

海中橋脚の諸問題

相 良 正 次

1 海中橋脚の変遷

橋梁史のなかでもとくに新しく困難な問題に直面することの多いのは基礎工事である。世の進歩発展に伴って次第に条件の厳しい場所にも橋梁が要求されるようになってくると、ますます径間は長くなり同時に基礎工事むずかしくなる。

橋梁技術の飛躍の動機となったのは、古代においては軍事上の要請があり、近世に入って鉄道の普及があり、そして現代は自動車交通の発達であろう。

どのように簡単な橋でも、これを受け支える橋台や橋脚なしでは造ることができない。水中の橋脚は、洪水や波浪によってしばしば破損するのがむしろ常であったが、工法や技術が進んで堅固なものができるようになってきた。このような水中での橋脚工事は、拾石するとか木ぐいを打つ方法が用いられ、次いで仮締切による工法が生まれたものと思われる。

イギリス人、サー・トマス・コクレンにより圧搾空気を函内に送り込んで底から水が浸入するのを防ぎながら掘削工事などを進めるニューマチック・ケーソン工法の特許が出されたのは1830年のことであるが、これが実際の工事に採用されたのは1843年のイギリスのチュプスト陸橋基礎工事が最初で、アメリカでは1869年のセント・ルイス橋に用いられ、日本に導入されたのはこれより約60年遅れて大正大震災後の復興工事である。その後水中での掘削方法や掘削機械あるいはコンクリートの水中施工技術などが開発され1900年代になってからオープン・ドレッジ・ケーソン工法が生れてきた。これも現場諸条件に応じて二重壁や蜂の巣構造が考えられ、曳航沈設などの要求から仮設底蓋付きの方法やエアドームを付ける工法も開発された。

最近では、大型建設機械の出現によって、口径や剛性の大きいぐいを打ち込んだり、また斜にも打ち込む技術が普及したので、海底に基礎ぐいを打ってこの上に型枠を置いて躯体コンクリートを施工する、いわゆるバルタイプの基礎や、予め海底を所要の深さまで掘って均らしておいて、そこに型枠を据えて躯体コンクリートを水中で施工する基礎が採用されるようになってきた。

1-1 ゴールデン・ゲート橋

海中橋脚の新しい歴史の頁を開いた工事で、1932年に共同企業体であるパシフィック・ブリッジ・カンパニーに基礎工事が契約され、1933年1月5日に着工した。この現場はサンフランシスコ湾の入口の最狭部にあっており岸から340m 沖合の地点で、最大潮流6.5ノット ($3.3m/s$)、水深18.3m~24.4m、海底は蛇紋岩である。

当初の計画はニューマチック・ケーソン工法で、-30.3mに基礎底面をおくことになっており、まず岸から鋼製栈橋をのぼして基礎外周に高さ+4.6mの支保工兼作業足場をつくるので、小発破で孔をあけ次に大発破で拡孔し、そこに支柱を建込んで根元をコンクリートで固める方法をとった。

この栈橋がやっとできた1933年10月19日に2,000tの汽船が、岸から120mのところへ衝突して6スパンが破壊された。潜水夫による取片付けをした後補修し、次に22区画のコンクリート・ブロックよりなるコの字型の締切壁を3ブロック打った同年10月31日に今度は嵐がきて大被害を受けた。

この締切壁体部の海底岩の掘削は、小型パイロット発破と重量 $1,134\text{kg}$ のハンマーを用いて削孔し、 91kg の大発破を併用した。またズリ排出には 3.5m^3 の容量のバケットを特に製作して使用した。

このように大小幾度かの災害を受けながらやっと締切壁が完成して、1934年3月31日に $56.4\text{m} \times 27.4\text{m}$ という巨大な断面の鋼製ケーソンを曳航してきて引き入れた直後再び嵐に見舞われ、ケーソンの動揺が次第に大きくなりケーソンも締切壁も破壊しそうになったため折角苦心して引き入れたケーソンを引き出して深い海底に沈めざるを得なくなった。ここで工法を検討された結果締切壁の入口を閉じて壁体を補強し締切工法に変更された。

締切壁を型枠代りに内部をコンクリートで埋めることになったので、ケーソンよりも底面積が増し、当初設計では底面反力が $147\text{t}/\text{m}^2$ だったものが $108\text{t}/\text{m}^2$ に減じた。

このようにして1935年1月にコンクリートを打ち終った。この基礎工の岩盤掘削量 $34,400\text{m}^3$ 、締切壁コンクリート $58,300\text{m}^3$ 、基礎本体とシール用コンクリート $53,500\text{m}^3$ 、鉄筋 650t であった。水中コンクリートはトレミー工法が採用され、平均 $76\text{m}^3/\text{h}$ の打設速度でシリカセメントを用い

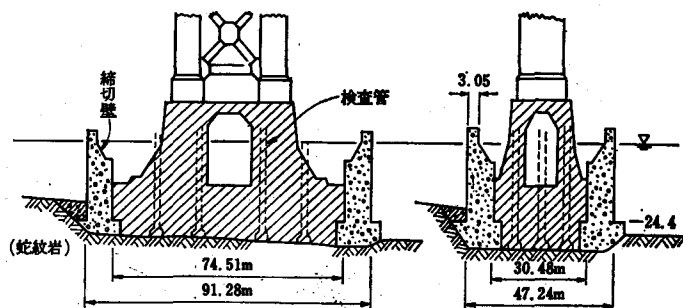


図-1 ゴールデン・ゲート橋主塔基礎

て施工された。水中コンクリートの採取したコアの強度は $280\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上あったといわれているが、肝心のコア採取率については不明である。

1-2 サンフランシスコ・オークランドベイ橋

ゴールデン・ゲート橋と相前後して1933年7月9日大統領の勅入式で着工し、西側水路橋脚は4社共同のトランス・ベイ・コンストラクション・カンパニーに、また東側はやはり4社共同のブリッジ・ビルダス・インコーポレーションに契約された。

西側水路は最強潮流 6.6ノット 、最大水深 34.4m で堆積層が厚く岩盤は水面下 69.5m の深さにあり、厚い軟弱層の沈下に問題があるので検討された結果ダニエル・E・モーラン技師の創案にC・H・パーセル主任技師の協力と考え出されたエアドーム・ケーソン工法が採用された。これは大型ケーソンに使用されている蜂の巣ケーソンの円形ウエルの頂部にドーム状の蓋を溶接して空気を圧入すれば浮力が働き、海底を掘るときはドームを外せばよい。ウエルは沢山あるのでうまく調節しながら工事を進めれば、どのような軟弱地盤でも急激に沈下したり傾くことを防止しながら安全に施工可能となるという工法で、当時はモーラン・パーセル・ドームと呼ばれていた。

工事はまずケーソンを安全に支えるための左右1対の支持枠を海底に据え付け、支持梁で両者を連結する作業から始められた。この内側に $38.7\text{m} \times 22.7\text{m}$ の断面に $\phi 4.5\text{m}$ のドーム付きウエル28個が内包されているケーソンを引き入れ、掘削するウエルのドームは切り外してバケットを主として使用した。初めての工法であり円滑にのみ工事が進んだわけではなく、バケットがウエル内壁にひっかかって使用できなくなってジェット水を使用したこともあり、ドームにまで泥が詰まって浮力が働かなくなり急に傾いてやっと支持枠に助けられてとまったこともあった。

支持岩盤には不陸があり、この掘削には重量 5t の突き棒でこわし、エゼクターポンプで排土し、底詰めコンクリート施工前にはケーソン外周部に入念なモルタル・グラウトを行なって外からケ

ケーソン内に土砂が入るのを防止した。

東側水路では、 $41\text{m} \times 24.4\text{m}$ の二重壁ケーソンを用い、 15.2cm 厚さの木製底蓋をつけ曳航して沈設してから底蓋をとり外した。このケーソンには予めジェット用のノズルとパイプが組込まれておりケーソンの沈下促進とケーソン内の清掃に有効な働きをした。この種のケーソンでは底蓋をとり外す作業が危険であって、そのため事故を起した例もあり最近では全く用いられないようである。

1-3 タコマ・ナローズ橋

この橋は、ピューゼット湾の奥に架けられており一般には風で崩壊した吊橋として有名である。架橋地点は潮流7ノット、水深が 37m もあり、基礎底面を支えられる砂礫層が東側橋脚で -53.3m 、西側橋脚で -68.3m と深いので、 $36.6\text{m} \times 20.1\text{m}$ の断面の鉄筋コンクリート・ケーソンが用いられ、仮設底蓋が使用された。外周壁厚が 99cm 、仕切壁厚が 61cm で底蓋には $30\text{cm} \times 20\text{cm}$ と $30\text{cm} \times 10\text{cm}$ の木材を二重に使用した。

まず橋脚中心から適当な距離の外円周上に、 $3.7\text{m} \times 3.7\text{m} \times 15.7\text{m}$ という細長い寸法の鉄筋コンクリートアンカーが沈設された。アンカー外周は $\phi 25\text{mm}$ のワイヤロープで巻いて補強してあり重量は 600t あって、 $\phi 40\text{mm}$ のアンカー索が2本取り付けてあり、それぞれの先端には $\phi 20\text{mm}$ のワイヤロープが2本1組で2組が連結してあってこれで緊張できるようにしてある。またこのアンカーはバージの上で製作し、バージの片側に注水して傾けて海中に沈設する方法がとられた。

ケーソンは陸上で高さ 11m につくり、海上に浮かべて現地に曳航しアンカーで固定して、次第に打継ぐ方法がとられたが、潮流によって 6m 程度の動揺が生じた。海底は堆積層なのでバケットが用いられ、底詰めコンクリートにはトレミー工法が採用された。

