

海 の 建 設 工 事

文献調査委員会

1. はじめに

もし海の建設工事について一般的定義をするとすれば、これにふくまれてくるものについてその工事目的からつぎの2種類のものが考えられてくる。一つは海洋学分野に近いもので、海洋に無限に存在する豊富な資源のうち、特に比較的浅い大陸棚における海洋鉱物資源の開発を目的とするもので、海底炭田、油田を初めとして広く海底鉱物資源が対象となり、これにともなう海の建設工事は開発基地および開発手段としての人工島、海上プラットフォーム、海底坑道がこれに当る。近年特に海洋に関する新しい測定機、観測器具および潜水具などの出現により、これまで不可能とされてきた調査地点を可能とし、同時に各国で競って資源開発を目的としての海洋開発が進められている現状である。他方は主に海上交通を目的とするもので、これには多種類の建設工事がふくまれてくる。防波堤、けい船岸、ドック、埠頭、灯台などの港湾施設に関するものと、橋梁、海底トンネルなどの輸送施設がこれに当る。これ以外に広く海岸堤防などの海岸保全施設、発電所などの冷却水引込施設、しゅんせつおよび埋立もこの範囲に入るものである。

いずれにしても対象は海であり大川であることから、その工事におけるさまざまな特色は陸上工事とは違った面をもっている。

海の工事は、夏での海しか知らない人々には想像もできない自然の挑戦が待ち受けている。風および波、暴風はまさに悲劇的である。天候条件に左右されやすい海の工事のこの極端な弱点は、陸上工事との比較で最も重要な違いである。風波とともに潮汐と潮流も工事の工程を支配し、十分タイミングを合せて工程計画を立てることが要求されてくる。海の建設工事について特につぎの3点が強調されることになる。(1) 設計およびそれにもなう施工がともに簡単であり複雑化することを避けること。(2) 準備調査が十分でない場所は避けること。逆に十分準備調査をすること。(3) 設計と施工計画はおのおの独立に検討し、場合によっては施工上の条件から逆に設計自体を再検討すること。

海の建設工事のその一般的特性としての制約条件について、その多くは今日まで多くの先人によって解決の道

が与えられてきている。今後も引続いて残されている問題点の解決に努めて、新しい知識、技術をもって徐々に自然の挑戦に対してのわれわれの分を良くしていくことが最も重要な課題である。この小文は新しい技術をもって自然に挑戦した最近の海外の海の工事を紹介するとともに、できるだけその工事の調査、構造、施工を通じての新傾向をお知らせすることを目的としている。

2. 調 査

広く河川をふくめて海に関する建設工事は、その土質条件、海象条件の調査が先行される。調査結果からの情報から最も効果的、経済的な構造物の設計がなされるからである。予備調査もふくめてこれらの調査を実施することを海の調査作業という言葉で表わしている。海の調査作業の特色は多くの事項が指摘できるが、その最大の特色は陸上の調査に比較してコストが高い点である。他の事項として、当面の工事そのものに基因するもので、水深、海の状態および陸からの距離などが加えられてくる。調査方式を選択する際に当面工事の特性が複雑であるかどうか調査作業の規模を決定する要因となるのである。

海の調査作業方式について最近いくつかの興味ある有益な発表がなされてきており、これには穿孔方式の改善、ボーリングタワーの設計、測位方式、音波海底探査方式および水路測量方式までおよんでいる。これらの発展は海の調査作業のコストを低減させるとともに従来不可能であった地域の調査を進める上で不可欠なものである。

(1) 測 位 儀

a) Decca Hi-Fix 装置 1960年に Decca Hi-Fix 装置が使用されて以来急速な進歩がこの分野でなされてきている。この装置は、海上における位置測位装置で船舶に使用されている Decca 系列の装置を原理的に利用したもので、3箇所の交信局から構成され、うち1箇所が主局で他の2箇所が従属局で、従属局から円形の電波網が発信され、作業船上の受信でその位置が測定できる装置である。装置の交信可能範囲は100 m から160 km におよび、精度は非常に高く、陸地から数 km 離れている沖で数 m の誤差で測位可能であり、加えて小型で軽

量で総重量は約 270~320 kg である。出力は 24 V の蓄電池を用いる(図-1)。

この装置の広いサービスエリアと高い精度は、広い海域を対象とする調査に理想的なものであり、特に 1 日の調査範囲が 50 km にもおよぶ音波海底探査に理想的装置である。

b) 測距儀 (Hydrodist)

Tellurometer を海の調査に利用可能に改善したもので、その特色は距離の読み取りが即時にできることにある。性能は 100~40 000 m の距離について 0.5~1.0 m の誤差範囲で求めることができる。システムは作業船に主局をおき、陸地に知れた距離の両端に従属局を構成し三局で三角形を形成し船の測距を行なうのである。

Hydrodist の応用は海底探査、ボーリング、大規模しゅんせつにあり、わが国の大型しゅんせつ船に装置されている例もある。

(2) 穿孔方式

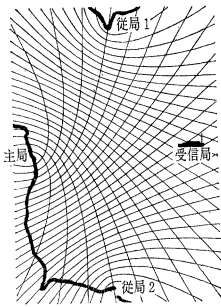
a) 海中設置式ドリル 作業船を用いてロータリーコア採取を行なう場合、船の上下振動で作業の制約を受ける。場合によってはこれにともなう時間的損失は無視できないものとなってくる。これに対する解決手段としてつぎの装置がイギリスで開発されている。現在のところ約 6 m の穿孔が可能であり、今後の開発を待てばより深度の穿孔がこの装置で可能であると報告されている。

装置の特色は、ドリル本体を海底地盤上に設置し船上から遠隔操作して穿孔するもので、悪天候時に最適効果を発揮する。穿孔開始に先きだって装置を所定の位置に潜水夫の手で設置する。総重量 3 t で最大径 14 cm のコアが採取でき、利用地点は岩盤および岩盤上に薄い堆積層があっても使用できる。従来この種のコア採取作業は、作業船のけい留固定が十分でない点に困難さがあったが、この装置を用いれば完全に船をけい留する必要はなくなる。

