、陸上の油田の延長として、たまたま浅い海や沼で掘削を行なったものにすぎず、したがって、掘削装置も陸上のそれとまったく同じで、陸上から棧橋を築き、その先端に掘削機をすえ付けた固定棧橋方式であった。

次に1920年代にベネズエラのマラカイボ湖で初めて固定式プラットフォームが、30年代には移動式プラットフォームの原形ともいえるべきせん孔バージが作られた。第2次大戦後の海底大油田の発見—50年代の中東の石油、60年代には北海のガス、アラスカ・インドネシアの石油等—により掘削装置そのものも大規模化、大水深化が進められた。特に試掘の段階では可動性が要請される。そこで前述のせん孔バージから曳航後着底する着底型自己昇脚型が作られたが、これらは着底を要するため稼動水深が限定される。そこで浮いた状態でも掘削が可能な半潜式プラットフォームが開発された。以上の掘削機の歴史はそのまま海洋構造物の水深との関わりともいえるものである。図-1はアメリカにおける掘削可能水深の年ごとの変化を示したものである。

(3) 固定式掘削装置 [Fixed Platform]

図-1 アメリカにおける試掘、生産可能水深の推移

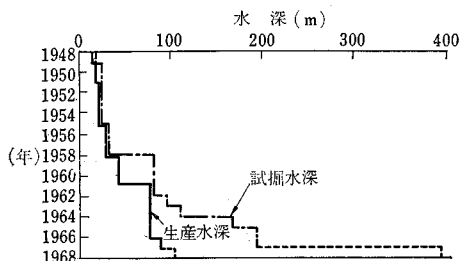
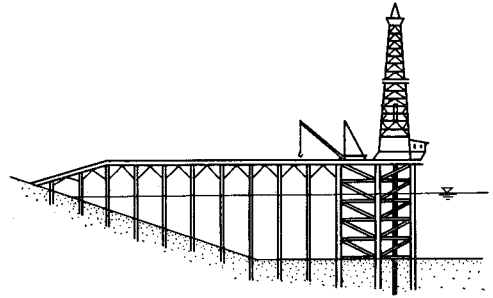


図-2 棧橋付プラットフォーム



この種の掘削装置は移動が不可能なため、試掘には適さず、むしろ恒久的な採油に有利な形式である。

1) 棧橋付 [Connected by Bridge] 陸上から棧橋を築きその先端に人工島を構築するか、またはプラットフォームを建造して掘削に必要な器具すべてをこの上に積載した形式である(図-2)。棧橋は機械、資材の運搬および作業員の交代用に使われる。

[例]

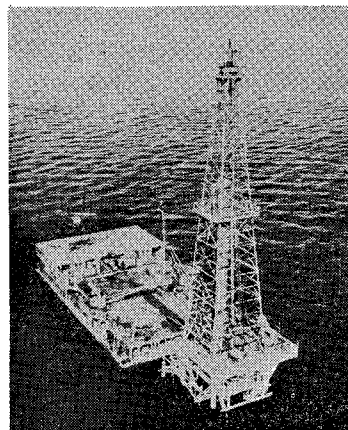
帝国石油第1人工島：新潟県大潟町沖で石油・天然ガスを掘削、棧橋全長 300 m、幅 3.3 m

2) テンダーバージ付 [Assisted by Tender Barge]

掘削場所が陸上からかなり離れている場合には棧橋付プラットフォームでは、棧橋の建設費に多大の金額を要し経済的に不利となる。そこで写真-1のようなテンダーバージ付プラットフォームが考案された。これは海中に小型のプラットフォームを建造し、この上に掘削に最小限必要なぐらと巻上機を搭載するにとどめ、他の大部分の付属機器および居住施設はテンダーと称する浮船に積載して、必要のつどクレーンでプラットフォームに補給する。掘削完了後テンダーのみ移動可能である。

この方式は暴風時においてはテンダーバージを避難させなければならず、また、掘削は水深 30 m が限度とさ

写真-1 テンダーバージ付プラットフォーム¹⁰⁾



れているが、建設費が安くしかも比較的lowコストでの掘削が可能である。

3) 自載式 [Self Contained] 海底に数本~数十本のパイロを打ち込んでその上にプラットフォームを設け、全施設をこの上に積載するもので、プラットフォームはかなり大型化し建設費も高い。しかし、プラットフォーム上に数機の掘削装置を備え、試掘井の終了後だたちにそれを採掘井として転用できるので良好な油層に有利な形式で、たとえばアラスカクック湾にはこの種のプラットフォームが多数見られる。

写真-2 自載式プラットフォーム

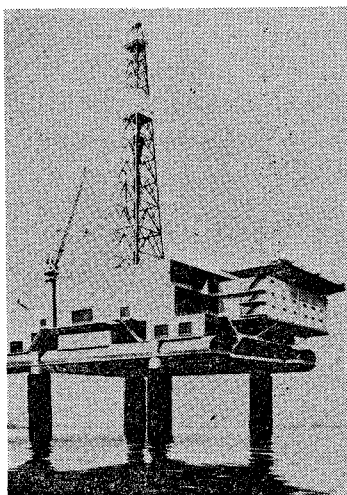


写真-2 はアラスカクック湾に設置されるプラットフォームで、デッキの大きさは44×37m、三菱重工にて製作されたものである。

[その他の例]

