

PC海洋構造物の歴史と展望

福手 勤*

1. まえがき

海洋は地球の全表面積の約70%を占めていて、太古の昔より、人類は多くの恩恵を海洋から授かってきた。大航海時代には海洋は未知なる期待を含めた冒険の場であったし、20世紀には交通の場としてのみならず、海底油田の探掘など経済活動の場、また余暇を快適に過ごす場としても脚光を浴びてきた。

一方、コンクリートの分野においては、19世紀半ばに鉄筋コンクリート (RC) 技術が開発され、建設用構造部材としての利用が始まった。さらに19世紀後半にはプレストレストコンクリート (PC) 技術が考案され、いく多の試行錯誤を経て1928年にフレシネーによってほぼ確立されるに至って、コンクリートは鋼材とともに、われわれの生活を支える建設材料としてなくてはならないものとなった。

このように20世紀は、海洋開発とPC技術が融合し、われわれの社会活動を支えることになった時代であったと言える。

本稿では、20世紀における海外とわが国のPC海洋構造物の技術の現状を紹介し、21世紀に向けての展望を述べる。

2. 海洋構造物の特徴^{1)~3)}

これまで世界で建設されたり、実用化が図られている海洋構造物は、おおむね以下のように分類できる。

- ① 石油掘削施設 (石油掘削プラットフォームなど)
- ② 交通施設 (港湾施設, 海上空港, 橋梁, 海底トンネルなど)
- ③ 生産施設および貯蔵施設 (海上プラント, 海上貯蔵施設など)
- ④ 水産関連施設 (水産養殖施設など)
- ⑤ 防災施設 (防潮堤, 防災基地など)
- ⑥ 生活施設 (海上ホテル, 海上アミューズメント施設など)

これら海洋施設は用途、建設場所、気象・海象条件などによりさまざまなサイズのものがあるが、その構造形式か

らは「浮体式」と「着底式」に分けられる。

一方、構造物の設計・施工の立場から、「海洋環境」は以下のように特徴づけることができる。

- ① 陸上に比べて、強大な風荷重、波力、潮流力が作用する。
- ② 構造物には、水深に比例する強大な水圧が作用する。
- ③ 構造物は、海水による劣化作用を受ける。
- ④ 海水の濁りや水深の増加に伴う太陽光量の減少により、視認性が低下する。
- ⑤ 構造物には浮力が作用する。

海洋コンクリート構造物に作用する外力のうち、物理的なものには、風、波浪、潮流、水圧、凍結融解作用、地震時動水圧、船の接岸力、流木・流水などによる衝撃力などがある。また化学的なものには、海水に含まれる硫酸塩や各種塩化物による劣化作用がある。これらのうち、風や波、潮流などの外力は構造物の供用時のみならず、施工時や維持管理を行うときにも作用するため、それらの手順・方法にも大きく影響を及ぼすことになる。

海洋構造物の建設材料として、PCとRCを比較すると、PCは耐荷力に優れるだけでなく、コンクリートに発生しやすい微細なひび割れを閉じる効果があるため、コンクリートの水密性、耐久性などの向上を図ることが可能となる。一方、何らかの原因でPC鋼材の腐食が発生すると、その影響はRCよりも大きいことに注意しなければならない。

施工に関して、海洋コンクリート構造物 (部材) の製作方法は、① 工場製作、② プレキャスト、③ 場所打ち、に大別される。海水に直接触れる場所での型枠や配筋の組立て、コンクリートの打込みなどには種々の制約が伴ったり、施工精度やコンクリートの品質が劣ることがあるため、ドライドックなどを用いて製作したプレキャスト構造物 (部材) を現地へ運搬・設置することが一般的である。構造物・部材の製作場所から設置場所までの運搬にあたっては、浮体としてウェットな状態で曳航するものと、クレーン船や台船を用いてドライな状態で運ぶ場合に分けられる。

3. 代表的なPC海洋構造物^{1), 4)~6)}

3.1 海外の事例

(1) 海底油田掘削用プラットフォーム^{7), 8)}

北海に代表される海底油田掘削用プラットフォームの先鞭は、写真-1に示すような、1971年にノルウェーで建設されたEkofiskプラットフォームである。これは水深70mの海域に設置された重力式の石油掘削用プラットフォームで、100万バレルの原油貯蔵タンクを兼ねた全高90m、外直径92mの円筒状のPCケーソン式構造物である。8万m³の高強度