(3) ボーリング タワー

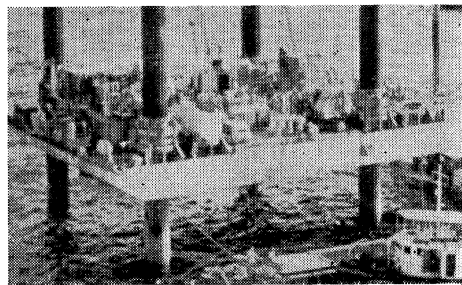
海上ボーリング計画では、タワーの形式として、水深および陸地からの距離で、海中に足場組をする方式、クレーン船で移動可能な海底立脚式タワーか、または、水深が深い場合に船かタワーを選択する。以下に紹介するのは今後のボーリングタワーの傾向を示していると考えられるものである。

図-1 Hi-Fix システム



a) 昇降式プラットフォーム ホーム 昇降式プラットフォームとして今日までに試作されてきているものは、長さ約 30 m、幅 20 m、深さ 3 m 程度の規模で、鋼製の径 1.8 m の脚が取付けられている。プラットフォームの固定方式は、脚をジャッキダウンし、台場を波浪の影響を受けない高さまで上昇させることから脚を一層海底土中に貫入させ完全に固定させる方式である。昇降式プラットフォームは十分に海底に固定できることから、ボーリングその他の作業は様々の自然条件から解放されて行なうことができ、地点の移動に際しては作業船同様にこれらの条件に左右されるが、しかし急速に移動ができることでカバーしている。デッキは作業員が居住するに十分なスペースが取れ、短期間の生活は可能となっている(図-2)。

図-2 昇降式プラットフォーム ホーム (規模は 20×30×3 m)



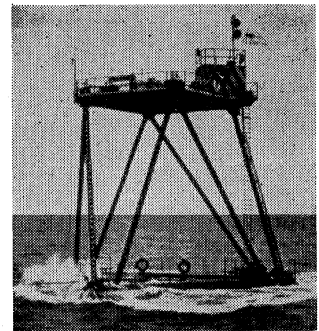
(4) 深い水深でのボーリング

海上ボーリングのコストは、ボーリング孔の位置の水深増加にしたがって増加する。水深が増加することにより、作業船の型が大型化することによるのである。この場合普通は作業規模に合わせて船を改造するか、新たに船を新造することになる。いずれにしても深い水深でのボーリングは強力な作業船が必要となってくることから、多額の費用を要する。

この問題に対して作業船に換るものとして浮上プラットフォーム ホームが開発されてきており、船に比較しかなり経済的であることが確認されてきている。

a) 海洋浮上プラットフォーム ホーム 海洋浮上プラットフォームの出現は、将来深い海での調査作業に作業船に換わるものとして期待されている。試作段階での浮上プラットフォーム ホームの規模は約 8 m 四方、長さ 12 m の 6 本の脚でデッキを支持し、脚は円筒形の浮体に立脚している。曳行時は、浮体に空気を送り込んで浮上

図-3 海洋浮上プラットフォーム ホーム (タイタン)



させ所定の位置まで引いてきて浮力を減少させ、そのときの全重量、海象気象条件に合せて降下深度を決定する。

浮上プラットフォームの設計目的は、広く海洋開発での使用であるが、1963年イギリスでこの種の装置を用いて、コア採取試験が行なわれ、その結果天候状況風力6、波高1mのもとで、2日間で25mの穿孔に成功し作業時の時間的損失も皆無であった。今後開発が進めば有効分野はますます広がることが予想される(図-3)。

(5) 海底地質探査

海底地質探査方式として弾性波によるものと超音波によるものの2つがある。最近の発展をみると超音波を海底面に波及させて、その反射波を連続的に記録して海底下の地質構造を一目でわかる装置が開発され、アメリカ、カナダ、イギリスなどで相当に用いられている。イギリス海峡トンネル、サンフランシスコ湾横断トンネル調査に使用され、わが国で最近使用された例として新潟地震海底断層調査、青函トンネル、および本州四国架橋調査などがある。装置名として Sparker, Hydrosonde, Subsuex, Sonopobe, がある。

a) 放電式音波探査装置 装置を簡単に説明すると、音波発生機構として高出力の水中電気放電を航行している船にケーブルで曳行されている電極装置で行ない、同様に船に曳行されている水中受波器で海底地層からの反射音をとらえこの受波する音を適当な周波数で選ぶと、海底下の形状が写真のように描き出される装置である。音波発生源として酸素とプロパンガスの混合物を用いると、電気放電方式より深い地層まで探査できるが、欠点として解像力が悪くなる。

音波探査は深度60~150mの海底地層を探査でき、ガス爆発方式では2400~3000mまでの探査が可能である。1959年イギリス海峡海底地質調査にこの装置が使用され、そのときケーブルの長さ60m、15秒間隔で船の位置が Decca で確認され、調査中の船の速度5~7ノット、1日当たり80km以上の総探査距離を得ている(図-4)。