帝石第2~4人工島：新潟沖で稼働

モノポッド⁹⁾：一本脚固定リグ、アラスカクック湾

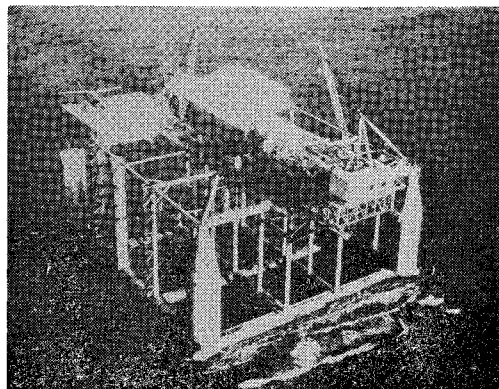
〔4〕 移動式掘削装置 [Mobil Units]

海底油田の開発初期には比較的掘削水深も浅く、陸上採掘の延長として固定式掘削装置が多く用いられたが、掘削海域がより深くなるにつれ、固定式掘削装置では試掘で油層が発見されない場合その装置はまったくの無駄となり経済的損失が大きい。移動式掘削装置はこうした欠点を補うため開発されたもので、バージによる曳航ないしは自航により掘削地点間の移動が可能である。

1) 着底式 [Submersible] 着底型掘削装置は移動式の最初に現われたもので、脚部に潜函を有し、掘削点ではこの潜函に注水することにより着底設置される。その地点での掘削が完了すると潜函に空気を入れて浮上し、次の掘削点まで移動する。

この型の掘削装置は水深50m内外が限度とされ、か

写真-3 着底プラットフォーム (Kermac 46)⁴⁾

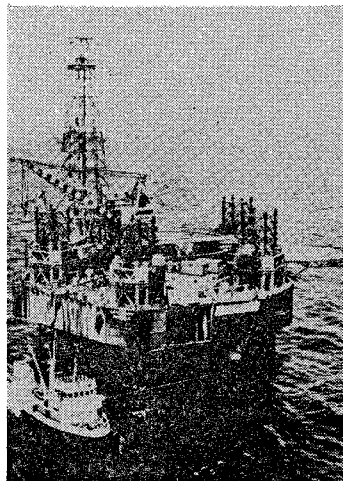


つ海底が平坦な水域に限定されると、後述の脚昇降型、半潜水型掘削機の進歩によって1958年以降建造は頭打ちとなっている。写真-3はアメリカのKermac 46と称する着底式掘削装置で、T字型のデッキをなし、水深21mの海域に着底、デッキの高さが水面上9mとなるよう設計されている。

2) 脚昇降式 [Leg Jack-up Self-Elevating]¹⁰⁾ 脚昇降式は1959年海洋土木工事用作業台として初めて開発されたもので、その後着実にその数を増し、現在では移動式掘削装置の約半分をこの型が占める。

これは脚を海底に降ろし、デッキを波の到達しない高さまで油圧ないしは空気圧により持ち上げて掘削を行なう。移動の際には、脚を上げた状態でデッキにより浮上し曳航される。脚昇降式は着底式にくらべ掘削可能水深が大きいこと、デッキを持ち上げるため波浪、潮流の抵抗が少なく作業時の安定性が良いことなどの長所を有するが、水深90m以深の海域では脚の着底が困難なこと、海底土質に影響されやすいこと、脚昇降機構の故障が多いことなどの欠点を有する。写真-4は北海で掘削

写真-4 脚昇降式掘削装置 (フランス島)¹⁰⁾



を行なっている“*Ile de France*”で、五角形状のデッキ(55×53.5 m)を有し、90 mの脚により水深60 mまでの海域での掘削が可能で、15 mの波高に耐えるよう設計されている。

[その他の例]

白竜号¹¹⁾：日本最初の掘削機、秋田、新潟沖で稼働

3) **ボーリング船 [Drilling Ship]** これは船上にすべての掘削装置を積載し、掘削地まで自航または曳航により運ばれ、6~8個のアンカーで船を固定して掘削するものである。ボーリング船の長所としてはプラットフォームの組立てを必要とせず、しかも曳航特性が良く稼働範囲も広いことにあるが、短所としては波浪、潮流の影響を受けやすく、大水深の海域では固定がむずかしいことが挙げられる。写真-5はアメリカの掘削船Nola 2で1万ポンドのアンカー8本で船を固定し掘削を行なう。

4) **半潜水式 [Semi-Submersible]** 半潜水式掘削装置は曳航特性を多少犠牲にしても波浪および潮流に対する抵抗力を増大してその稼働性を高めようという目的

写真-5 ボーリング船 (Nola 2)¹²⁾

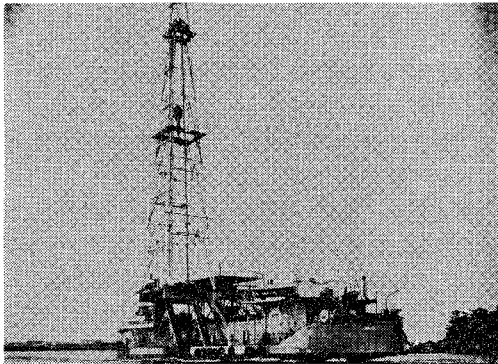
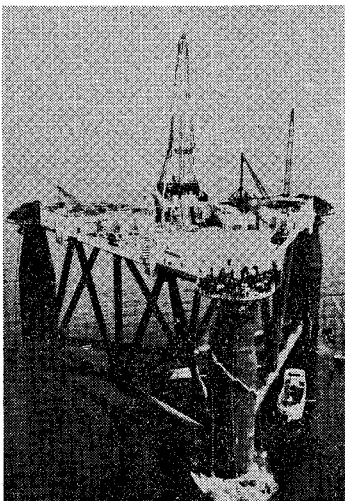


写真-6 半潜水式掘削装置 (SEDCO 135)



で1961年アメリカで開発された。すなわち、この種の掘削装置はより深い海域またはより悪い気象、海象条件のもとでの掘削が可能で、浅い海域では着底し、深い海域ではフローターによってその下部10~15 mを水中に没した半潜水状態となる。波浪および潮流は脚筒の間を通り抜けるので掘削機の安定性は良い。