1-4 マキノ橋

ミシガン湖とヒューロン湖の間に架けられたこの橋は1958年の完成で、3径間吊橋の全長として

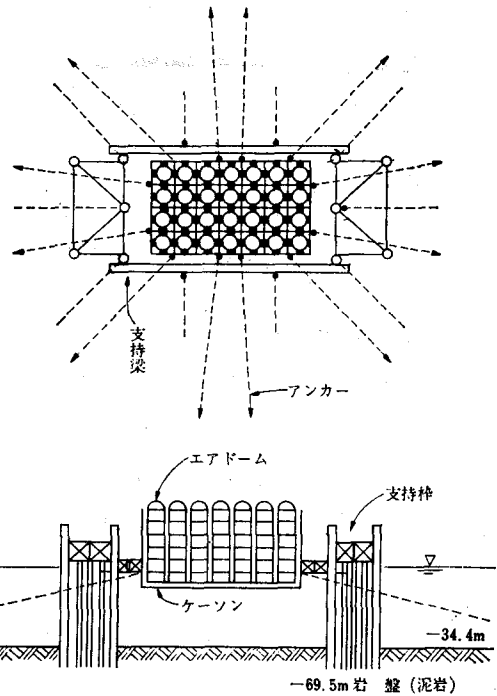


図-2 サンフランシスコ・オークランドベイ橋
ベイ橋主塔基礎

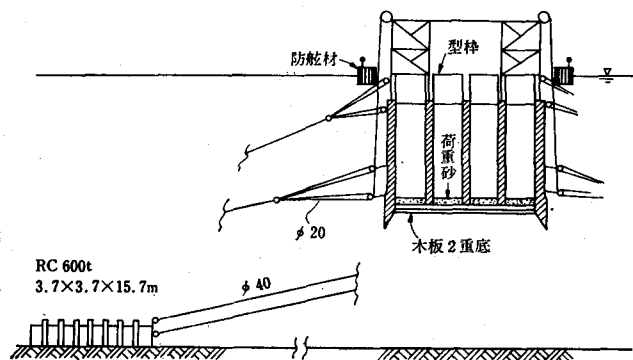


図-3 タコマ・ナローズ橋基礎ケーソン沈設

は現在も世界一であり、基礎工事も橋梁としては最大のものと思われる。

水中橋脚33基のうち30基は締切工法が用いられたが、それぞれの諸条件に応じて単円形・単矩形・二重円型・二重矩型が使い分けられており、まず海底に支保構を据えその外側にクレーン船でシートパイルを打ち込んで締切る工法がとられている。

工事中の最大風速は30m/sec、潮流3.6ノットで残りの3基は水深が大きいのでケーソン工法が採用された。18号橋脚は28m×13.4mの断面にφ2.7mの掘削ウエルが3×7の21個ある矩形蜂の巣ケーソンで、19号および20号橋脚は水深が42.7mもあり、支持岩盤も水面下62.8mと深いので外径35.7m・内径26.2mの二重壁円形ケーソンが用いられた、ケーソン鋼重は1基で2,530tもあり、刃先部分だけで330tという重量である。

まず、φ50.8cmのパイプ12本を支柱とした、底部が22.9m×7.9mで頂部が7.9m×7.9mの1基当たり160tの鋼重のコラールと名付けられた支持枠を組立ててクレーン船で所定位置の海底に据付け、支柱の中から30.5cm、110kg/mのHパイルを海底に打ち込んでモルタルで支柱とHパイルを固定した。3組のコラールを施工してケーソンを曳航し、4組目のコラールで完全に囲ってから掘削沈下を始めた。

掘削には主としてグラブに頼ったが、厳しい潮流や波浪の条件から早くケーソンを安定させる必要があり、また同じく船でコンクリートを大量に打設するよりも柔軟なモルタルの方が施工もしやすく稼働率もよいことからプレパックド・コンクリート工法が採用された。このように大規模な例は初めてといってよく、18号橋脚に18,400m³、19号と20号橋脚にそれぞれ57,000m³のプレパックド・コンクリート量が施工された。

このように前例のない規模の工事なので作業船類に18億円が投じられ、その主要なものを挙げると350t・75t・50t吊り等の全回転デリックを装備した作業バージ10隻、モルタルプラント船1隻、溶接船2隻、17,400ℓ積の燃料バージ1隻、骨材運搬バージ4隻、貨物船10隻、連絡艇4隻などである。また作業基地を3個所に設けた。その第1はコラール・ドックを備えた本拠ともいべきものでセント・イグナスのモラン湾に、第2は長さ1,280mの荷揚岸壁を持つ材料置場を、そして第3は現場に近いマキノ市内に賃借ドックや棧橋を持つ基地を準備した。

1-5 ペラザノ・ナローズ橋

この橋はハドソン河口に1965年完成した世界最大の吊橋で、アンカレッジは陸上に施工され水中は2基の主塔基礎のみである。ブルックリン側は一部島を利用することができたが、スターテン・アイランド側は陸側で水深5.9m、海側で10.7mあり、岩盤は水面下77.4mときわめて深いので将来の多少の圧密沈下は設計に見込むことにして基礎底面を-51.8mにおくことになった。

工法は水深と底質からφ14.9mのセルで周囲を締切り築島し、69.8m×39.3mの蜂の巣ケーソン

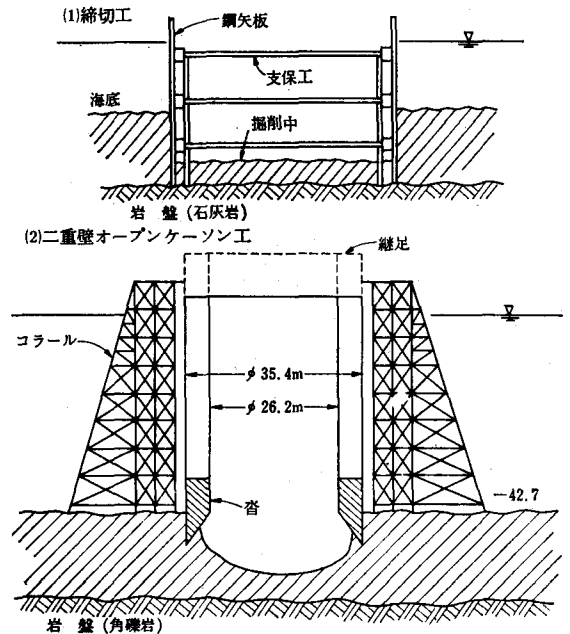


図-4 マキノ橋基礎

が組立てられた。この内部は $5.2\text{m} \times 5.2\text{m}$ の部屋が 6×11 個に分けられており、それぞれ掘削ウエルが入れている。掘削には $1.1 \sim 1.5\text{m}^3$ 容量のバケットが使用され、掘削ウエル間に間詰めコンクリートを打って沈下荷重とした。またケーソン刃先から 3.1m と 18m の高さの外周壁に予め上向きに水が噴出するようノズルが組み込まれていて圧 14 kg/cm^2 のジェット水が用いられた。上層の軟弱土で平均 0.5m/日 の沈下を示し、下層の砂利混り土で平均 0.15m/日 であった。なお沈下が困難な場合には振動を与える小発破も併用された。

コンクリート打設には、 2.3 m^3 ミキサー2台を装備したフローティング・プラントが用いられ、硬化熱も 101°C まで測定されており、層ごとに5～6日の間隔が必要となった。

1-6 フォース・ロード橋、セバーン橋

エジンバラ市郊外にフォース・ロード橋が完成したのは1964年である。ここは干満の差が 6m 、最大潮流 5.1ノット で南側主塔位置は水深 7m で海底はシルトと砂礫層であってその下に漂石粘土層があり、支持層となる砂岩は -29m にある。ここでとられた工法は、まず漂石粘土層までガイドパイプを打ち込み、次に眼鏡型のフレームを据付け、これに沿ってシードパイルを打つ。

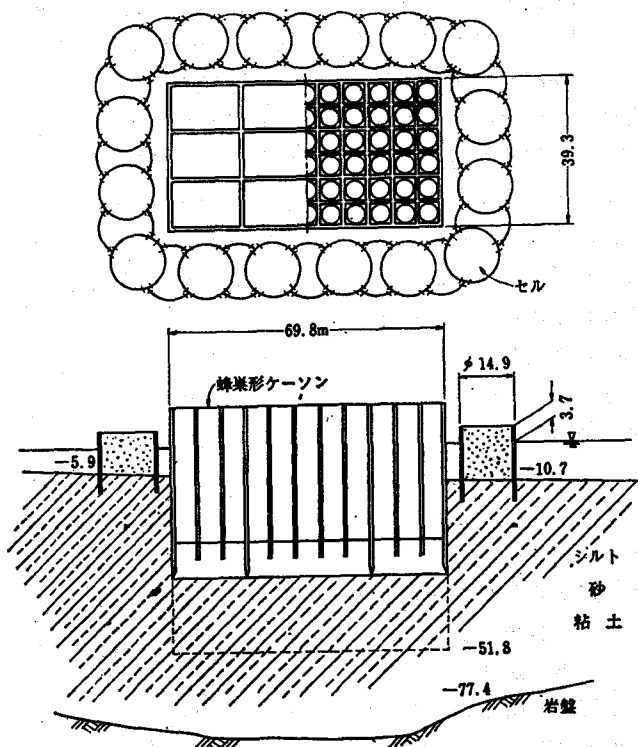


図-5 ベラザノ・ナローズ橋主塔基礎
(スターテン・アイランド側)