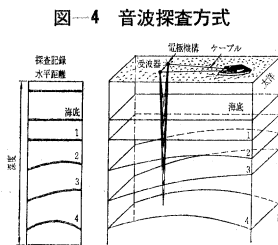


図-4 音波探査方式

3. 構造・工法

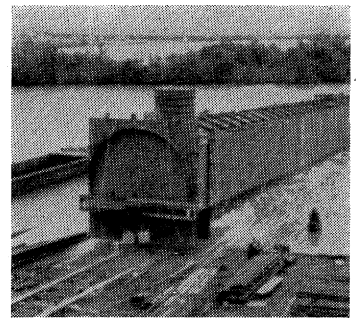
(1) 海底トンネル工法

1962年エリザベスとポーツマスの間を結ぶ第2エリザベス河トンネルが完成した。この河底トンネルの長さ

は860mで、トンネル工法としてプレキャストチューブ沈埋工法を用いている。同様の工法をチェサピーク湾海底トンネル、第1エリザベストンネル、ハウプトンロード、トンネルおよびポーツマスとアラメダを結ぶサンフランシスコ湾内トンネルに用いられており、その他現在この工法を検討中の工事計画としてイギリス海峡トンネル、サンフランシスコ湾横断トンネルがある。以下はチューブ工法について組立から設置までを簡単に紹介したものである。

a) プレキャストチューブの組立 プレキャストチューブは、直径9~10m、長さ60~90mの外側鋼かく体で、内側は厚さ約60cmの鉄筋コンクリートをリング状に打ち込んでできている。この鉄筋コンクリートのリングは、トンネルに加わる荷重を受けるとともに、チューブを海底に沈下させるときその重錘の役目をする。鋼かく体の組立は、斜路台またはドライドックを使用し、完成時の重量が約500t前後であることから小規模なもので十分である(図-5)。

図-5 チェサピークの海底トンネルチューブが(長さ90m)船台から離れるところ



b) チューブの据付けと溝しゅんせつ プレキャストチューブの据付溝のしゅんせつは水深の深い場合をのぞいて従来の方式で行なうのであるが、深いときは特別のしゅんせつ方式が必要になってくる。しゅんせつ速度は残部0.5~1.0mまではチューブ組立の進行に合せて行ない、チューブのセクションが完成し設置現場に曳行されてきたときに残りの仕上げしゅんせつを行なうようにする。これは先きにしゅんせつした溝が陥没したり埋没したりすることを避けることにあるのである。

c) チューブの曳行、内側コンクリートの打込み 曳行時までけい留されていたチューブは、吃水が2.5~3.0mと比較的浅く、2隻の引船でコンクリート打込場所まで曳行される。コンクリート打込みが終了するとハッチはすべて溶接で密閉され沈設現場に曳行される。

d) チューブの沈埋と連結 チューブセクション到着前にしゅんせつ溝の整備が行なわれ、溝は予定勾配に均される。予定場所におろされたチューブは隣接チューブとターンバックルおよびピンで結ばれる。ついで裏込作業が開始され、第1段階として両側に沿ってチューブの水平軸まで砂盛土を行ない、砂盛が終ると、普通の裏込が水平軸から頂上までチューブセクションの中央約3

分の1に渡って行なわれる。さらにセクション間の継目がコンクリート打ちされでき上ったチューブ上およびその周辺に裏込めがなされる。

e) チューブ作業の完了 おおののチューブ セクションの外側継目コンクリート留、裏込めの打込み、締固めなどチューブの外側の作業を終了した後で内部の作業を行なう。セクションとセクションの間の隔壁の間から水をポンプでかい出し隔壁を除去し、内部の閉鎖壁を溶接し密閉しさらにモルタルを注入し作業は完了する。

(2) 防波構造

船型の大形化にともなう油類、鉱石類の積出搬入施設の傾向は、陸から遠く離れた海中ターミナルの出現、港湾の船混に基因する沖での荷役の増加にともなう、港域内の静穏度の確保等々防波工法の発展はさまざまな必要性を有している。

これら防波構造として従来からの剛性構造に加えて、非剛性防波形態および新形式の剛性構造が検討されている。伝統的剛性構造以外の他の手段で強力な波力に対抗する考え方は、決して新しいものでなくその一例としての空気防波壁については60年も前に提案され、それ以後今日まで実に50に達する論文が発表されてきており、その防波形態を分類すると、空気式、水流式、および浮上物式の3形態になる。ボーリング、しゅんせつおよび建設中の海中構造物の防護のためにこの種の防波形態の必要性は十分認められる。

a) 水中しゃへい波カーテン プラスチック製のフロートで支えられ塩水に対して高度の抵抗性を有するプラスチック製の透過性カーテンを、フロートを頂点として三角形に張ってアンカーしたものである。現在フランスで本格的実験がなされているが、アメリカの水理実験結果として、波高2m、波長100mの波を波高数cmに減衰させることが可能であるということが報告されている。この装置の使用は短期間での効果を目的として、人工港の建設、人工島、石油採取基地などに一時的防波形態として利用できる。

b) 空気泡防波壁 構造物に近接する水中発破は水中に衝撃波を発生し、構造物に被害を与えることが予測され、これを空気泡防波壁を布設することで防護することが可能である。以下に述べる例は、アメリカ Ontario 水力発電所の建設工事の際に使用されたものである。

発電所の主導水路に近接して支水路が掘削され、その主導水路と支水路の接続部の最終掘削残部をダイナマイトで爆発する際生じる主導水路内の衝撃波は、60m下流の発電施設に重大な損傷を与えることが予測されたので、これに対して空気泡防波形態を用いて成功している。

実際に使用された装置は泡発生パイプとして径9cm

のアルミ製のものを3本ならべて、おのおののパイプには3cm間隔で両側に1.5mm径の孔があげられている。

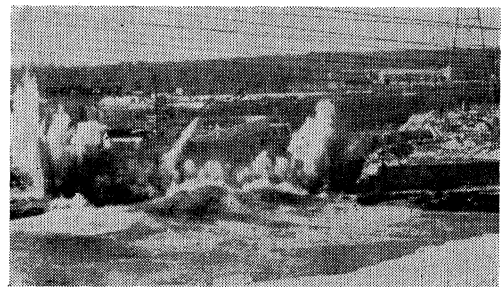
数回の小規模な火薬を用いての現場実験の後、1954年の3月8000m³の残存岩部が5000kg²の火薬で発破され、付近の観測では衝撃力は15lb/sq・inであり、これは空気泡緩衝装置を用いないで45kgの火薬を発破させたとき同じ場所で55lb/sq・inの圧力が記録されていることからみて、完全な成功であったといえる。なお Ontario 水力実験所は模型実験でつぎの式を導いている(図-6)。

$$\log_{10}(P_A/P_0) = kQ$$

ただし、 P_A : 空気泡緩衝装置を用いたときの衝撃力 (lb/sq・in)、 P_0 : 空気泡緩衝装置を用いないときの衝撃力 (lb/sq・in)、 Q : 空気量 (cu・ft/sec)、 k : 定数 (≈ -4)