一般にこの型のものは建造費が高く、ボーリング船と同様180 m以深の海域では固定法に問題はあるが、そのすぐれた特性から今後の研究開発と相まって将来は移動式掘削装置の中心となるであろう。写真-6はアメリカSouth Eastern Drilling Companyの注文に応じて製作されたSEDCO 135で、半潜水型掘削装置としては世界最大級の大きさである。全長116 m、全高51 m、デッキは一辺110 mの正三角形をなし、水深41 m以内では着底、それ以上183 mまでは半潜水状態となって掘削を行なう。また風速45 m/sec、波高19 mに抗する強度と安定性を有する。

(5) 現在の稼働状況

表-2に示すように、1968年11月現在で稼働中の天然ガス、石油掘削装置数は全部で327機で、固定式43%、移動式57%の比率である。固定式では自載型が64%、移動式では脚昇降型が46%と最も多い。なお、半潜水式は移動式のうち12%弱とその比率こそ少ないが、1962年に初めて稼働以来最大の伸び率を示し、今後ともこの比率は増大する傾向にある。稼働地域別ではメキシコ湾が全体の43%を占めて最も多く、次いでヨーロッパ15%、アフリカ9%の順になっている。

表-2 世界の掘削装置数

稼働地域	固定式		移動式				合計
	テンダー型	自載式	着底式	脚昇降式	ボーリング船	半潜水式	
メキシコ湾	34	53	33	35	8	4	167
アラスカ	2	18	1	1	1	—	23
太平洋岸	—	—	—	1	11	2	14
上記以外の西半球	3	7	—	11	1	3	25
ヨーロッパ	1	8	—	17	4	7	37
中東	7	2	—	12	3	—	24
アフリカ	3	—	1	10	6	2	22
オーストラリア	—	—	—	1	4	2	7
極東	—	1	—	1	4	2	8
合計	89	50	35	89	42	22	
	139		188				

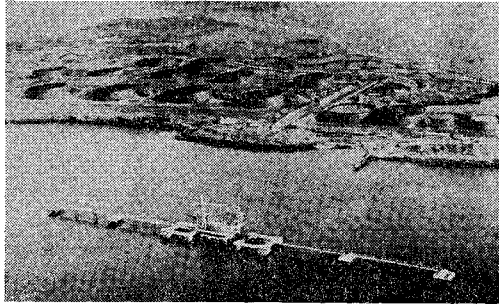
* 棧橋付きプラットフォームは自載式に含まれる。

4. 海底鉱物資源掘削装置以外の構造物

(1) シーバース^{13)~18)}

輸送コストを低減させる目的で始まった船舶の大型化

写真-7 Whiddy 島に建設されたシーバース¹³⁾



は特にタンカーの場合顕著で、昭和 30 年に 2 万 t (DWT) が最大級であったものが、昭和 43 年には 20~30 万 t と飛躍的に増大している。20 万 t タンカーが安全に航行荷役できるには約 20 m の水深が必要となり、接岸荷役をするには経済性、安全性の面から好ましくない。そこで、沖合にシーバースを設けそこから海底パイプラインで陸上に輸送する方法が取られることが多い。

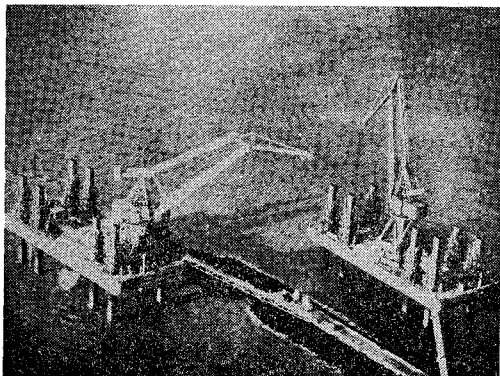
シーバースについては各種の形式があるが、大きく分けて棧橋ドルフィン方式と一点または多点けい留によるブイ方式とがある。写真-7 は Gulf Oil がエール共和国 Whiddy 島に建設した貯油施設 (100 万 t)¹²⁾ のための棧橋ドルフィン方式によるシーバースで、陸上より 370 m の沖合に築かれ、30 万 t 級のタンカーの接岸が可能である。

(2) 海上作業台¹⁹⁾

海底資源、特に石油、天然ガスの開発という目的に沿って発展してきた石油掘削装置が他の分野の海洋構造物にもたらせた利益は大きい。たとえば、港湾の新設ないしは改築、沈埋トンネルの敷設、さらにはより大規模な海洋土木工事用の足場として使われ始めた海上作業台は主として石油掘削装置の発展によりもたらされたものである。

オランダ Ijmuiden 港の防波堤延長工事²⁰⁾では、トラ

写真-8 Ijmuiden 港防波堤延長工事に使われた脚昇降式作業台¹⁹⁾



ックまたはバージで運搬してきた資材を定位置にすえ付ける際に防波堤内外に脚昇降式作業台、デッキは (70×25 m) をそれぞれ 1 基ずつ配置し、防波堤延長に伴って両者が交互に移動する方法をとった (写真-8)。

アルゼンチンの Rio Paraná 河を横断して Paraná と Santa-Fé を結ぶ沈埋トンネル (長さ 2.5 km, 水深 30 m) の施工用に使われた脚昇降式作業台は、全長 38.6 m, 幅 30 m, 高さ 3 m のプラット フォームに全長 64 m の脚 4 本を備え、海面上 19 m の高さにデッキを固定して作業を行なうものである。