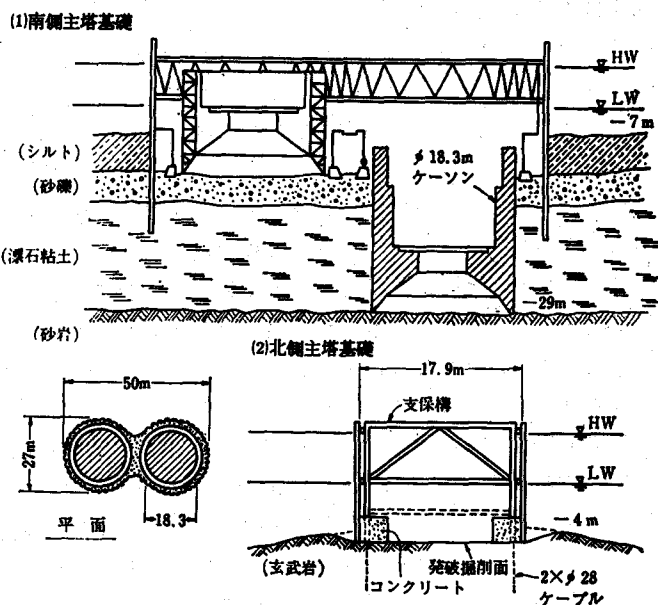


図-6 フォース・ロード橋主塔基礎

次に2組の円形セルを据えてシートパイルとの間にコンクリートを打って一種の穴あき締切工を形成して円形セルの内部を排水し $\phi 18.3m$ の鉄筋コンクリートケーソンをつくって掘削沈下させ、中心で24.4m離れた2個のケーソンを主塔基礎とした。

北側主塔位置は水深4mと浅いが海底は玄武岩でシートパイルの打ち込みができない、そこで水中発破で予め海底を切り均し、鋼製枠を据えて四隅をコンクリートで固定し、枠の外周に打ち込むようにシートパイルを設置しその内側根元に3m×3mのコンクリート梁を打っておさえ水密とし、さらに排水のときフレームやシートパイルが浮き上がらないようにフレームの22本の中空コンクリート支柱を通して $\phi 28mm$ のロープ2本を1組とした削孔岩盤碇着工法を用い、それぞれ57tの緊張力を与えておいた。排水後は普通の気中施工である。

1966年完成したセバーン橋は干満の差の特に大きいところで常時でも12.8mもあり最大14.6mにもなる。満潮時の最大流速は6ノットで洪水時最大9ノット、また橋脚位置の水深は浅いが浮流物衝突の危険がある。

東側主塔基礎位置は平均水深約2.5mで海底は硬い砂岩である。それで予め $\phi 32mm$ の鋼棒を海底に埋設しておいて中空プレキャスト・コンクリート部材を据え付けて鋼棒で海底に固定する工法が採用された。このプレキャスト部材は高さが4.9mで重量10tで、24個を並べてその間には型枠を入れてコンクリートを打ち締切壁をつくった。なお水圧に耐えるようにプレキャスト部材の横梁を6本使用した。

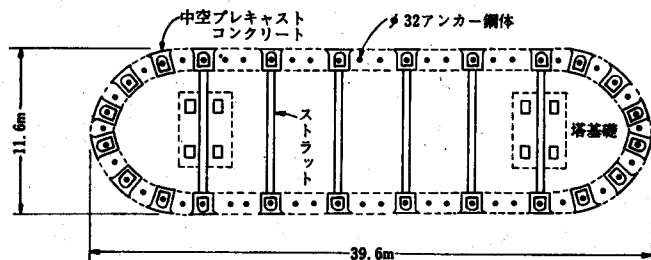


図-7 セバーン橋東側橋脚基礎

西側は水深が9.8mあり支持層の泥岩は-19.8mで約10m厚さの堆積層が分布している。 $\phi 18.5m$ の二重矢板円形締切を中心間隔21.6mで2基設け、小発破で掘削してローダーにより排出し、掘削が進むにつれてプレキャスト・コンクリート・セグメントで巻立て、継目にはアスファルトと連結ボルトを使用し、岩盤との間隙にはモルタルを注入した。

1-7 ニューポート橋、サンマテオ・ヘイワード橋

1965年竣工したナラガンセット湾の東水道のニューポート橋は、水深48.8mもあって締切は不可能なので、まず4.6m³の大型バケットを装備した船で約7m深さに海底を切り均し、高さ36cm・重量151kg/mのHパイル326本をS-14型マキナンテリー水中ハンマーで打ち込み、8本を残した他のHパイルは海面下47.2mに切り揃えた、パイルを正確な位置に打つために $\phi 16mm$ のリードケーブルが用いられた。次に8本のHパイルをガイドにして40.8m×20.7mの断面で高さ9.8mのフーチング型枠を据えトレミー工法で8,400m³のコンクリートが打設され、次に $\phi 4.3m$ の柱4本が高さ1.2mの壁で連結された高さ35.1mの軀体用型枠を曳航して沈設し4,200m³のトレミーコンクリートを打った。水中打継目の施工の詳細は不明であるが、特別なことは行われなかったようである。

サンフランシスコ湾南部に架けられたサンマテオ・ヘイワード新橋は水深16mであり、-27mまでくいを打ちその上に軀体型枠を沈設してトレミー工法でコンクリートを打ち鳥居形の軀体をつくった。またチェサピーク湾の橋脚も水深29.8mあり、Hパイルを-55mの砂礫層まで打ち込んでフーチングをつくり2柱式の基礎軀体をつくった。

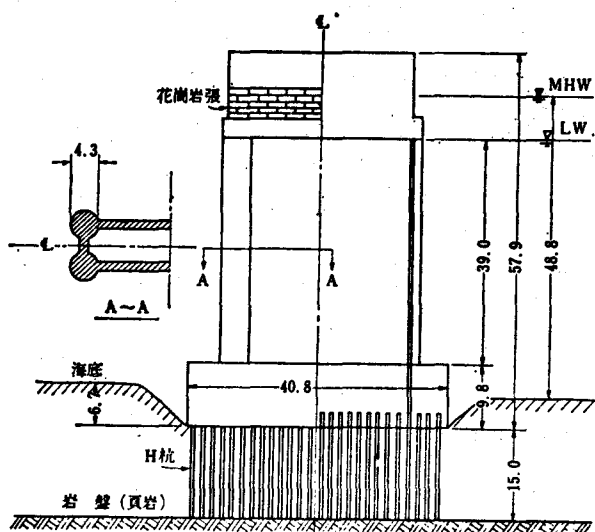


図-8 ニューポート橋主塔基礎

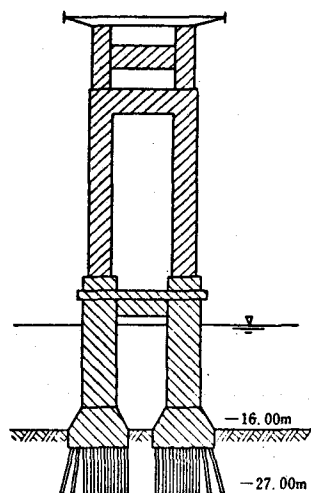


図-9 サンマテオ・ハイワード橋主橋脚

1-8 サラザール橋、リトルベルト橋

1966年に完成したポルトガル・リスボン市のサラザール橋は潮流6.6ノット、干満差4.8m、波高1.5m、水深27.4m、玄武岩は海面下79.2mにあってその上は厚い堆積層があって軟弱なのでサンフランシスコ・オークランドベイ橋の工事で開発されたエアドームケーソン工法が採用され円滑に施工された。ケーソンの断面は40.7m×23.8mでφ4.7mの掘削ウエルが7×4の28個使用した。

バルチック海に架設されたリトルベルト橋は、潮流8ノット、水深20m、海底はリトルベルト粘土層が厚く発達しておりくい基礎が採用された。くいは8本の鉄筋で補強された重量14t、長さ30mのコンクリート摩擦ぐいで1基当たり206本使用した。最初10mだけ粘土層に打ち込みそこでくいを継ぎ足してからさらに20m打ち込む工法がとられ、打込機には12tのスチーム杭打機を特に設計製作して使用した。くいの断面は38cm×48cmの矩形で正しい位置に打ち込むためとくいの保護の目的で高さ20mの矩形チューブ状のキャップと特殊な支持機構が用いられた。

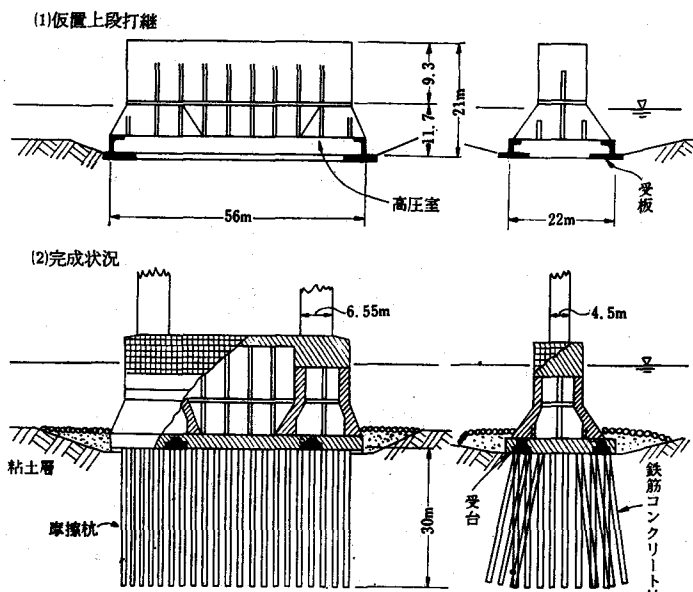


図-10 リトルベルト橋主塔基礎

くいの打設が終わると、上面

に鉛板を張ったコンクリートスラブをくいをガイドとして基礎周辺に沈設し、別の場所で製作したケーソンを曳航してきて5tのダンフォースアンカー4点で仮固定し、潮流のたるみを利用して前記鉛板の上を正しく沈設し、ケーソン最下層の高圧室にエアーを送って排水してからくい頭部を清掃し補強鉄筋を連結して底コンクリートを打設し、次いで躯体コンクリートを打った。1基当りパイールに使用したコンクリートは $1,200m^3$ 、基礎本体に $11,000m^3$ で鉄筋は $3,700t$ であった。