* Tsutomu FUKUTE
運輸省 港湾技術研究所
構造部長

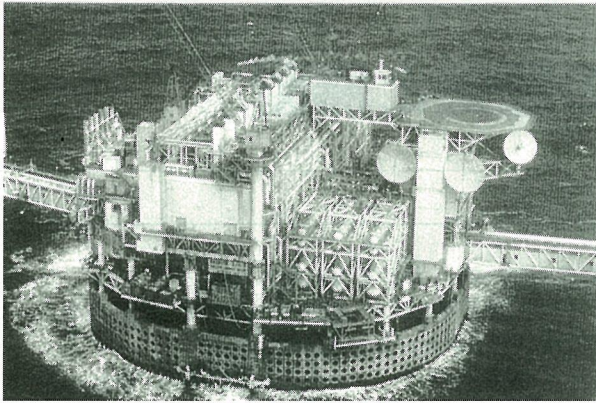


写真-1 Ekofisk プラットフォーム(設置水深：70m)

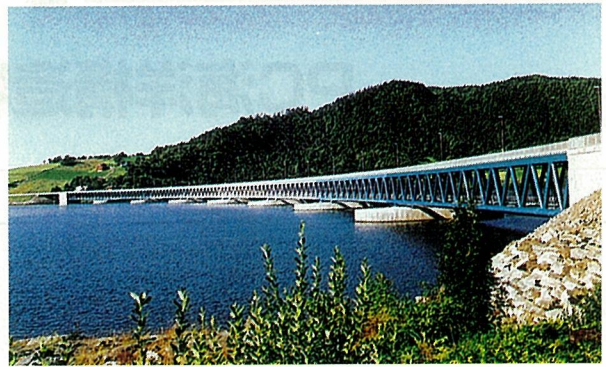


写真-2 ベルグソイスンド浮体橋の外観



(a) Troll プラットフォーム (設置水深：300m)
(b) Heidrun TLP (設置水深：350m)

図-1 海底油田掘削用プラットフォーム

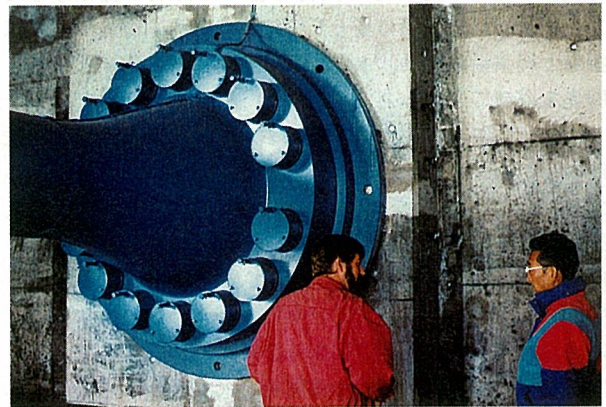


写真-3 ベルグソイスンド浮体橋をアバットに固定するフレキシブルロッド

コンクリート (C45-C50) が使用された。

Ekofisk 以降、石油掘削プラットフォームの設置水深は深くなっている。1980年時点では設置水深は150m程度であったが、1993年に設置された Draugen の設置水深は250m、さらに1995年に設置された Troll (図-1 (a)) は300mに達した。1996年までの約25年間に、27基に及ぶプラットフォームが建設された。これらは厚さ20mに及ぶ軟弱地盤上に建設され、高さ30mの波に耐えるように設計されている。

一方、構造的に見ると、水深が浅い海域では着底式(重力式)構造が優位であるが、水深の増加に伴い浮体式(多くはテンションレグプラットフォーム:TLP)が経済的となってくる。これまでにTLPとして北海の Hutton 油田(設置水深:148m)、メキシコ湾 Jolliet 油田(同:536m)、北海の Snorre 油田(同:310m)などが設置されてきたが、1995年にはメキ

シコ湾の Augur 油田(同:872m)、北海の Heidrun 油田(同:350m)の2基が施工された。Heidrun のTLPは図-1(b)に示すように、掘削設備などを搭載した浮体式プラットフォームと海底に設置したシンカー(固定基礎)とを、鋼製ロッドにテンション(張力)をかけた状態で係留する構造様式である。

また、着定式プラットフォームでは、厳しい施工条件にもかかわらず、±150mmの設置精度が達成されている⁹⁾。

このような海底油田掘削用プラットフォームは、その規模、設置海域の気象・海象条件の厳しさ、施設の社会的重要度などから、20世紀を代表するPC海洋構造物であると言える。これらの中から生まれた技術のブレイクスルーは4章に後述する。

(2) 浮体橋梁(ノルウェー:ベルグソイスンド橋)