図-6 発破の瞬間

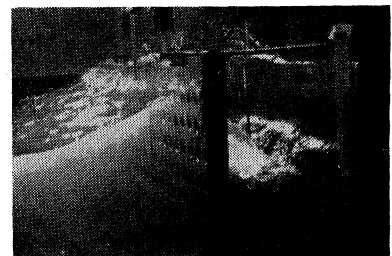
(右下の白い部分は砕水、中頃に白い空気泡がみえる)



e) 有孔壁ケーソン防波堤 港湾または海岸で見られる波は、大部分浅海波の重複波である。浅海波がその波高の2倍以上の水深の場所で鉛直壁に当たった場合、そのエネルギーの全部を反射し波高、波長および周期がまったく等しい後退波を生じ、これが進行波と重なって、もとの進行波と周期および波長が等しい波高が1.9倍の重複波を生じる。

最近カナダのセントローレンス川下流のコモー湾に、延長300mの有孔垂直壁をもつケーソン防波堤が建設された。この防波堤の特徴は、垂直壁の内側と外側の水の振動に位相差を生じさせ、重複波を減衰させ、共振を起こさないようにしてある。波高5.2mの重複波の実物実験

図-7 有孔壁の水理模型実験



では2.7mにまで減衰させることができたと報告されている(図-7)。

従来のケーソン防波堤に比較して大幅に越波を防ぐこ

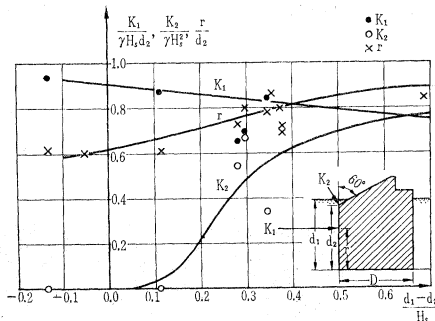
とができるので、港内側は岸壁としても使用できるように設計、施工されている。この防波構造についての水理実験は 1961 年オタワの国立水理実験所で行なわれている。

d) 新しいセル型防波堤 北極海に面するデンマークの Hanstholm で現在新しい港の建設が行なわれている。この港の防波堤構造が従来からの外海における防波堤構造としての函形ケーソン堤とかなり異なるものであるので紹介する。

Hanstholm の防波堤の条件は、 -13.0m 地点に強固な岩盤が存在すること、その潮位差が、約 0.3m で一年間をつうじて強力な波浪が絶えず発生することにある。1960 年に風造波模型水槽を有するオランダの水理実験所でさまざまな型の防波構造が研究され、その結果、円形で海側の平均海面以上の上部隅角部をカットした防波構造が提案され、これを“Chamfered Cylindrical Caisson Breakwater”と名付けた。この防波構造の特色は波圧をセルの円周応力として受けることと、海側の平均水囲以上について水平軸に対して 30° の勾配を付けることにより、堤体の安定を増加させることにある。

水理実験で得られた波圧外力 K_1 , K_2 および水深 d_1 , d_2 , 波高 H の関係を参考に上げておく(図-8)。グラフは Hanstholm について特別に作成されたものであるが、条件があまり変わらない場所では十分使用できる。Hanstholm での防波堤の設計波高としては 7.8m と決定され、この値は 200 年に 1 回起こる確率の波となっている。セルの径は 12.5m , 肉厚 30cm , 勾配 30° を使用している。工費についての比較はテトラポッド堤が約 2 倍、捨石堤が 1.2 倍と積算されている。

図-8 波圧と防波堤断面の関係



(3) 基礎構造

海中基礎構造について工学分野で分けて、港湾工学のけい船岸、防波堤基礎と、橋架工学における橋台、橋脚、基礎に関するものがある。両者は違った面もあるが共通する面も少なくない。全体的にみて諸外国における海中基礎構造は、わが国に比較して多種多様な展開はな

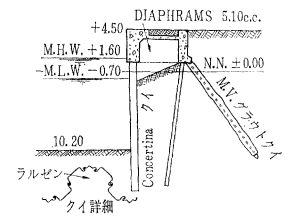
く特殊な個々の技術面ではわが国の方が先行している感がある。

a) けい船岸基礎 この分野での現在の最大の課題は、船型の大型化にともなう水深の深いけい船岸をいかにして適正なコストで建設するかということであり、それともない現在の古い使用構造に新しい改善が要求されてきている。

イギリスおよびアメリカのけい船岸構造の主流はプレキャスト コンクリートくいでであり、これに対して西ドイツを中心とする鋼矢板ぐい、鋼管ぐい併用構造が存在し、今後の傾向として、後者の構造が発展して行く、傾勢にある。

鋼矢板ぐい、鋼管ぐい併用構造の歴史的過程をみると、1925 年頃までは木矢板、木ぐいを用いており、それ以後鋼矢板、鋼管ぐい併用および鉄筋コンクリート上部工の組合せの設計がなされ総高 15m もの岸壁が建設され、近年はこの方向で構成材料のさまざまな発展を展開してきている(図-9)。

図-9 1962~63 年に建設された岸壁構造



ごく最近西ドイツの代表的港で作られた岸壁の特色について 2 つ上げることができる。一つは“Concertina”形鋼矢板ぐいの使用である。この矢板の目的は、深い水深の岸壁に対する断面性能の効上を果したもので、この方式で最大断面係数は $6840\text{cm}^2/\text{m}$ (重量 $288\text{kg}/\text{m}^2$) まで可能であり、現在は西ドイツで使用されているが、近い将来イギリスでも使用されるようである。