またケーソンは $56m \times 22m$ の断面の鉄筋コンクリート製で、初めはドライドックで高さ $11.7m$ までつくり、一旦水深 $10m$ の海底に直径 $5m$ のコンクリートスラブ4枚を敷いた上に仮置きして高さ $21m$ まで継ぎ足し、断面の大きい下 $3m$ 分が高圧室になっているので送気により浮上させた。

1-9 わが国の工事例

若戸大橋は港内で支持岩が海面下 $22m$ にあり $40m \times 17m$ の鋼製ニューマチック・ケーソンが用いられた。

天草5橋の2号～4号橋では水深が $7 \sim 8m$ で海底硬い岩なので水中発破とマキナントリー・ロックブレイカーで砕きバケット船とエアリフトで排土しながら、海底を $1 \sim 2m$ 深さに切り均し、下ほど断面の大きい三層型枠を沈設しプレパックド・コンクリートを打設して基礎とした。コンクリートのコア採取率は $70 \sim 80\%$ であった。

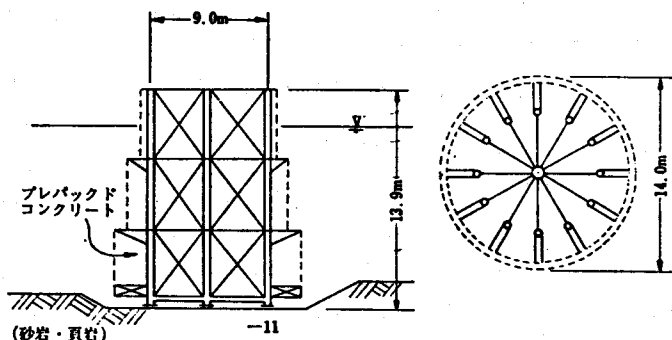


図-11 天草3号橋基礎枠組

広島大橋は湾深い位置で、水深は $15m$ で軟弱層が約 $15m$

ほどあり、その下が砂層で支持層となる礫交り砂層は $-50m$ 以深で岩盤は $-70 \sim -100m$ に達している。それで現地には予め砂層に根入れした支持枠を設置固定しておき、他の場所で製作した外径 $10m$ 、壁厚 $1.3m$ 、長さ $33m$ 、重量 $1,800t$ の円型鉄筋コンクリート・オープンケーソンをクレーン船で吊って支持枠内に挿入設置した。掘削には大型グラブが用いられ沈下終了後の底版コンクリートはプレパックド工法が用いられた。

生浦大橋は三重県の志摩に架けられ、水深は $3 \sim 4m$ で浅いが $4 \sim 16m$ の厚さのシルト層その下の岩盤が傾斜しているので、まず支持枠兼作業足場を据えて $\phi 1.3m$ のケーシングを打ち込み、 $\phi 1.26m$ ビットで削孔し $\phi 1.2m$ の支柱パイプを建て込みケーシングとの間隙にセメントグラウトをしてから支柱パイプ内にコンクリートを充填する。このようにしてできた支柱を $3 \sim 9$ 本頭部を版で連結して基礎とした。

現在工事中の山口県大島瀬戸に架ける大島大橋は水深 $10 \sim 20m$ 、海底は風化花崗岩、潮流 $8.5ノット$ というきびしい条件なので、 $\phi 3.5m$ の支柱を $9 \sim 16$ 本1組とした多柱式構造が採用されている。

現在施工中の黒之瀬戸大橋は、鹿児島県の黒之瀬戸海峡に架けられた連続トラス橋で、海峡は巾 $500m$ 、最大水深 $60m$ の摺鉢状をなしていて干満差 $3.5m$ 、最大潮流は中央部 $8ノット$ 、水深 $14m$ の橋脚地点で $6ノット$ あり、底質は火山角礫岩である。まず $30t$ の重錘を持つ砕岩船とクラブ容量 $12.5m^3$ の浚せつ船で傾斜した海底を切り均し、次に重量 $100t$ ガイド枠を海底に据えた。これは $2.3m \times 2.4m \times$ 高さ $1m$ の4個の箱を四隅としてH鋼で連結したもので箱の中にはコンクリートが詰めら

れており、PCアンカー用の穴がそれぞれ2個ずつあけられてあって、箱の上面には鋼製型枠が正しい位置に落とし込めるよう角錐が取り付けられている。

10m×22mの小判形で高さ18.5mの鋼製型枠をクレーン船で吊ってきてガイド枠上に設置した。この型枠は刃口部を二重壁として約250m³のコンクリートを打って総重量を1,000tとしたが、なお波浪に対して安定にするためにφ32mmの鋼棒8本を使用してガイド枠共に岩盤に定着させた。(150t/本)

中詰にはφ80～150mmの骨材を予め投入しておき連続モルタル注入によりプレパックド・コンクリートを施工した。1基当りの量は1,300m³であり、モルタルが刃口から外に漏れるのを防止するため刃口外側に予めブラケットを出しその下に40cm×30cmのスポンジマットをとりつけておいたが、潜水夫によりセメント粘土を詰め、またガイドフレームと地盤の間隙にはエポキシ樹脂系材で間詰めさせた。

2 本四基礎の諸条件

2-1 設計からの要求

強くても大量にしかも経済的に入手できる架橋材料は鋼とセメントである。鋼の曲げ強度や圧縮強度を利用するよりも引張力を用いる方が限界が大きくなるので普通の条件下では支間長が500～600m以上になるとトラス型式や一部軸圧縮力の生じる斜張橋などよりも普通の吊橋の方が有利になる。しかも鋼材は細い線材や薄い板材であれば数倍も強いピアノ線やバネ板を経済的に製造することができるから、長大吊橋ではピアノ線を何万本も束ねてケーブルとして用いるのである。

橋の規模が大きくなるほど、部材断面は2乗でも自重は3乗で増加することになるから、設計においても自重が支配的影響をもつことになる。しかも海峡に架ける場合には船舶航行のために高い橋となって基礎全体が巨大になり、わが国のような地震国では益々その傾向が強く、例えば支間1,500m級の吊橋になると上下部共に90%は自重に起因する応力になる。

基礎底面に作用する最大地盤反力が一般土木建築の場合には50t/m²程度であり、巨大構造物といわれているベラザノ・ナローズ橋や霞ヶ関ビルの基礎ではこれが100t/m²になる。これに比べて本四架橋の基礎では300～700t/m²という値になる。このことは防波堤のように捨石の上にケーソンを設置するというような積重ね式工法が用いられないことを意味しており、また一般には掘らなくてもよい高固結地盤も掘り下げてより一層堅固な地盤まで根入れしなければならず、したがっ

表-1 各ルート主要基礎諸元 (見込)

海峡名	中央 支間長 (m)	基礎種別	基礎寸法 橋軸×直角×高 (m)	水深 (m)	根入 (m)	地 質		計 画 工 法
						根入層	支持層	
明 石	1,580	主塔基礎	35×70×68	42	19	明石層	神戸層	蜂の巣ケーソン
〃	〃	アンカレッジ	80×66×104	20	15	沖積層	神戸層	築島・ニューマチックケーソン
南備讃	1,100	主塔基礎	30×54×52	36	9	風化花崗岩	花崗岩	設置ケーソン
〃	〃	アンカレッジ	60×55×128	23	27	三豊層	花崗岩	設置ケーソン
来 島	1,000	主塔基礎	18×41×20	10	3	風化花崗岩	花崗岩	締切・直接基礎
〃	〃	アンカレッジ	54×42×70	陸士	14	花崗岩	花崗岩	直接基礎

て掘削機械そのものから開発しなければならないことになる。

吊橋は巨大なマスのアンカレッジや細長い塔、引張に強いケーブルそして交通の用に供される吊構造部というように材質も力学的特性も異なる部材が連結組合わされて長さが2kmも3kmもある一つの橋を形成しているために、地震の場合にも単体に近い高層ビルなどとは異った複雑な反応を示し、振動もお互いに干渉し合う結果となり、振巾や変位の瞬間的 maximum が問題となる。例えばアンカレッジと逆の方向に主塔基礎が大きく傾いたとすると塔頂は強いケーブルで固定されているから塔の根元から折れてしまうことになる。

また諸外国の例では、海中基礎の周囲にシートパイルを打って砂などで間詰めして防舷材兼防食用としているのを多く見かけるが、わが国では頭の重い耐震性の悪い構造になってしまうし、水中コンクリートや鋼構造の海中での施工継手が地震によるせん断力や曲げ引張力に耐えるようにしなければならないのできわめて困難な仕事となる点に留意する必要がある。

2-2 地形・地質

架橋地点として選ばれるのは狭水道が多く、このような場所は一般に断層などがあつた弱い部分が削られてできたものが多いから、地形・地質の変化がはげしいと思って誤りが無い。欧米のように変動がすくなく比較的均質なものととは比べものにならないと考えてよい。