英仏海峡沈埋トンネル横断案に対して提案された作業台²¹⁾は、先行プラット フォームが基礎掘削を、後行プラット フォームが沈埋管の敷設および埋戻しを行なう仕組みである。

[その他の例]

デロング海上作業台：京葉シーバース建設工事に使われたのを始め、広く海上土木工事に使用される。

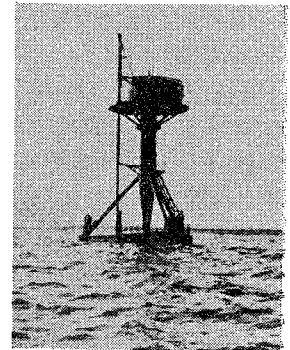
(3) 海中塔類

塔類も種々の目的に応じて建設されるが、ここでは気象および海象観測のための波浪観測塔とレジャー施設としての水中展望塔について述べる。

1) 波浪観測塔

写真-9 は科学技術庁防災センターが、昭和 40 年神奈川 県平塚沖の相模灘、水深 20 m の地点にすえ付けた波浪観測塔で、全高 43 m (うち海面下約 23 m)、観測室は直径 7.4 m, 床面積 40 m², 海面上 17 m に位置しており、設計波高 15.1 m (理論的限界波高) という外海に面した大規模な海象、気象観測塔である。

写真 9 相模沖波浪観測塔



[その他の例]

海洋観測塔：気象研究所、伊東沖に設置

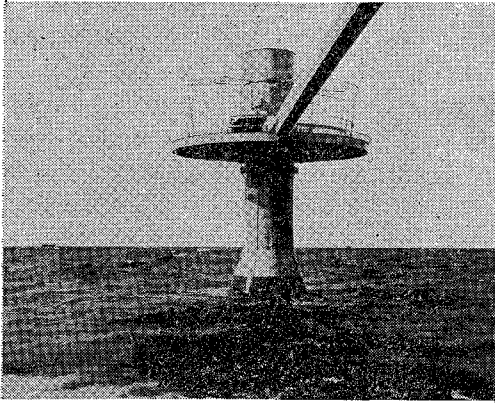
京葉波浪観測塔：千葉県船橋沖水深 6.7 m に設置

2) 海中展望塔

海中はわれわれにとって直接見えない未知の世界であり、最近のレジャーブームとも相まってこれを直接見たいという要求が強く、自然そのものの海中を見せる海中展望塔が開発された。写真-10 は和歌山県白浜沖合 100 m の海中に設置された水中展望塔で、高さ 16.8 m, うち H.W.L 上約 11 m, 海中展望窓は L.W.L 下約 2 m にある。

設計波高は沖波で 8 m, 陸上のホテルとの間にモノレールが運航されている。

写真-10 白浜沖に設置された海中展望塔



(4) 航行, 防衛施設

1) 灯 標^{22)~24)} 固定式灯標は灯船に比し建設コストが安く, 保守が簡単でしかも全天候型であるため従来の有人灯船にとって代わる傾向が強く, アメリカでは1965年以來すでに5基が完成, 6基が建造中である。アメリカの固定式灯標は一般に4本脚の固定式で, 陸上で製作後曳航され, 陸上から10~30 mile 離れた水深40~80 ft の地点に着底後デッキが波の到達しない高さまで持ち上げられる。

[わが国の例]

東京灯標²⁵⁾: 東京港入口水深14.8 m の海域に固定千葉灯標

2) 防衛施設 1954年以來米空軍によって図-3に示すアメリカ東岸大西洋の5か所に“Texas Tower”と呼ばれるレーダー施設が海軍の援助のもとに建設された²⁶⁾。写真-11は地点2に建設されたレーダープラットフォームで, デッキは一辺52 m の正三角形をなし, 水面上約20 m の高さにある。建設されたNo. 1~No. 5

写真-11 レーダープラットフォーム (Texas Tower)⁴⁾

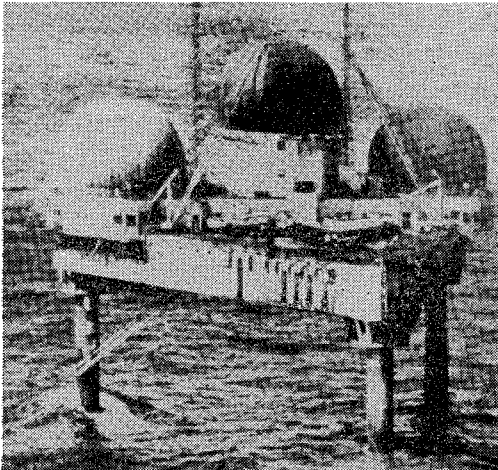
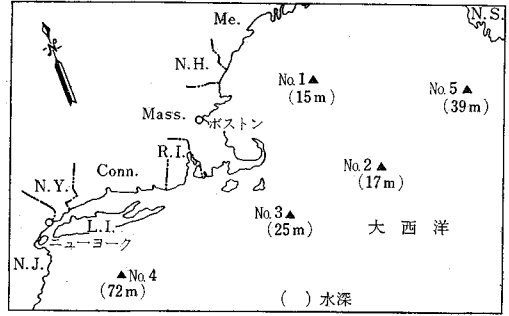