他は MV アンカーぐいで、引張ぐいを発展させたものであり、ごく薄い鋼管を打ち込み、コンクリートグラウティングを行なうもので従来のくいに比較して強力な引張力が期待できる。

いずれにしろ海の建設工事におけるくいとしてプレキャスト コンクリートぐい、鋼製ぐいのおのおのが長所短所を有し、今後どちらが主流を占めていくかは断言できない。鋼矢板ぐいとしての“Concertina”形は今後ともその発展が注目に値するものである。

b) ケースドぐい (Cased Pile) ケースドぐいは 5 年ほど前から新しいコンクリート支持ぐいとして海の建設工事に用いられてきている。このくいは、鋼製のケーシングを特別のドロップハンマーでケーシング先端の円形板で支持されているコンクリート部を打撃することで沈下させていくものである。表-1 は、ケーシングの径と厚さとドロップハンマーの関連を示している。

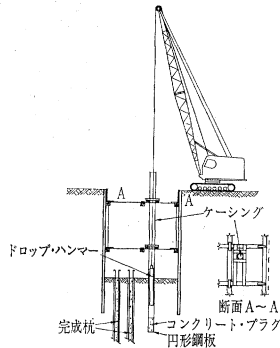
ケーシングが所定の位置まで打込まれたとき内部にコ

表-1 ドロップハンマーとケースぐいの関連

| 最大設計荷重 (t) | ケーシングの内径 (in) | ケーシングの厚 (in) | 先円形端板 (in) | ドロップハンマー重量 (t) |
|------------|---------------|--------------|------------|----------------|
| 15 | 10 | 0.128 | 0.38 | 0.8 |
| 25~30 | 12 | 0.128 | 0.38 | 1.3 |
| 40 | 14 | 0.128 | 0.50 | 2.0 |
| 50 | 16 | 0.144 | 0.50 | 2.5 |
| 65 | 18 | 0.160 | 0.52 | 3.0 |
| 80 | 20 | 0.176 | 0.52 | 4.0 |

ンクリートを充てんする、この場合通常は鉄筋コンクリートは必要としないが、棧橋タイプの構造では地盤から上の部分に鉄筋を入れるほうがより効果的である(図-10)。

図-10 コフファーダム基礎として打込まれているケースぐい



ケースぐいを使用することで効果的であるくいの条件はつぎの点に集約できる。①水中

中ぐい、②長尺ぐい、③土質が複雑でぐいの長さが不定の場合、④傾斜ぐい、⑤ぐい打ちの騒音が問題になるとき、一般的にケーシングは重量が軽いことから建込みが簡単で、またプレキャストコンクリートのようにつり手も不要である。ケーシングは内部のコンクリートが硬化するまでそれを保護する役目を果せばよいのである。表-2は、これまでの使用工事例をまとめたものである。

4. 最近の主要工事、大規模プロジェクト

(1) Rance 潮力発電所

世界で初めての潮力発電所^{9),10)}の建設工事が現在フランスのブリタニー海岸のランス河口で行なわれている。最大発電力 24 万 kW, 建設現場の川の深さ約 12 m で平均潮差 8 m, 最高は 14 m に達する。

ランス潮力発電所は、潮力利用の発電所の先駆的工事として、その建設工の規模の大きさとともに注目に値するものである。工事は 1961 年 1 月から開始され、

現在発電所のコンクリート打設にかかって、全体工事の最終段階にきている。

全体建設工事のうち最大のもは、幅 500 m の間を幅 200 m の発電プラント建設空間を確保するために、潮流を征服して上下流に締切壁、コフファーダムを築いた工事であり、特に下流側壁は河を流上してくる潮流を締切る独特の施工がなされている(図-11)。

現在このコフファーダム内でロックフィル堤と発電所プラントが建設されているが、コフファーダムは砂を申請した直径 21 m の鋼矢板セルで、建設はまず下流壁を作りその後静穏が保たれたところで上流側壁を建設する計画で開始された。

この工事で最も困難な点は壁で開口部を締切って行くにしたがい増大する潮流抵抗に対処していくことであり、その対策として 18 個のコンクリートケーソン(径 9 m, 長 19 m)を鋼矢板セルが交差する地点にまず据付、このケーソンに鋼矢板セルのガイドフレームを取付け、第 1 段階として 9 基のピアを建設したのである。ケーソンは、水平状態で浮上させて所定の場所まで曳行