明石海峡は陸岸からや、平坦な勾配で水深40~50mに達しそこから急な崖状で海峡中央部の海釜と呼ばれる深い帯状の溝に落ち込んでおり最深部は水深125mである。基盤である花崗岩は深く120~200mにあってその上に第三紀の神戸層群が厚く分布しており淡路島側は現世代の砂層が薄く表面をおおっているが、本州側に向うほど厚く発達した洪積期の砂礫層である明石層が広く分布している。海釜部の潮流は7ノット以上もあり局部的には9ノットの潮流も観測されている。また航行船舶の輻輳も超過密のわが国の代表ともいふべきで1日当り2,000隻以上もある。

鳴門海峡は神戸層群よりや、古い和泉砂岩層群の海底が水深30~90mではなほだしい起伏を示している狭水道で、一般には狭い場所が深いのであるがその逆で南は水深が90~140mという水深で扇状に開けて太平洋に面しており、北は水深が100~210mという深さで瀬戸内海に開いている。したがって海峡部の潮流は早く10.5ノットもあり水深30~50mの場所には直径10mという渦が発生する。和泉砂岩層群は圧縮強度が $2,000\text{kg/cm}^2$ という砂岩や $300\sim 500\text{kg/cm}^2$ の凝灰岩や泥岩などが互層をなして約60°の傾斜をしており淡路島南端につき出した門崎や対岸大毛島の孫崎も海から急な崖となっている。

下津井瀬戸から備讃瀬戸中央部に位置する三ツ子島までの海底はほとんどが風化花崗岩で風化の程度は場所によって多少異なっている。しかし坂出に寄るにつれて堆積層が厚くなり花崗岩に接する岩盤状の固結粘土層は三豊層と呼ばれており、その上には洪積期の砂礫層で表面は現世代の砂層がある。潮流は最大が5~6ノットであまり強くない。

尾道から今治に至るルートはほとんど全部が風化花崗岩地帯であるが、風化の程度は場所によって相当異っており、花崗岩というのは深くなっても逆にもめた弱い地質になったり、堅いタマネギ状のものが現われたりして意外に厄介な相手である。

2-3 海上工事の特徴

海上工事の要点は、暴風や波浪に耐えて工事の足がかりを与える堅牢で十分な広さの海上足場を如何にして経済的にしかも短期間で確保するかが第1で、第2は工事に必要な器材類をどのようにして円滑に海上の現場に補供するか、第3に海底地盤などが予想と差異が現われた場合にいかに順応してゆくか、そして第4には一般航行船舶などとの安全対策をどうするか、第5は手さぐりに近

い海上での掘削やコンクリート打設などを確実にこなすための工法や施工機械を開発し身につけること、以上が最も重要な事項であると思われる。

狭水道の潮流は河川の流速ほど海底での速度が低下せず、波とちがって水深が百米になっても二百米になってもあまり変わらないで、海底地形の変化によっては海底部の方が表面流速より大きい場合もある。しかも台風などのように時たま来襲するものではなくて、多少の強弱はあっても毎日東から西へ西から東へと流れているだけに足場などの据付や器材の補供にとっては誠に厄介な存在である。潮流圧を風と比較してみると水と空気の比重や粘性の差があるので大型台風の 60m/sec に匹敵するのがわずか4ノット(2m/sec)の潮流圧であるから、例えば宇宙飛行士の無重力状態に似ているスキューバ・ダイバーの場合には何も障害物がないときでも1.5ノット位までが潜水可能限界で、潜水深と作業時間に比例してゆっくり時間をかけて減圧浮上しなければならないので明石海峡での実績を例にあげると転流前後の潜水可能時間が1~1.5時間であるから、水深30mなら40~50分、水深50mで15~20分程度の海底純作業しか期待できず、水深60mでは作業時間零ということになる。

「シートピア計画」で研究が進められているような圧力ハウスを海底に設置して減圧しないで休息し条件のよい時に外へ出て仕事を続けるということになれば大きく改善されるわけであるが、それではすぐこれが実工事に应用できるかということそう容易なものではない。それはまず圧力ハウスを強潮流の海底に安全確実にどのように固定するか、電気や空気を送る母船と常に連結されてなければならないので船舶輻輳し風波もある海上にどのように係留すれば安全を期待できるか、工事でケーソンなどを設置するとその外周部の潮流は2倍近くなるし、足場やロープなどが危険でありダイバーの事故をどうして防止するか、そして最も厄介なのが瀬戸内海の視界が意外に悪いため盲同様になりその対策をどうするかがある。

海中ではプランクトンの死骸やホコリなどが吹雪のように舞い降りていて、雪や霧のドライブと同様で照らす光を強くしても乱反射して遠くは見えず、瀬戸内海全般的に夏で3m 冬で5m 程度の

表-2 風圧と潮流圧の比較

圧 力	30Kg/m^2	70Kg/m^2	300Kg/m^2	$1,200\text{Kg/m}^2$
風	15m/sec (強風)	25m/sec (暴風)	50m/sec	100m/sec
潮 力	0.50m/sec (1ノット)	0.85m/sec (1.7ノット)	1.75m/sec (3.5ノット)	3.50m/sec (7ノット)
参 考	戸 外 作 業 困 難	作 業 不 能	屋根破壊 車 転 倒	記録なし

注; 角体についての計算値で円形になると多少変るが傾向に大差はない。

先しかわからない。したがって潜水艇で複雑な海底の地形地質を調査しても局部が連続的に観察できるだけで全体の様子はさっぱりわからないし水中カメラは至近距離しかつかめない。海中撮影のカラーを如何によくするかという研究は行われているが悪い視界を延ばす研究はどこもやっておらずまた困難なことのようです。水中では緑色レーザー光線がよいともいわれているが経済的実用的限度は可視光線の3～4倍とのことでこれですぐには望めそうもない。

防波堤のなかでの港内沖仲仕作業は保安上 15m/sec 以上の風が吹くと禁止されている。これが何もない海上での船の着離機および荷のあげおろし作業となると容易でない。着離機は風波潮流の強さばかりでなくてその方向に敏感に影響されるし、大型船でも鳴門海峡のように外洋から進入してくる波長の長い「うねり」にはきわめて弱い。また揚卸も重量物が対象の場合には「地切り」「水切り」といわれているように危険な仕事なのである。沈船やアンカーを海底から引き離すときが前者で地盤との付着力が切れた瞬間にその力で逆に上へつきあげたと同様の現象が起き沈船は海面上に跳び上がることになるし水切りも同様でクレーン船などに大きな動揺が起きて思わぬ事故の原因となる。

深い海では誤って海底に沈めたものを引き揚げることが容易でなく捨てるよりも高くついても、工事の支障になったり、漁業や航行上から放置できない場合の方が多く、海底に固定した構築物などの手戻り撤去作業となるとさらに困難で復旧不可能のことがあると考えておかななくてはならないから絶対にそのようなことの起きないようにする必要がある。

工事の安全確実を期すには、その場所での風や波浪の適確な予報が切望されるところで、二、三年来専門家の協力を得て調査研究を進めているが、局地的になればなるほど困難な課題のようです。昨年からは各海峡について実際の予測作業を実験的に継続実施している。

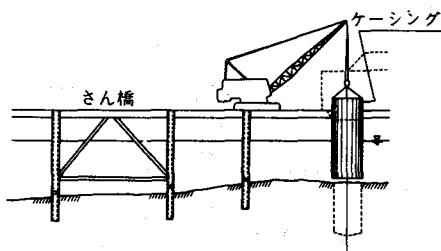
2-4 予想される基礎工法

明石海峡については今後2年程度調査を継続して設計や施工法をつめてゆく計画であるが、現時点での計画としては両アンカレッジは水深10mおよび20m程度の海域となる見込みなので、なるべく潮流を乱さないような形状の締切築島をしてニューマチック・ケーソン工法を採用したい。築島スペースは器材置場など工事用に使用できるしニューマチック方式であれば施工も確実で地盤変化にも順応できる。また主塔基礎は水深40～50mの場所になり輻輳する主航路境界部なので予め堅固な支持枠を海上に固定して蜂の巣ケーソンを曳航沈設し、直径5～6mの掘削ウエルを通して海底を掘り掘削ウエル間の地盤のつきくずしには高圧ジェット水を使用してはと思っている。所定の地盤まで沈下したところでウエル間にセメントと水滓のみの水滓モルタルを間詰めしてからウエル内を順次排水して支持地盤の検査後に気中コンクリートを打設したい。蜂の巣ケーソン外側鋼板の防食には電気防食もあるが水面付近に問題が残る今後の検討に待つことになる。FRPも有効と思われる。

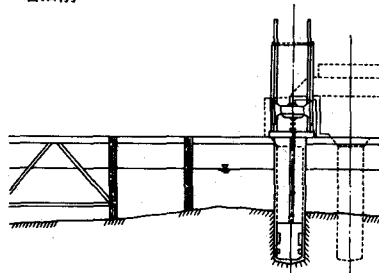
鳴門海峡の両アンカレッジは半分が陸上で半分が浅い海域に出る位置に予定しており普通の締切工法を用いたい。ただし太平洋に直面しているので一般港湾に比べて波浪やうねりもはるかに大きいものを対象にしなければならないため構造や施工に格別の注意が必要となる。殊に傾斜した和泉砂岩層の砂岩が残されて他の軟質岩は複雑に浸食され、欠け落ちたと思われる砂岩が玉石状になって表面に堆積しているので、締切の岩表層処理や口付けといわれる初期掘削の方法が問題となる。

主塔基礎は中瀬という暗礁部と裸島前方の浅瀬に建てられるので水深が浅いが、逆に浅くて潮流が早いので作業用足場の据付作業や船舶の着離機荷揚などが非常にむずかしいので、締切工も困難でありできるだけ海底の掘削量やコンクリート量を減ずるのが得策である。このような諸条件に適