図-3 Texas Tower 設置地点

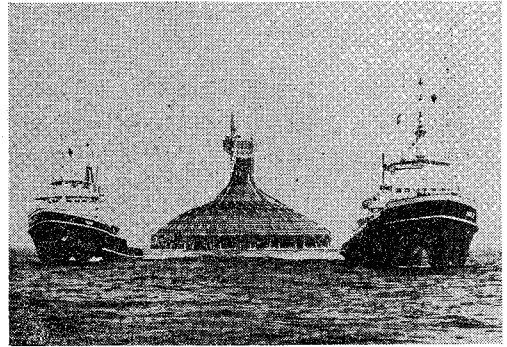


のタワーのうち, 砂上に建設されたNo. 4は倒壊, No. 5は建設途中台風により破壊した。

(5) 海中貯油施設

1) 海中貯油施設 海中貯油施設は, 陸上の施設と比べて石油バースおよびパイプラインが不用となり, 防災の見地からも好ましく, またどんな巨船も直接荷役ができるメリットをもっている。写真-12はペルシャ沖65 mile の海域に設置された貯油タンクで^{27), 28)}, 原油貯蔵能力8万7000 t, 貯蔵部の外径82.3 m, 全高62.5 mで, 風速45 m/sec, 波高12 m に耐えるよう設計されている。

写真-12 曳航中のペルシャ沖貯油タンク²⁸⁾



2) 特殊産油, 貯油施設

水深100 m以深での産油, 貯油両施設を兼備した構造物が開発された²⁹⁾。図-4はフランスで考案され, 1968年ビスケー湾での実地テストに良好な結果を収めたエルフォーシャン³⁰⁾で, 高さ126 m, 直径7 m の円柱状をなす。この構造物の特徴はこれに作用する波力をできるだけ小さくさ

図-4 特殊産油, 貯油施設
エルフォーシャン

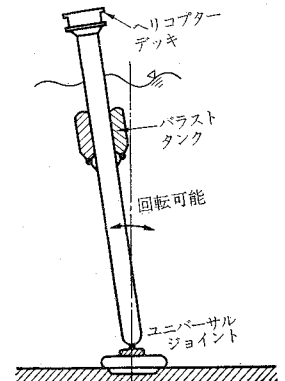
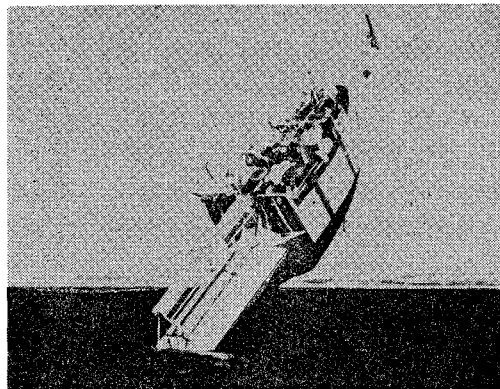


写真-13 海洋観測船 FLIP (直立姿勢をとりつつある)



せるため、ユニバーサルジョイントで海底に固定し、波の作用によりあたかも海草のように振動できる点にある。このプラットフォームはビスケー湾に生じる最大級の波 $H_{max}=21\text{ m}$, $T_{max}=16\text{ sec}$ に耐えうるよう設計され、4 m の波の作用のもとでも 3 m 以上には変位しないとのことである。

(6) 海洋観測船

海洋開発を推し進める上で海洋を詳しく知ることが特に必要である。海洋観測船は海洋での長期的な調査、観測を行なう目的で建造されるもので、普通の海洋調査船と異なり推進機を持たない。写真-13 はカリフォルニア大学 Scripps 海洋研究所の FLIP [Floating Instrument Platform]³¹⁾ で、普通の船舶のように曳航時には水平の状態を、調査、観測時には写真のような直立、浮遊の姿勢をとる。FLIP は全長 100 m、直立浮遊状態での吃水はおよそ 90 m、乗員 12 名で居室の内部施設はすべて水平、垂直いづれの状態でも使用できるよう配慮されている。

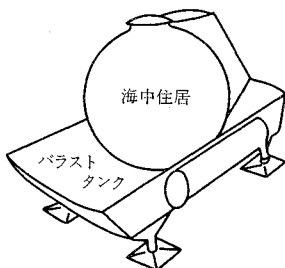
[その他の例]

Bouée Laboratoire : フランスの観測船で地中海で稼働

(7) 海底居住基地

図-5 は、1962 年からフランス人 J.Y. クスター教授を中心に進められているプレコンチナン計画の第 3 回目の海中居住実験に使用された基地である。これは、直径 5.7 m の球体で、円筒形のバラスト付プラットフォーム

図-5 海底居住基地 (プレコンチナンⅢ)



ムに載っている。この実験では 130 m の海底に 6 人が 30 日間の居住に成功した。

一方、アメリカでも海軍によってシーラブ計画が進められており、シーラブⅢで用いられる基地は全長 18 m、直径 3.7 m の円柱にバラストを付けたもので 180 m の海底に設置された。

(8) 沈埋 函

沈埋函は海底、河底を横切る道路および鉄道用トンネルとしてかなり古くから用いられてきた。現在アメリカではサンフランシスコ湾岸高速鉄道 [BART] の一環としてサンフランシスコ湾 (最大水深 30 m) を横断する延長 5.8 km の複線型沈埋トンネル³²⁾を施工中で、これに使われる沈埋函は幅 12.5 m、高さ 7 m、全長 95~105 m という大きなものである。

わが国でも現在鉄道建設公団において、京葉線多摩川沈埋トンネル³³⁾を施工中である。また計画中の東京湾環状道路でも東京港の航路入口の海底を 1000 m 余にわたって横断する計画³⁴⁾がなされている。

5. 問 題 点

海洋構造物はその目的、設置場所により各種のものが建造されているが、なにぶん海洋に関してはわれわれの知識の及ばない現象も多く、こうした構造物の設計、製作、すえ付け時には多くの問題が生ずる。ここでは波力を中心に設計上の問題点について簡単にのべる。

(1) 設計外力について

海洋構造物は一般に陸から離れた外洋に建設されるため、ハリケーン、台風などの影響をまともに受け、強風、激浪にさらされる。また、特に石油掘削装置のようにアラスカ³⁵⁾、北海などの厳しい自然環境に設置されるのも多く、そのため次のような問題が生ずる。