図-12 1963年3月25日北側コフファーダムを流れる潮流、6基のゲートが開き最大水位差 0.8 m

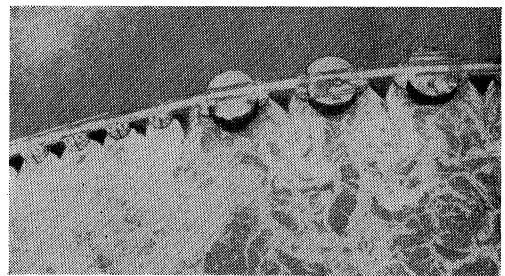


表-2 ケースぐいの海工での使用例

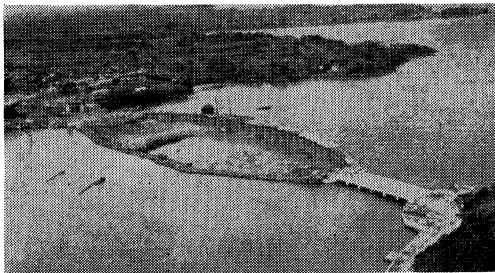
| | ケーシング内径 (in) | ケーシング厚 (in) | ドロップハンマー (t) | 最大設計荷重 (t) | ぐい長 (ft) | 総本数 | 土質 |
|--------------------------|--------------|-------------|--------------|------------|----------|-----|-----------|
| リバプールラングトンドックの西岸壁拡張工事 | 20 | 0.19 | 4 | 90 | 60 | 700 | 砂利 |
| セント、ノースフリートの棧橋工事 | 16 | 0.16 | 2.5 | 50 | 65 | 108 | 砂利チユーク質 |
| ニュージ-ランド、ワシガレイのスリップウェイ工事 | 20 | 0.19~0.21 | 4 | 125 | 120 | 175 | 砂利頁岩 |
| スコットランド、岸壁改修工事 | 18 | 0.16 | 3 | 60 | 56 | 46 | 硬質ボルダー-粘土 |
| ダンディ、トイ道路橋工事 | 20 | 0.21 | 4 | 60 | 70 | 700 | 砂利、砂 |
| サザンプトン、コンプレックス岸壁改修工事 | 18 | 0.18~0.14 | 3 | 60 | 70 | 80 | 砂利 |
| アベルデーン、埠頭クレーン基礎工事 | 20 | 0.19 | 4 | 86 | 56 | 16 | 硬質ボルダー-粘土 |

し基礎の上に据付けて砂を充てんする、その後鋼矢板セルの矢板が打込まれ、これで2基のコンクリートケーソンから成るシートパイルセル9基が完成する(図-12)。

9基のピアで残りの開口部9個を締切るときに生ずる潮流の抵抗に耐えることができ、最後の2つの開口部を締切るとき上流、下流側の水位の差は約3mにも達し激しい流れが生じた。

上流側壁の建設は、潮流の影響がないので容易になされ、1963年11月に上下流壁コッファードムが完成し、1964年1月から内側の排水作業の完了を待って川床掘削が開始された(図-13)。

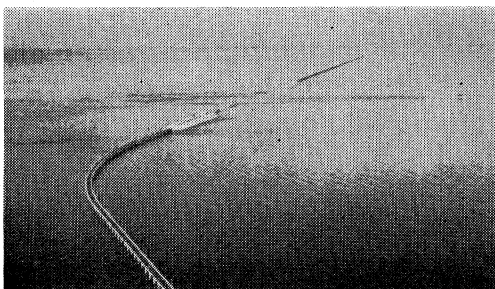
図-13 1963年11月26日、コッファードム内側の排水作業の進捗状況、水位は外側より9m低下している



(2) チェサピーク湾橋梁トンネル工事^{9), 18), 19)}

チェサピーク湾口の外洋に面する28kmにわたって20kmの構脚橋、4基の人工島、2つの長さ約1.6kmの海底トンネルを主に総事業費720億円で、工事開始後3年半で1964年度開通している。従来の湾口交通施設のフェリーボートに比し時間で1時間25分の短縮となる。道路幅員は2車線8.5mで1日に12000台の車の通行が予想されている(図-14)。

図-14 Virginia Beachからの展望、手前2つの人工島およびThimble Shoalトンネル

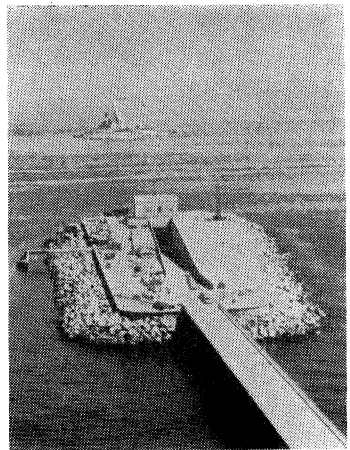


a) 構脚橋 径間数858、間隔23m航行船のために7.5mのクリアランスをもっている。構造は、径135cmのプレストレストコンクリートパイル、肉厚7.5cm、設計荷重160tで最も長尺のもので43mが使用されている。設計波高は5mである。

b) 人工島 4基の人工島は、長さ300m、幅58mで橋部と海底トンネルの結節点でトンネル内の換気装置

がある。島の仕様は天端高7.5mで、最大級10tの被覆石もふくむ4層から構成され、被覆石は-5~+5mの島表面をおおっており、+4m~+7m間は厚さ3mの鉄筋コンクリートが打設されている。水深は約12mでコストは約18億円である(図-15)。

図-15 人工島



設計は3.5mの有義波高に対して行なわれ模型実験は、Corps of Engineer's Beach Erosion Boardで担当している。North Thimble Shoal島でサンドドレーン工事が行なわれ、23基の深井戸と3600本の径35cmのサンドパイルが使用されている。

c) 海底トンネル Baltimore Channelトンネルは、長さ1630mで深さ15mの航路下に布設され、最深部は平均海面から32m、1基2400tの19基の長さ90mのチューブを使用している。チューブの埋戻しは最小厚3m行なっている。Thimble Shoalトンネルは、長さ1720mで仕様はBaltimore Channelトンネルと同様。

トンネル内の換気は人工島の換気建物で行なわれ、おのおの3基の250cmファンで道路下のダクトから空気を送り、汚れた空気は天井上ダクトから同種のファンで排気される。照明装置は、トンネルの入口から450m間は運転者の目を慣れさせように配慮されている。

d) North Channel 橋 延長1100m、トラス橋100mその径間は水平に90m、鉛直に24mのクリアランスをもっている。これに接続する4連続径間は、鋸接プレートガーダー、土質条件の悪さから橋台は基礎で35m、長さ40mの2Hくいを使用している。

(3) 大型タンカー用ターミナル工事²⁷⁾

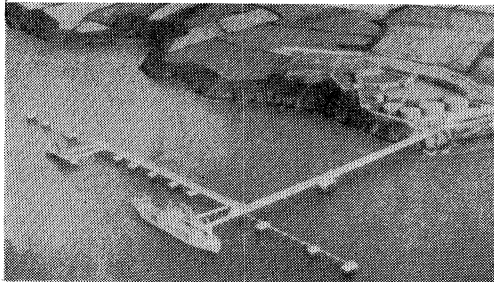
石油タンカーの大型化はさまざまな面で石油輸送に大きな問題を起している。その1つは、けい船施設の不足であり、65000~100000t級タンカーが必要とする水深は13.5~15mその船舶の長さは270m以上である。