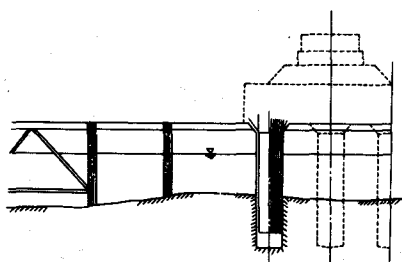
①構築したさん橋を利用
してケーシング建込み



②ケーシング内部の海底
岩掘削



③柱部分の配筋後コンク
リートを打設



④頂版のコンクリートを
打設して完成

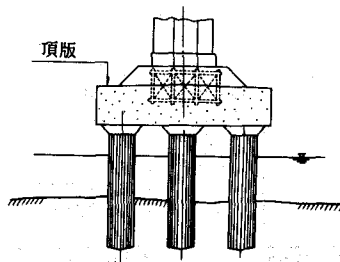


図-12 多柱基礎工法

するものとして7～8年前から検討を進めてきたのが多柱工法である。まず直径1m位の鋼管を多数建込んで栈橋式作業足場をつくり、次に $\phi 4\text{m}$ の掘削ケーシングを上下でしっかり正しい位置に支えられるような支持枠を設置して $\phi 3.6\text{m}$ の掘削機で削孔し、力部材となる $\phi 3.1\text{m}$ の鋼管を建込み型枠代用のケーシングあるいは孔壁との間に水津モルタルを打ち、次に $\phi 3.1\text{m}$ の管内を排水し岩盤を確認してから気中コンクリートを打設して支柱ができあがる。9本の支柱を頭部で連結して主塔の片シャフトが組まれるので1基当り18本の支柱となる予定である。シャフトからの力が9本の支柱にうまく伝達されるような構造が意外とむづかしく、鉄筋コンクリートでは所要鉄筋量が多過ぎて難色があり鋼構造で検討を進めている。この方式を支間の短い淡路島側の高架栈橋部にも採用する計画で4支柱型式となり十数基施工しなければならない。

鳴門海峡は淡路島と大毛島に挟まれており両島には既設の大規模な港湾施設もなく、現場周辺の陸地は海より崖状をなしているの、作業用の足がかりとなる平場を得ることが困難なことや現場への船の着離棧荷揚げが円滑に行くかどうか重要になっている。

備讃瀬戸での海中基礎は、陸岸に近く浅いところは締切工法が用いられ、他は設置ケーソン工法といって大型グラブ船や発破などを併用して予め基礎底面位置まで海底を掘削切均しておき、そこに型枠の役目をするケーソンを曳航してきて据付け、安定上と海中に打継目をつくらないため一気に連続してプレパックド工法で海上部までコンクリートを打つことを計画している。問題点の主なものは、まず海底掘削がどの程度の平坦性で切均しができるかということで精度が悪いとケーソンを正しく据付けることが困難になり、またプレパックド・コンクリート施工の際の遮水が厄介になる。次には潮流によってどの程度床掘した場所に土砂が流入埋戻しされるか、また一気に大量のプレパックド・コンクリートを連続打設しなければならないのでその設備および万一不良部分が生じて

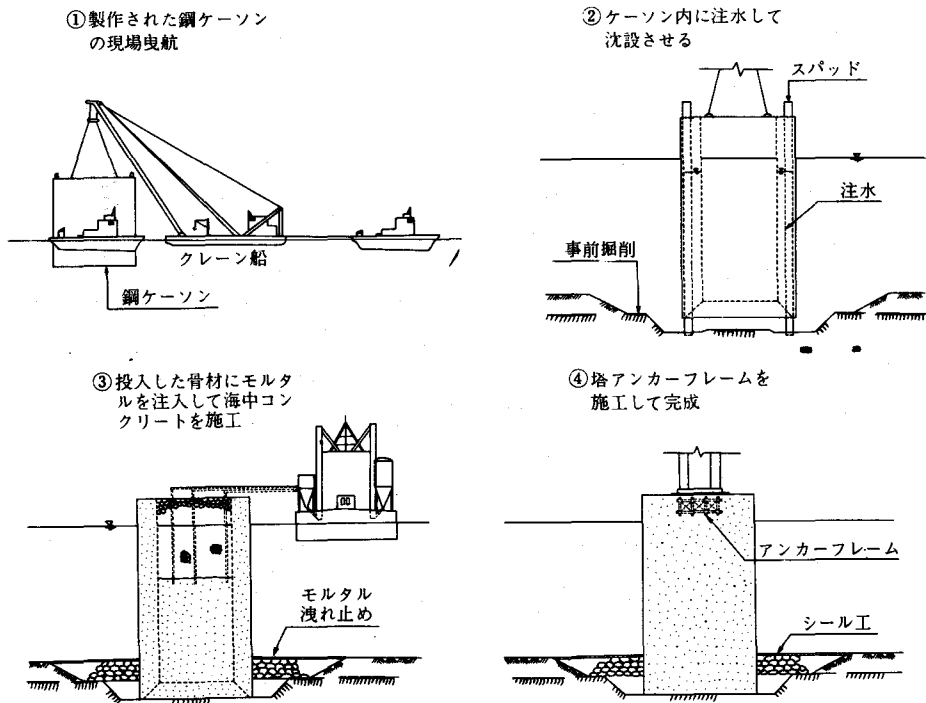


図-13 設置ケーソン工法

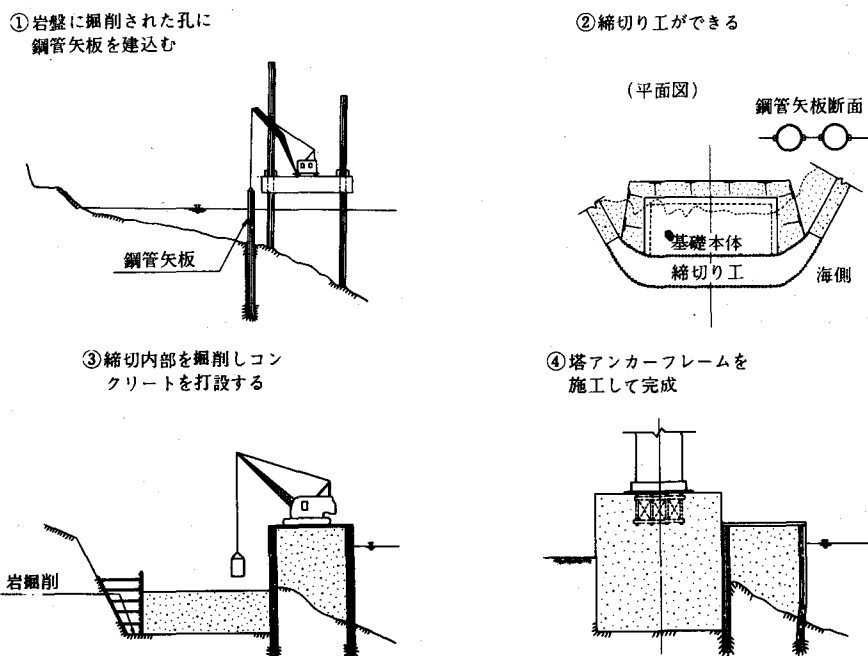


図-14 鋼管矢板締切工法

尾道～今治間については大水深の施工場所はないので締切工法が大巾採用される見込みであり、現場諸条件に応じた各種締切工法が検討対象となる。

工事用足場としては、係留固定したバージ類、打込式あるいは建込式の棧橋型足場、所要の寸法強度に枠組したものを設置して支柱根元を海底地盤に定着させた固定足場、及び移動式の昇降デッキ式足場など数多くのものがあり、使用目的、使用期間、使用場所の水深波浪潮流底質などの諸条件を総合判断して適切なものが選ばれることになる。

The top drawing is a plan view (平面図) of the structure. It shows a rectangular layout with overall dimensions of 10,000 units by 15,000 units. The layout includes a grid of 6 horizontal and 6 vertical sections. Key features include:

- ①: A hatched rectangular area labeled 'シリンダー用アイプレート' (Cylinder use eye plate) and 'ターンバックル用アイプレート' (Turnbuckle use eye plate).
- ②: A circular feature at the bottom center.
- ③: A circular feature at the bottom right corner.
- ④: A circular feature at the top right corner.
- ⑤: A circular feature at the top center.
- ⑥: A circular feature at the top left corner.

 The right side of the plan view shows a cross-section of the structure with diagonal bracing.

The bottom drawing is a side elevation (据付時) showing the structure's profile. It has a total height of 22,000 units. The structure is supported by a foundation with a width of 10,000 units. The elevation shows:

- A vertical dimension of 8,500 units from the base to the start of the main structure.
- A vertical dimension of 8,700 units for the main structure's height.
- A vertical dimension of 4,800 units for the top section's height.
- Horizontal dimensions of 10,000 units for the base and the main structure's width.
- Reference levels: $H.W.L + 3.000$ and $L.W.L \pm 0.000$.