1) 波 力 海洋構造物に作用する波力をいかに見積るかは設計において非常に重要である。海洋構造物の波力の算定法については、合田氏が前項の「海洋開発シンポジウム特集 1」にくわしく説明しているので、ここでは比較的新しい不規則波による波力の研究について簡単に紹介してみよう。

不規則波による波圧の評価については表面波を統計的に記述することにより、波力そのものを確率的に把握しようとする方法³⁶⁾,³⁷⁾と表面波のエネルギースペクトルから波力のエネルギースペクトルを求めようとする方法とに大別できる。

前者の方法について、たとえば Pierson と Holmes は、ある深さでの 20 分間の波圧の記録をとり、それを

一つの確率密度関数で定義し表面波のそれと比較した。

エネルギースペクトルから波力スペクトルを求める方法は Wiegel 等が規則波による実験的な研究を行なったのが最初で³⁸⁾、その後 Wiegel は表面波スペクトルと波力スペクトルが相似な形をしていることを見出した。Borgman³⁹⁾ は、確率理論に基づいて速度および加速度スペクトルが表面波のスペクトルに比例することを導いた。これとは別に、日野⁴⁰⁾ は通信理論の特性関数の方法により波力スペクトルを求めた。また Nath と Harleman⁴¹⁾ は、不規則波による構造物の response を求め、運動を最小ならしめる 4 本脚固定プラットフォームの最適脚間隔を導いた。Plate と Nath⁴²⁾ は風の作用のみによって生ずる実験風波のスペクトルが現地波のそれに類似していることから、海洋構造物の波力を模型実験で検討する方法を提案している。

次に、アンカーでけい留された構造物に作用する波力について、Harleman⁴³⁾ は規則波による模型実験により、振動特性の点から検討を加えている。

2) 潮 流 潮流そのものの影響以上にこれに付随して生ずる問題が大きい。たとえば、潮流の流れが早く、かつ比較的浅い水域では脚下部の周囲の土砂の洗掘を引き起こし、構造物の破壊に至る場合もある。また、アラスカ クック湾のように寒冷地で流れが早いところでは流氷(大きいものは直径数百 m)の衝突による衝撃力が他の外力に比して最も大きく、これの対策が大きな問題となっている。

3) 地震、津波 外洋における地震や津波の性質自体がはっきり把握されていないため、これらによる構造物の挙動についても、ほとんど研究されていない。ただ海洋構造物は一般に縦に長い形状のものが多く、転倒に対しては十分考慮されなければならない。

(2) 固定法

海洋構造物をいかなる方法で固定するかは、その構造物の目的、経済性等種々の条件に左右されるが、その最も大きな制約の一つは水深である。一般に固定法については次のようなものがある。

1) 杭による固定 これは海岸、港湾構造物にもしばしば採用されている方法であるが、水深が 50 m 以上にも達すると杭の打込みが非常に困難となるため使用できない。

2) アンカーによる固定 けい留ブイや半潜式掘削装置に採用している方法である。これは杭とちがってけい留ロープのたわみのため、完全に一点に固定し得ない。けい留の最大の問題はアンカーの支持力で、これは特に海底土質の影響を受けやすい。一般にこの方法による場合 200 m の水深が限度とされている。

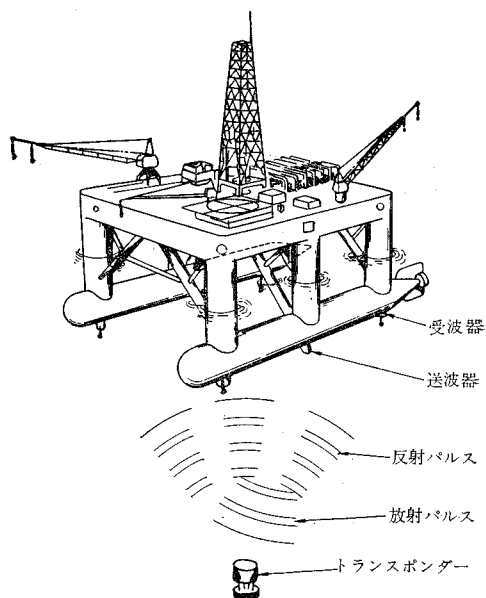
3) スパッド、フーチング等による方法 これは杭とアンカーの中間域で用いられるもので、脚昇降式、着底式掘削装置など例は多い。この方法も海底土の支持圧に影響されやすく、また流れの早い所では洗掘の問題も生じてくる。水深 90 m 以浅で使われる。

4) 自動安定装置による方法 上述の定止法では水深はせいぜい 200 m が限度で、これ以上の水深では自動安定装置を備え付けた定止を行なわねばならない。ここで、二、三の自動定止装置について、紹介してみよう。

1961 年第 1 期モホール計画によるボーリング船に初めて取り付けられた Cuss 1 号は船首、船尾に 4 個のスクリーを取り付け、掘削船が定点からはずれるとスクリーを作動して定点保持を行なうものである。

シェル石油はこの方式を改良して 1962 年船位指示器とスクリーとをコンピューターを通じて連結した完全自動定止方式を開発した。さらに、図-6 に示すようにソナービーコンレーダーにコンピューターをセットした位置自動制御装置が開発されている。こうした自動定止装置の開発は、より深海で海洋構造物の稼働を可能ならしめたが、これらは一般に高価で波高 4 m 以上では作動しにくく今後の発展が期待される。