以下に紹介するターミナル工事は、イギリスミルフォード港とアラビア湾で行なわれたものでも対象船舶100000t級大型タンカーである。

a) ミルフォード港ターミナル工事 このターミナルは2バースで設計され、おのおのバースの頭部構造

はプラットホームと長さ30~33 m の鋼矢板を用いた2基のコファードダム構造で内部にコンクリートを充てんし、頭部と陸地を結ぶ渡橋はプレキャストコンクリート構造で2本の鋼ぐいが8 m スパンで打込まれている(図-16)。

図-16 ミルフォード港 100 000 t タンカー用ターミナル



バース1とバース2を結ぶ棧橋部は、同様にプレキャストコンクリート構造で3本の鋼ぐいが渡橋と同様のスパンで用いられている。工事は、1961年4月に完成している。

b) アラビア湾のターミナル工事 工事の特色はターミナルの位置が陸地から30 kmも離れた外海にあることで、最悪時には4.5 m以上の波浪が生じそれに伴う工事方式としてつぎのような解決策を与えている。

2基の耐波性のある特別のプラットホームが使用され、1基はくい打専用、他は作業員の宿泊施設に使用され、これらプラットホームは、工事機械としての仕事が終了した後は、くい打プラットホームは引船用けい船構造に、他はそのまま固定されたターミナルの運営施設用プラットホームに転用された。

ターミナルの水深23 m、延長360 m、主けい船岸は120×60 mの広さで354本の鋼ぐいが使用されている。引船用けい船岸は30×24 m、径180 cmの6本の鋼管で支持され、ターミナル運営施設用プラットホームは広さ38×24 mで径180 cmの12本の鋼管ぐいで支持されている。

工事開始は1959年3月完成は1961年2月である。

(4) 橋脚工事

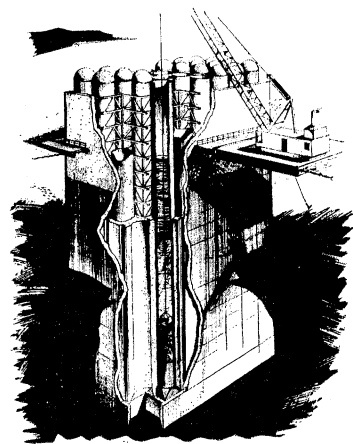
日本でも、海を渡る橋、特に吊橋の計画がいくつか進められているが、海工に関しては、深い水中に巨大な基礎を建設することが重大問題となる。この点からみると、つぎの2つが好例である。

a) マッキノウ吊橋主塔橋脚³⁸⁾ 本橋は中央径間1158 m、吊橋部分は世界最長で2625 mである。場所は、アメリカのミシガン湖とヒューロン湖を連絡する水峡にある。橋脚基礎はオープンケーソンで、外径35.3 m、内径26.2 mの鋼製円筒で、外壁と内壁の間は8室切られて、浮力調節にあずかる。大きさは南側が水に区

中に43.8 m、上部土層中に19.8 m、計63.8 mであり、北側はそれぞれ30.8 m、32.0 m、計62.8 mの高さがありいずれも岩盤に定着している。沈下に際してはケーソンに外接する支保骨組を設けこれに沿わせた。しゅんせつはクラムシェルの外に、噴射水によって土層をかく乱し、サイホンで水と土との混合したものを吸揚げる方法をとった。ケーソンはプレパケット工法によって、コンクリートが申請めされた。

b) ターガスリバー橋主塔橋脚^{34), 35)} 本橋は、ポルトガル・リスボン市付近のターガス河にあり、大西洋から10 kmの地点に架けられ、橋の上流は大きな湾となっている。主径間は1013 mの吊橋である。この橋脚基礎は、サンフラ

図-17



ンシスコ・オーランド・ベイブリッジに使われたと同じエアーダーム・ケーソンである。特に南側橋脚はその深さが世界一で、水面下79.3 mの玄武岩土に定着している。断面は40.7×23.8 mである。

ケーソンは、28本の取りはずしのできる蓋のついた直径4.7 mの掘削井を持っている。この掘削井に圧さく空気を入れることによって浮力の調節を行なう。この基礎工事は本年すでに終了し、現在ケーブル架設中である(図-17)。

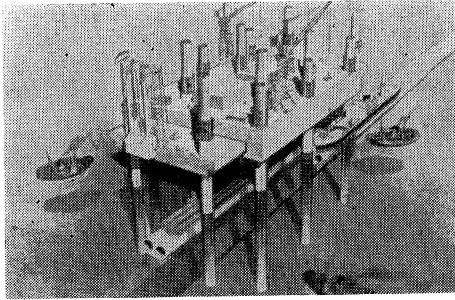
(5) イギリス海峡トンネル計画¹⁷⁾

イギリスとヨーロッパ大陸を結ぶ案は1802年に、Mathie 技師のオポレオンに対する提案から今日まで160年間にわたって、トンネル、高架橋、沈埋トンネル、防波堤、複式防波堤等々の提案が出されてきている。これに対し1960年にイギリス海峡トンネル調査団報告が発表され、総延長37 kmの道路トンネルかまたは総延長51 kmの海底複線鉄道トンネル案にしばらく来ていた。昨年度当初フランスおよびイギリスは、イギリスのドーバーの南FolkestoneとフランスのSangatteを結ぶルートで工費1440億円で海底複線鉄道トンネルを建設することを明らかにしている。