ベルグソイスンド橋はノルウェーの西海岸にある幅800mの海峡に、1992年に架けられた橋梁である。建設海域はフィヨルドであるため、海峡の中央部分は300mを超える水深となっている。そのため通常の橋脚の建設には非常にコストがかかることから、浮体橋梁とすることになった。ベルグソイスンド橋は写真-2に示すように、緩やかな美しい曲線的な平面形状を有する鋼製のトラス構造の上部工が、橋脚代わりの7基のPC製ポンツーンで支えられる構造となっている。

ポンツーンは、長径34m、短径20m、高さ6mまたは7mの楕円形である。各ポンツーンはアンカー、係留索などを有せず、無係留状態であるため、潮流や風などから受ける力は上部工を介してその橋軸方向両端部に伝えられ、そのフレキシブルロッドによって写真-3のようにアバットに

固定・支持されている。このフレキシブルロッドは鋼製で、長さ12m、直径540mm、肉厚140mmの中空断面を有していて、軸力、せん断力、上下変位、ねじりには抵抗し、水平および鉛直軸回りの曲げにはヒンジとして働くものである。

ポンツーンのコクリートは、骨材に軽量骨材が使用された設計強度が55MPaの高強度コクリートである。各ポンツーンは水密性が確保された9つの隔室で区分され、たとえば2つの隔室に浸水しても安定性が保たれるように設計されている。また、鉄筋の腐食状況をモニターするために鉄筋の自然電位が測定されていて、腐食が認められた場合には電気防食ができるよう事前準備がされている。さらに事故防止の観点から、現地の気象・海象状況、ポンツーンのハッチの開閉履歴、隔室内の浸水を感知するための装置などが設置され、浮体橋梁の状況のモニタリングがなされている。

ポンツーンはシンキングバージを用いて建造された後、上部工の製作ヤードに曳航された。そこで上部工を取り付けることによって、7基のポンツーンと約840mの上部工が一体化された。その後、全体が一括して架設海域に曳航され、両岸のアバットに接合された。この方法により、建設海域では僅か1日の作業で、幅800mの海峡を橋梁で結ぶことができた。

(3) 浮体橋梁(米国：フッド・カナル橋)^{10), 11)}

米国ワシントン州にはいくつかの浮体橋梁があり、そのうち3本はシアトル郊外のワシントン湖に建設され、またシアトルから40kmほど離れた入江(フッド・カナル)には、写真-4のようなフッド・カナル浮体橋がある。この入江は長さ約90km、幅2km~3kmで、水深は90m以上ある。

初代のフッド・カナル橋は1961年にRC(長さ方向のみPC)の浮体で建造された。全長2396mのうち1972mを占める浮体部分は、標準長さ110mのポンツーンを剛結して建造され、海底に設置されたコクリート製重力式アンカーに鋼ケーブルによって横方向に係留された。道路面は湖面から約6m上にあり、ポンツーンデッキ上に鉄筋コクリート柱で支持されている。

ところが、1979年2月に激しい暴風雨で橋の西半分が水没した。橋梁部で平均36m/s、最大53m/s(再現期間500年)の

風速が記録され、また波高は5mを超えていた。橋梁の破壊と水没の直接的な原因は、

- ① 風や波浪による動的挙動
- ② アンカーの滑り
- ③ ポンツーンデッキ上の冠水
- ④ ポンツーン内への浸水

であるとされた。

道路管理者であるワシントン州運輸局は、ポンツーンが破壊・水没に至った原因を究明した後、新たな条件のもとで新ポンツーンを設計・施工した。それらと被災を免れた東半分と連結して、新たな橋梁は1982年10月に再開通した。

新橋は旧橋に比べ、以下の点に改良が加えられた。

- ① 通常の暴風状態で十分な性能を有すること
- ② 通常の暴風状態で快適に通行できること
- ③ 重大な損傷なしに、極度の暴風状態に安全に耐えること
- ④ 進行性破壊に対して安全であること
- ⑤ 最小限のメンテナンスでよいこと

新しいポンツーンは図-2のような断面を有し、長さ110m、幅18m、喫水は3.6mで、PC製である。各ポンツーンは幅6m、長さ9mの小さな防水性隔室に分けられている。

アンカーは、直径14m、高さ9mのRC製で、バラストを含む水中重量は680t~1360tであり、ポンツーンとの間は電気防食を施したストランドで連結されている。

コクリートは45MPaの28日強度で、セメントはType II(中庸熱セメント)、Type III(早強セメント)が用いられた。高性能減水剤と、セメント量の10%~15%のシリカフュームが用いられ、水セメント比は0.40以下とされた。