図-6 モホール計画における自動定止装置



(3) 曳航の問題

海洋構造物の多くは陸上施設で作られ設置地点まで曳航される。ところが表-3 の石油掘削装置の例に示すように事故の多くは移動中(曳航)に生ずる。曳航に際しては時期およびコースについて慎重に検討することが必

表-3 おもな掘削装置の事故 (1949~66年)

装 置	事 故 の 種 類				割 合 (%)
	火 災	曳航・移動	台 風	計	
着 底 式	1	2	2	5	20
脚 昇 降 式	3	10	2	15	60
ボーリング船	1	1	1	3	10
半 潜 水 式	—	1	1	2	10
合 計	5	14	6	25	100

要であり、またその姿勢について次のことに留意すべきである。

1) 抵抗をできるだけ小さくすること

2) 安定性(復原性)を良くすること

石油掘削装置のようにデッキ上に背が高い艀装品がある場合は復原性が悪いため、しばしば上部を切り離して運搬することが多い。

(4) 材質上の問題

現在海洋構造物の大半は鋼材で作られているが、材質的な問題は次のとおりである。

1) 防 食 最も大きな問題は腐食である。これに対しては通常海中部分には陰極防食法が、波面上の部分に対しては被覆ないしは防食塗料による対策が講じられている。このほか腐食に強い材質たとえば耐食性高張力鋼やステンレス、アルミなどが使われる場合もある。

2) 耐 久 性 波の繰返し荷重による疲労破壊や、特に寒冷地での低温による脆性破壊、流水の衝突による衝撃力などに十分な強度を持つ鋼材を使うことが必要である。

3) 溶 接 性 一般に鋼材の溶接により製作されるので溶接しやすい材質を使う。

6. 未来の海洋構造物

第二次大戦後の工業化は技術の進歩のみならず、人口の都市集中化をもたらした。その結果、都市周辺の開発可能地区の狭隘化とともに、地球の2/3の面積を占める広大な海洋のスペースへ人間の眼は注がれ始めた。こうして海洋のスペース利用は海洋開発のブームとも相まってさまざまな構想を生み出したが、現状ではそれらのほとんどは青写真の域を出ていない。この節ではこうした未来の海洋構造物について簡単に紹介してみよう。

(1) 海上都市

海上都市の構想は人口の都市集中による都市周辺の可能開発地の減少および地価高騰により提案されたものである。世界の大都市のほとんどは海に面しているため、この広大な海洋に人工島を構築し、さまざまな施設を有

機的に組み合わせた都市を、建設しようというものである。

イギリスの Pilkington Glass Age 委員会の建設家、工学者たちの共同研究により製作された計画は Haisborough Tail の沖合 24 km、水深 9 m の海上に 3 万人の人口を収容する都市を建設しようとするものである。すなわち、海底に杭を打込んで基礎を作り、その上にバargeで運んだユニットを 6 階の高さまで積み重ねていく方法をとっている。このような海上都市の構想はわが国でも丹下健三氏の東京湾海上都市、菊竹清訓氏の相模湾海上都市構想などとして発表されている。

(2) 海中工場

工場立地は多くの場合原料、製品の輸送、工場用地、工業用水などの制約を受けているが、最近の公害問題などで海洋に工場を立地する要因も除々に増大してきている。こうした意味において海洋立地が適する産業としては、電気、ガス、石油精製などが挙げられる。

アメリカでは海上ばかりでなく、海底コンビナート、海底原子力発電所の建設の構想が発表されているが、特に後者の場合安全性の点からも海洋立地は好ましく、海底原子力プラントの建設は 1970 年代の主要な目的となっている。

(3) 海上空港

航空機の発達にはジャンボジェット機、SST に見られるように大型化、スピード化となって現われ、発着回数の増加にともなって新空港建設の計画も多い。しかし、大都市周辺に騒音公害のない広大なスペースを確保することは難しく、このため海上の広大なスペースを利用して、そこに新しい空港を建設しようとする計画が各地で発表されている。

ロサンジェルス海上空港案⁴⁴⁾は、サンタモニカ湾沖合 16 km、水深 70 m の海域にケーソン式またはフローティング式の人工島を作り、3600 m 級の滑走路 4 本を平行にとった SST 専用の国際空港を建設しようというものである。

シカゴ⁴⁵⁾ではミシガン湖を堤防で囲み、内部をポンプ排水して空港を建設し都市との間はトンネルで結ぶことを計画している。

こうした SST 発着可能な巨大な空港案とは別に、都市交通の観点から、都心付近の河または海上に V/STOL (垂直/単距離発着機) 専用の円盤上の飛行場(直径 300 m) 建設計画案⁴⁶⁾もある。

(4) 海洋レジャー施設

1962 年シアトルで開かれた世界国立公園会議で海中

公園設定についての勧告がなされて以来、海中公園に関する関心が急速に高まってきた。すでにアメリカ、オーストラリアで計10か所の海中公園が設定されており、わが国でも数か所が予定されている。既述のごとく白浜沖に海中展望塔が設置されたように、海洋レジャーセンターを中心とした海洋の観光資源の開発は、当面最も急ピッチで進むことが予想され、これに伴って大規模な海洋レジャー施設が作られる可能性は大きいといえよう。