海底トンネルの工事方式として、海峡独特の地質であるチョーク層を抜く抜きトンネル、チューブ工法、および橋梁トンネル混合方式の3方式で検討されている。

特にチューブ工法について、この方法を用いる際の、海峡の絶え間ない荒波と悪天候のもとで相当の深度（最深 80 m）の海底に深い溝を掘る難問題を解決する必要が生じてくる。1 つの解決方法として特別なプラットホームを用いる提案がなされている。先行プラットホームは、チューブ基礎の溝を掘削し、図-18 の後行プラットホームで溝を仕上げチューブを据付け埋戻すものである。両プラットホームとも脚を浮上させて移動する。

図-18 溝を仕上げチューブを据付けて埋戻す後行プラットホーム



(6) サンフランシスコ湾横断トンネル計画

サンフランシスコ湾の海底を、サンフランシスコ市とオークランド市を結ぶ高速地下鉄道用海底トンネル工事計画がサンフランシスコ湾地区高速度交通管団の手で立てられ現在進行中である。この海底トンネルはアプローチをふくめて全延長 10 km で工費 580 億円と見積られている。トンネルの工事方法としてはチューブ工法、開き工法および双線シールド工法の 3 方式が使用される予定である。チューブは径 11 m、長さ 90 m のものをふくめて 3 形式 62 本使用されることになっている。

終りに執筆にあたって、川口委員が協力されたこと、ならびに資料収集にちからをかされたその他のの方々に対しここにあらためて感謝の意を表明いたします。

参考文献

- 1) The Dock and Harbour Authority, 1964.8 : "Further Examples of Cased Piles in Maritime Structure" By G.M. Cornfield.
- 2) The Dock and Harbour Authority, 1961.2 : "Cased Piles and their Application to some Maritime Structure" By G.M. Cornfield.
- 3) Civil Eng. (London) 1964.1 : "Air Bubble Curtain for Water-Borne Blasting Shock" By R.C. Jacobsen.
- 4) The Dock and Harbour Authority, 1963.5 : "Non Solid Breakwaters" By J. Gordon Bryan.
- 5) Civil Eng. 1963.7 : "Foundation Problems on the Second Elizabeth River Tunnel" By George J. Murphy, W. Tarshansky.
- 6) Proc. I.C.E., 1963.1 : "Measurement of Distance by Radio Waves and Its Application to Survey Problems. Part 1, Part 2" By J.A. Sandover, R. Bill.

- 7) Bulletin of P.I.A.N.C., Vol. 1 (1964) : "The Hanchtholm Harbour, Denmark" By Olaf Elbro.
- 8) Traffic Eng. 1964.5 : "Under and Over the Chesapeake Bay"
- 9) La Houille Blanche, 1963.11 : "La Coupure De L'esuaire De La Rance"
- 10) Civil Eng., 1962.3 : "Highway tube muder" By H.M. Eichstaedt.
- 11) Civil Eng., 1962.1 : "Hood Canal Bridge" By R.W. Gaul.
- 12) E.N.R., 1964.9.3 : "Two Types of Caissons Support Tall Piers for Lonisiana Bridge"
- 13) Civil Eng., 1963.9 : "Meldahl Locks and Dam on the Ohio River" By William, F. McCraw.
- 14) The Dock and Harbour Authority, 1961.4 : "A Perforated Vertical Wall Break Water" By G.E. Tarian.
- 15) The Dock and Harbour Authority, 1962.11 : "A New Type of Breakwater for Exposed Positions" By H. Londyren.
- 16) E.N.R., 1964.9.10 : "Constructors Harness the Tides in France" By Waldo G. Bowman.
- 17) Civil Eng. 1964.7 : "An English Channel Crossing" By John O. Bickel.
- 18) Civil Eng. 1963.12 : "Chesapeake Bay Bridge-Tunnel Project Engineering Design" By L.J. Sverdrup. "Two Tunnels and four Islands" By Joseph Peraino. "Bridge and Trestle Construction" By Tohn W. Fowler.
- 19) Civil Eng., 1962.1 : "Chesapeake Bay Bridge-Tunnel Construction" By John W. Fowler.
- 20) Civil Eng. (London) 1963.11 : "Model Research Aids Civil Engineering Design"
- 21) Proc. I.C.E. : "Field and Model Investigation into the Reasons for Siltation in the Mersey Estuarg" By Price, W.A. and Kendrick, M.P.
- 22) Civil Eng. (London) 1963.11 : "Engineering Geophysics for Land, Marine and River Site Exploration" By M.C. Templeton
- 23) Civil Eng. (London) 1963.11 : "Hamburg's Novel Quay Developments" By G.A. Nrigley
- 24) Civil Eng. (London) 1961.10 : "The Construction of No. 1 Quay at Tees Dock"
- 25) The Dock and Harbour Authority : "Marine Site Investigations Some Recent Development in Methods and Equipment" By R.F. Heynes
- 26) The Dock and Harbour Authority : "The Channel Tunnel Project. An Account of the 1959 Sea Bed Investigations" By M.J. Tomlinson and R.F. Hevnes
- 27) Proc. I.C.E., 1964.1 : "Siting, Design and Construction of Two Terminals for Large Oil Tankers" By Geoge Colin Grove
- 28) The Dock and Harbour Authority, 1963.7 : "Trends in Bulk Port Development"
- 29) The Dock and Harbour, 1962.11 : "A New-type of Breakwater for Exposed Position"
- 30) World Port, 1963.9 : "Dutch Dredge"
- 31) The Dock and Harbour, 1963.4 : "The Clyde Dry Dock Project"
- 32) "The Channel Tunnel Study Group Report" 1960
- 33) 国鉄大阪工事局, 昭和 35 年 4 月 : マッキノウ橋建設記録
- 34) 平井 敦 外, 1964 : 欧米の橋梁視察報告
- 35) Gabinete da Ponte Sobre O Tejo (パンフレット) : Ministério das Obras Públicas

[担当委員 藤森研一 : 運輸省港湾局建設課]