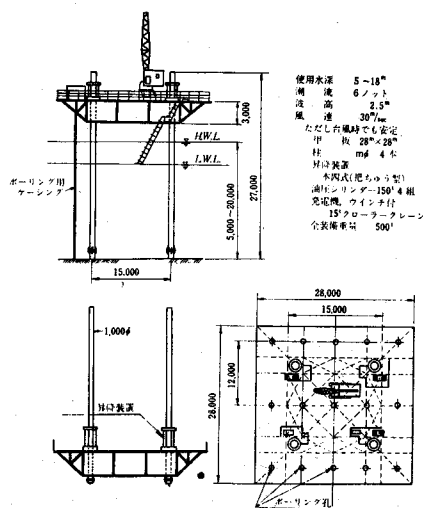


図-16 昇降式ボーリング足場（躍進1号）

本四連絡橋の調査用としても各種の固定足場が水深 5m から 35m の強潮流の場所に設置されており、移動式足場も躍進 1 号・2 号・3 号、創成 1 号・2 号など 5 型式のものが製作されている。その諸元の一部を紹介すると躍進 1 号は、

甲板 28.0m×28.0m, 高さ 3m, 吃水 1.55m, 脚 $\phi 1m \times 27m \times 4$ 本

ボーリング用孔 15ヶ所, 総重量 515t

昇降装置 本四式 油圧ジャッキ 150t 4組

ジーゼルエンジン 85ps 1台

発動発電機 18KVA 1台

クローラークレーン 15t吊 1台

アンカー用ウインチ 9.5t 4台

積載荷重 40t

設計波高 5.5m, 潮流 6ノット, 風速 60m/sec

また現在明石海峡主塔基礎地区のボーリング調査に使用している創造 2 号は強制半潜水式で、

甲板 43m×43m, 高さ 15.15m

上部コラム $\phi 4.5m \times 8m$ 4組

下部コラム $\phi 12m \times 4.5m$ 4組

作業時吃水 4m, 総重量 2,000t

主発電機 80ps 1基

ウインドラス 300t ($\phi 95$ 特殊チェーン用) 8台

沈錘 75t 巻揚・ストッパー共 4組

25t吊 クローラークレーン 1台

ボーリング用 特殊ケーシング 5組

他に 300t アンカー 8組

最大波高 7m, 潮流 8ノット

風速 60m/sec

このような足場や浮標などを海上に固定するにはまずアンカーが必要になる。昭和39年以来各種アンカーについて大規模な実験研究を行なってきた。アンカーを大別すると錨のように投設するものと海底にくいを打ち込んだり、海底を削孔してチェーンなどを挿入し、モルタルなどで固定する埋設式のものに分けられる。架橋工事予定地域の大部分は砂・砂礫・岩で港内底質に比べるとはるかに固くて滑り易く把ちゅう効率がきわめて悪い。外国にはショットガン式で海底に打ち込んだり、

ボーリング掘削刃のようなものをそのままにして海底地盤にくさびのように働かせたりする方式のアンカーもあるが、ほとんど引張抵抗力 50t 以下の係船用である。

埋設アンカーについても底質の変化に速応した施工のできる削孔チェーン挿入方式を選んで引張

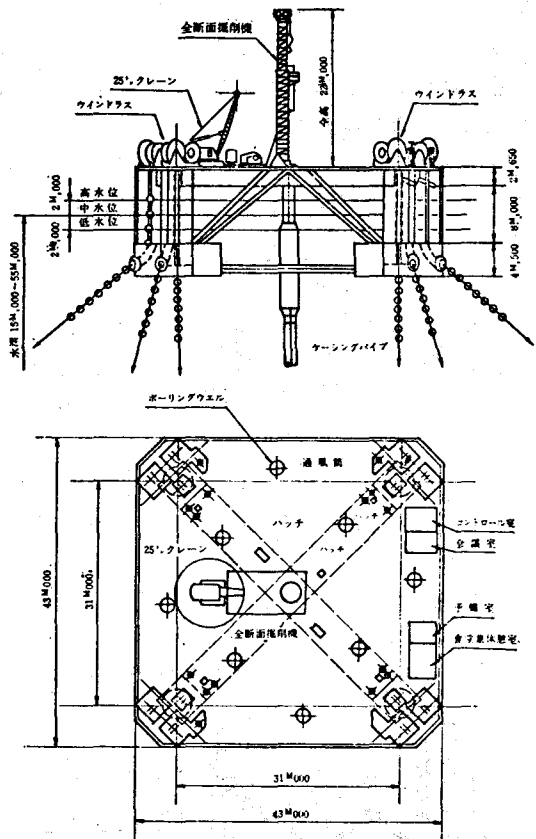


図-17 創造 2 号

抵抗力 50t~1,000t までについて種々の地質の海底で実験を行なって成功してきたが、この施工には足場が必要であるので、300t までは船から投設する方法とし 200t 以上 1,000t までを埋設式を用いる方向で施工法を検討している。

投設するといっても大水深強潮流の海域で 50t 以上のアンカーを打つ仕事はあまり前例がなく意外と厄介な作業である。普通の方法をとれば作業船で 5~10t のアンカーを 4 点打ってこれでクレーン船を係留しながら測量して所要の位置に 30~50t のアンカーを打ってマーカーブイを連結しさらにその周囲にも 4 点程度打つ。次に大型クレーン船をそれらの 30~50t アンカーで固定してマーカーブイを目印として 300t のアンカーを沈める。水深が深いと二 三度補助フックで吊り変えなければならぬので 1,000t 以上の吊能力のクレーン船が必要になる。しかも風や波に左右される仕事なので 300t アンカーを一つ打つのに半月も 1 月もかかることになり足場を固定するような準備作業だけで大変な工期となる。これを打開するために考えたのが無係留アンカー打設法で基準点から正確な位置を求められる装置を備えてしかも操船性のよいタグボートで投錨船を曳航し所定の位置にきた時一気にアンカーを打つ方法である。230t 型を基調とした特殊作業船「いつくしま」を建造し、続いて投錨船「金剛」をつくり、現在実施中の明石海峡ボーリングの準備工で水深 35~60m, 潮流 8 ノットの海域で、浮標用 50t アンカー 8 点、船舶接触防護施設固定用 300t アンカー 4 点、ボーリング足場固定用 300t アンカー 8 点をこの無係留方式で実施し 1~2 点/日の実績をみた。

投錨船「金剛」の主要諸元は、

船長 52m, 船巾 25m,

深さ 4m

ウインドラス 320t (2m/min)

120t (2.9m/min)

トッピング・クレーン

主巻 320t 補巻 75t (5m/min)

1 本吊 5t (30m/min)

アンカー移動台車 300t 用 2 台

油圧ポンプ用ディーゼル 150ps 4 台

発電用ディーゼル 160ps 2 台, 44ps

1 台

また「いつくしま」は、

船長 31.4m, 船巾 8.6m,

深さ 3.5m

総屯数 390t, 950ps 2 基, ダグペラー

主要装備としてレーダ、音響測深儀、電波測距儀、ソナービーコン式測位器、二連式消火銃、スプリンクラー、流出油処理装置、アクアラング用具、5t 吊旋回クレーン、救命索発射銃、膨張式救命筏、各種信号装置などがある。

またこの工事には相当な規模の作業基地港、資材置場が必要になる。

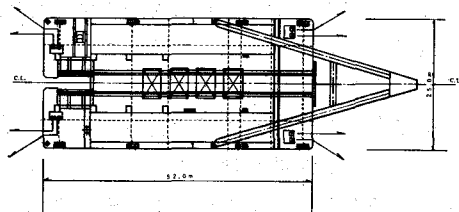
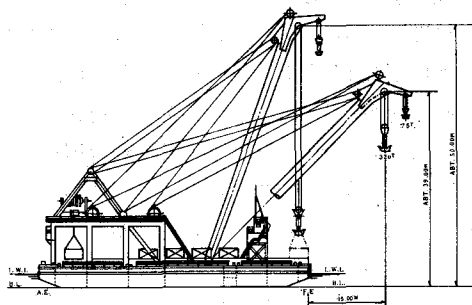


図-18 投 錨 船

4 海底岩掘削

海中基礎工事で質的にも量的にも最も重要な課題は海底岩の掘削であるといつてよい。特に本四架橋の特徴として前述のように硬い地盤を水面下の深いところで掘らなければならないのでおむね次のような経緯で調査実験を進めてきた。

- ① 昭和39年 グラブ類による明石層陸上部実験。
- ② 昭和40年 建設省土木研究所では大口径ロータリー掘削試験機製作明石層・風化花崗岩で陸上実験。
- ③ 昭和41年 $\phi 3.5m$ 重錘式掘削機試作、明石層・風化花崗岩で陸上実験、続いて明石海峡で—45mまで砂礫層・神戸層掘削。
- ④ 昭和42年 高圧ジェット水 ($50\sim 200kg/cm^2$) による水中岩掘削実験、46年には機械試作し風化花崗岩およびモルタルで実験。
- ⑤ 昭和43年 建設省土木研究所大口径ロータリー掘削機 ($\phi 2.5\sim 3.0m$) を設計製作。
- ⑥ 昭和44年～46年 鳴門海峡水深35m和泉砂岩層で $\phi 3.5m$ 重錘式掘削機による削孔実験および $\phi 10m$ 重錘式拡孔機による拡孔実験。

児島沖水深23m風化花崗岩で任意移動ケーシング保持機構を試作し、大口径ロータリー掘削機とマキナントリー掘削機を使用した面掘削実験。

- ⑦ 昭和46年～47年 大三島沖においてエアバブルカーテンを使用した風化花崗岩の海底発破掘削実験。神戸高倉山で削孔、面掘削の総合実験、これには民間の $\phi 3.5m$ 級ロータリー掘削機も借上使用。
- ⑧ 現在 鳴門海峡では新に製作した $\phi 1m$ 級重錘掘削機と借上ロータリー掘削機による迅速削孔実験と $\phi 3.6m$ 級の重錘式と借上ロータリー機による比較実験を行っており、下津井～与島間では巨大型グラブ船などによる海底掘削実験を、そして因島では借上ロータリー機による海底風化花崗岩の $\phi 1m$ 級の急速削孔実験をしており、工事前のつめ作業である。