なお、この解説記事を取りまとめるに際しては、港湾技術研究所、伊藤防波堤研究室長から有益なご教示をいただいたことを付記しておく。

参 考 文 献

- 1) 土木と海洋工学, 土木学会誌特集, Vol. 54, 7, 1969
- 2) 佐々木忠義監修: 海洋開発
- 3) 特集“海洋開発”, 建設の機械化, 1969.3
- 4) Quinn: Design and Construction of Ports and Marine Structure, McGraw-Hill
- 5) Brahtz, J.F.: Ocean Engineering, WILEY
- 6) Moderne Bohrinsel, Hansa, Vol. 104, No. 12, 1967.6
- 7) J.S.S.C, Vol. 5, No. 37, 日本鋼構造協会
- 8) 日高孝次, 他共著: 海洋開発の基礎, ラティス刊
- 9) Cloyd, M.P.: Monopod, Civil Engineering, ASCE, No. 3, 1968. 3
- 10) Oil, I.H.C Holland Equipment Division
- 11) 移動式掘削バージ白電号, 石川島播磨技研
- 12) Gulf Oil puts theory into practice, The Dock & Harbour Auth. No. 582, April, 1969
- 13) Poppy, D.P.: Offshore tanker terminal in Greece, Civil Engineering, ASCE, March, 1966
- 14) Kuwait terminal now in full operation, Dock & Harbour Auth., No. 582, April, 1969
- 15) Seine bay terminal for large oil tanker, Ports and Harbours, Vol. 13, No. 2, Feb., 1968 (文献抄録, 土木学会誌 Vol. 53, No. 7)
- 16) 大矢輝雄: 京葉シーバース建設工事, 第14回全国港湾工事報告会
- 17) 石井資造: 昭和四日市石油における海底配管と一点けい留ブイ, 第11回全国港湾工事報告会
- 18) 岡本善男: シーバース建設工事, 16) に同じ
- 19) Suter and Holtz: Neue Erfahrungen bei der Verwendung von Hubinseln im Wasserbau, Die Wasserwirtschaft, 57 (1), 1967
- 20) Kerkharaff: Execution of piers at Ijmuiden harbour, Work execution by self-elevating pontoons, Dock & Harbour Auth., No. 531, Jan., 1965
- 21) Bickel, J.O.: An English Channel crossing, Civil Engineering, 1964. 7
- 22) Ruffin, J.V.: Steel offshore towers replace lightships, Civil Eng., ASCE, 35, Nov. 72
- 23) Fowler, J.W.: Construction of the Chesapeake light station, Civil Eng., ASCE, 35, Nov. 76
- 24) A light house for Milford Haven, Dock & Harbour Auth., No. 562, Aug. 1967
- 25) 長崎作治: 東京灯標工事, 16) に同じ
- 26) Civil Engineering News Recors, Oct. 25, 1956
- 27) Middle East under water oil storage tank; Dock & Harbour Auth., July 1968 (文献抄録, 土木学会誌, Vol. 54, No. 1)
- 28) Giant oil tank submerged in Arabian Gulf, Dock & Harbour Auth., No. 587, Sept. 1969
- 29) Ocean Industry, April, 1962, (海洋機器開発, No. 9)
- 30) World Oil, Dec. 1968, (海洋機器開発, No. 8)
- 31) Fisher and Spiess: FLIP-Floating instrument platform, J. Acoust. Soc., Am. 35, 1963
- 32) The BART trans bay tube, Civil Eng., ASCE, Decem. 1966
- 33) 田中, 平岡, 大平: 多摩川沈埋トンネル工事, 土木学会誌, Vol. 54, No. 11
- 34) 今井 勇: 東京湾の開発計画, 土木建設, Vol. 18, 1969.4
- 35) Gaither and Dalton: All whether tanker terminal for Cook Inlet. Alaska, J. Waterways and Harbours Div., Proc. ASCE, May 1969
- 36) Pierson and Holmes: Irregular wave forces on a pile, J. Waterways and Harbours Div., Proc. ASCE, Vol. 91, Nov. 1965
- 37) Borgman, L.E.: Probability distribution of wave force, J. Waterways and Harbours Div., Proc. ASCE, Vol. 93, May 1967
- 38) Wiegel, R.L., K.E. Beeve and J. Moon: Ocean wave forces on circular cylindrical piles, J. Hyd. Div. Proc. A.S.C.E., Vol. 124, 1959
- 39) Borgman, L.E.: Spectral analysis of ocean wave forces on piling, J. Waterways and Harbours Div., Proc. ASCE, Vol. 93, May 1967
- 40) 日野幹雄: バイルに働く波力のスペクトルの理論一流れと波の共存する場合, 第15回海岸工学講演集, (1968)
- 41) Nath and Harleman: Dynamics of fixed towers in deep water random waves, J. Waterways and Harbours Div., Proc. ASCE, Vol. 95, Nov. 1969
- 42) Plate and Nath: Modeling of Structures subjected to wind waves, J. Waterways and Harbours Div., Proc. ASCE, Vol. 95, Nov. 1969 (文献抄録, 土木学会誌, Vol. 55, 5)
- 43) Harleman and Shapiro: Investigation on the dynamics of moored structures in waves, M.I.T. Hydrodynamics Laboratory, Tech. Report, No. 28, 1958
- 44) Offshore airport, Civil Engineering, ASCE, July 1967
- 45) Pirasky and Correy: An airport in Lake Michigan for Chicago? Civil Eng. ASCE, Vol. 38, No. 9, Sept. 1968, (文献抄録, 土木学会誌, Vol. 54, No. 2)
- 46) Nawy, G.E: Floating V/STOL airport proposed for rapid urban mass air transportation, Civil Eng. ASCE, July 1967

[その他]

- 1) 港湾技術要報, No. 61, 1969-3, (6), (9), (27) の訳あり
- 2) 石黒 健: 海洋開発に関する資料, 専門技術者研修用テキスト
- 3) 海洋開発時代, 毎日グラフ増刊, 6月20日, 1969年 [月刊誌]
- 4) オーシャンエイジ, オーシャンエイジ社発行
- 5) 海洋機器開発, 財団法人日本舶用機器開発協会 (担当委員 谷本勝利・木原 力: 正会員 運輸省港湾技術研究所防波堤研究室)