海底の地形地質は一樣ではなく、風化花崗岩も傾斜したりところどころ堅い質のものが現われたり破碎帯があったりするし、和泉砂岩層は起伏が激しく玉石状の堆積があったりする。したがって陸上実験とは異り最初の2～3mがきわめて厄介で高度な現場ノーハウを必要とし、初めの2mがそれ以深の20mの掘削より手間がかかることもしばしばである。次に問題なのは、土木の仕事の場合の掘削深はせいぜい10～20m程度であり機械的能率を高めようとする余り海上運搬・荷揚・組立・移動・解体などに時間と金がかかるようになると逆にマイナスになるので注意を要する。また海上作業での修理は陸上と違ってきわめて厄介であり大修理となると解体・運搬・組立だけでも1月もかかるようなことになりかねないので、故障を起さないような機械あるいは地質が予想と多少変わっても段取替を必要としないようなものが望ましい。

掘削と表裏をなすものにズリ排出がある。どのようにしてうまくズリを集め早く排出するかが掘削能率を左右する大きな要因である。すなわち再破碎が能率を低下させる。排土方法は水深が大きければエアリフトが最も効果的であるが、機械位置が6～7mで水深も同じ位というのが厄介でサクシオンも効かないしエアリフトも駄目なので、排水口を途中で設けるなどの工夫が必要となる。また水質汚濁が大きい社会問題となっているのでこの対策も大切である。

5 航行安全対策

5-1 航行規制

明石海峡でのボーリング調査でもこれまでに船舶による接触事故が大小二十回程度起きており、これらすべて夜間でしかも潮に乗って航行している場合が圧倒的に多い。海の場合には明確な車線表示があるどころか路面に相当する海面自体が常に不規則に動いておって夜間では流速や流向を適確に知ることは困難である。また船は速度を落すほど舵が効かなくなって潮に流されることになるし、船体がダンプ級の小型のものから船長が300m以上もあるタンカーまで通行しており夜間は暗くて何処までも水平な海上を小さな灯台や浮標あるいは対航船の舷燈を頼りに操船するもので、背後地の市街の光はその障害になるというのが実情で陸上交通の規制のようにはいかない問題である。

工事中には、一般航行船舶についても、また工事に従事する作業用船舶についてもある程度の航行規制は避けられないし、安全を期するための必要条件でもある。しかしながら海上交通の特性からいって、その規制は実状に適合した最も無理のないものでなければ結局は守らない船が多くなりそれだけ事故も発生することになるので、海峡部における航行の実体調査や海上に航行障害物がある場合の操船者の心理的影響や航跡などについて昭和38年以来専門家に依頼して調査を進めてきているが仲々むずかしい課題である。

工事に従事する船舶についてのみ考えても、海上工事現場・作業基地港・時間待仮係留地・避難係留地などを統轄管理する施設と機構があつて航空管制塔の業務のように資材運搬船・作業船などの動きを一般航行船との関連において正しく管制することを考えないと、とんでもない事故が起きるような気がする。

各海峡とも世界に類のないような航行輻輳を示しており実情に合った独自の対策が必要である。

5-2 特殊浮標

適切な航行規制と同時に十分な安全施設がなければ、特に夜間の事故は防止できない。一般的には危険な暗礁や浅瀬を知らせたりする浅い海域での安全航路を示すのに浮標が使用されているが、架橋予定地は潮流の早い狭い海峡部であるため水深の大きい場所で、しかも潮流や波によって移動することの小さい特殊な浮標が要求される。

外洋に設置した浮標もあるが、これらは係留チェーンをゆるくして動揺をある程度自由にしてしているので余り大きい波力が作用しないが、離出距離を小さくするため固定度を高めるほど大きな外力を受けることになり、しかもなるべく傾くことのないようにということで専門家の協力研究の結果、水深30m、風速45mで離出距離40mという特殊浮標を開発し、現在舞子沖で使用当中である。

主材料はアルミ合金で直径5mの円盤状のフロート上に高さ6mのやぐらを設け灯器の他にレーダレフレクタやトランスポンダが取付けてあり、全重量6.8t・浮力21tで50tのシンカーで固定している。チェーンは潮流抵抗が少なく強いものが求められ100kg/cm²鋼を使用した4種ともいふべきものを試作して使用している。

表-3 主要狭水道1日平均船舶通行隻数
(45年)

船種 狭水道	汽 船					旅客船 フェリー 等	漁船	合 計
	500 t 未 満	500 ～3,000	3,000 ～10,000	10,000 t 以 上	計			
明 石 海 峡	隻 1,014	隻 155	隻 27	隻 13	隻 1,209	隻 238	隻 461	隻 1,908
備 後 瀬 戸	911	97	9	2	1,019	365	51	1,435
来 島 海 峡	398	96	8	3	505	175	255	935
浦 賀 水 道	346	258	51	36	691	63	13	767
伊 良 湖 水 道	86	69	27	18	200	32	503	735

資料：「海上保安白書」昭和46年版

5-3 接触防護施設

適切な規制をして公示広告も行ない浮標を設置し警戒指導船を現場に配しても夜間の事故は完全に防止することは期待できない。理由や原因はともかくとして大きな事故の発生は未然に防せなければならない。そこで考えたのが海のガードレールともいうべきもので万一接近してくる船があれば柔らかくこれを押し返して方向を変えてもらう方法である。古船を固定してガードするというのでは航行船の被害も大きく人命や油流出などの二次災害も誘発するので一種のバネ帯で受け止めようという着想である。航行船舶数の90%を占めている1,000t以下を対象として設計試作したものを明石海峡の調査に使用している。その諸元を示すと、

主 プ イ $\phi 10.2m \times$ 高さ $4.8m$ 1基

副 プ イ $\phi 8.5m \times$ 高さ $4.8m$ 2基

ケーブル $\phi 7mm \times 169$ 本 外径 $117mm$

亜鉛メッキの外側ナイロン被覆

ゴムフロート $\phi 2m \times$ 長さ $5m$ 32個

ゴムおよびポリエステルコード, 内圧 $1.5kg/cm^2$

アンカー 300tおよび $\phi 95$ 特殊チェーン4組

緊張装置 20t ウインチとやぐら 3組

300t油圧ジャッキおよびストッパー 2組

工事の際および完成後の橋脚への船舶衝突緩衝装としてさらに改良応用を検討する予定である。

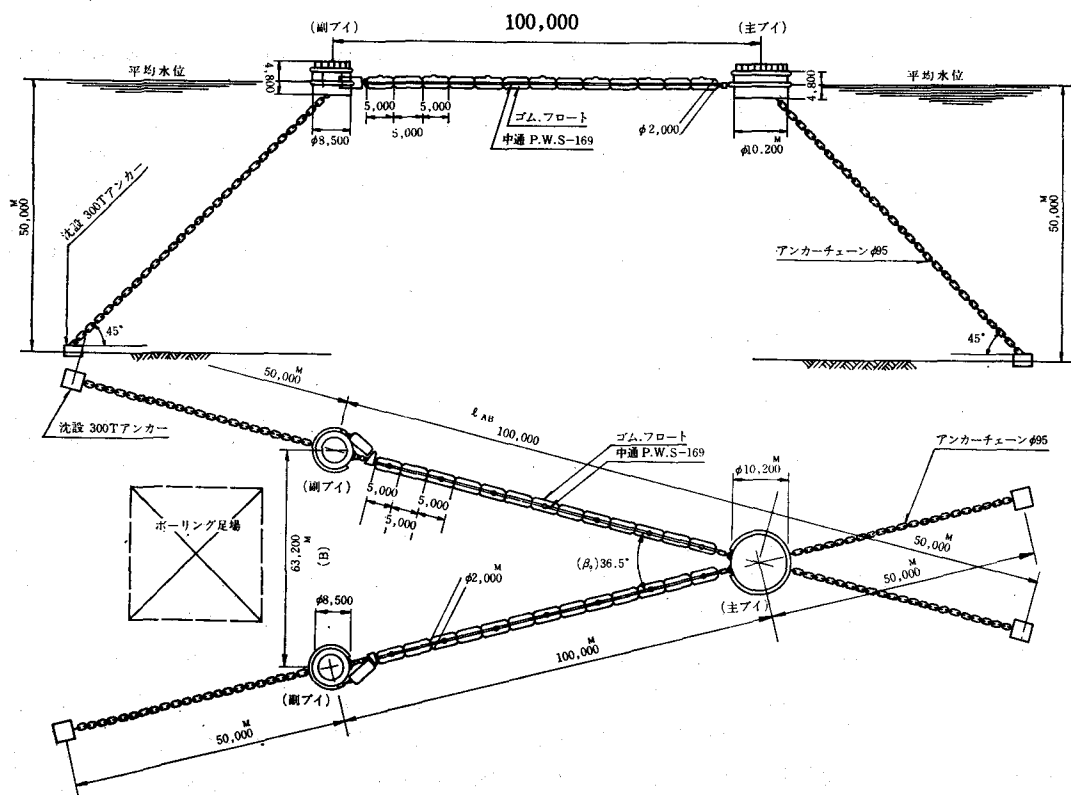


図-19 船舶接触防護施設

技術的に可能ということと企業を対象として請負型式で工事を実施することは同じではなく、未経験な仕事であるだけに工事の様・リスクの分担区分と処理方法あるいは予測が不確実なものをどう扱うかなど問題は多く、実費精算といっても実務上は不可能に近い。またこのような海上作業についてはどの部門をとってみても十分な経験ある技術者や熟練労務者は質的にも量的にも不足でありこれをどう克服しながら工事を進めるかも重要課題である。