ポンツーンの施工法は以下のとおりであった。まず、高さ方向にPC緊張したI型またはC型のプレキャスト部材を製作し、現場打ちコクリートを介して組み立てた後、橋軸方向、橋軸直角方向にポストテンション方式でプレストレスの導入を行った。完成したポンツーンは順次曳航され、現場で連結された。

3.2 国内の事例

残念ながら、わが国には本格的なPC海洋構造物の実例は少ないが、以下のように技術的に進んだものも存在する。

(1) 石油掘削用複合リグ(Super CIDS)¹²⁾

Super CIDSは1984年にわが国で建設され、北極海まで曳



写真-4 フッド・カナル浮体橋の外観

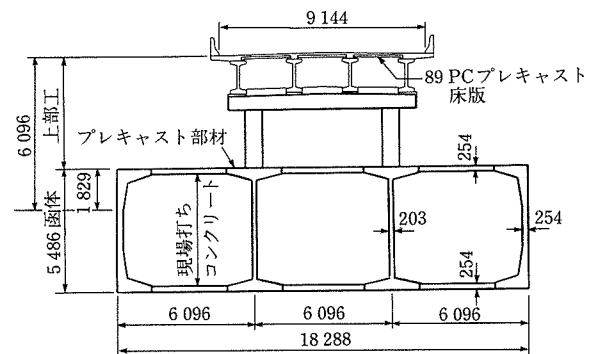


図-2 フッド・カナル浮体橋の断面

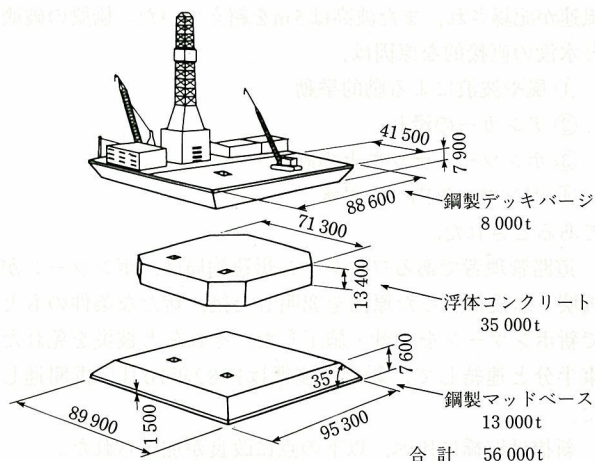


図-3 Super CIDSの構造

航され設置された本格的なPC海洋構造物である。これは図-3に示すような、鋼製マッドベースと鋼製デッキバージに浮体コンクリートが挟まれた形で構成される構造物である。縦・横71.3m、高さ13.4mの浮体コンクリート部は水圧や波浪に耐え得るよう底版、外壁、せん断壁などから構成され、また軽量化を図るために内部はハニカム構造となっている。コンクリートにシリカフェームと軽量骨材が使用されたほか、耐久性、凍結融解、喫水確保のための質量管理など、厳格な品質管理がなされ、3.1(1)に述べたその時代の北海でのプラットフォームと比較して、規模、技術レベルともに遜色のないものであった。

ちなみに、設計には風速(36 m/s)、波高(5 m)、潮流速(7 km/h)、氷厚(0 m~2 m)などが考慮され、コンクリートの仕様として単位容積質量(軽量コンクリート:1.84 t/m³以下、普通コンクリート:2.48 t/m³以下)、56日設計基準強度(軽量コンクリート:457 kgf/cm²、普通コンクリート:562 kgf/cm²)、気泡間隔係数(250 μm以下)、凍結融解耐久性指数(ASTM C666 A法、300サイクルで80%以上)などが設定された。

(2) 六角形浮体構造物 (Hexagonal Marine Structure: HMS)¹³⁾

HMSは、6面の台形ポンツーンを海面で平面的に六角形になるよう接合して建造する浮体構造物である。わが国で開発され、これまでにいくつかの実績があるが、1989年の横浜博覧会に「海のパビリオン」として出展されたものが著名である。

横浜博覧会の事例では、1面の台形ポンツーンの平面図における長辺の長さ20 m、短辺の長さ13 m、高さ6 mであった。またポンツーンの水深方向の高さは5 mであり、完成時の喫水は3.8 mであった。

ポンツーンは軸方向にポストテンションでプレストレスを与えると同時に、6面の浮体の結合にもPC鋼棒を用いた緊張方式が採用された。

HMSには以下のような特長がある。

- ① 一般的な矩形の浮体と違って、台形の浮体で囲まれた内水面が確保できるので、「親水機能空間」が創造できる。



写真-5 HMSによる「海のパビリオン」

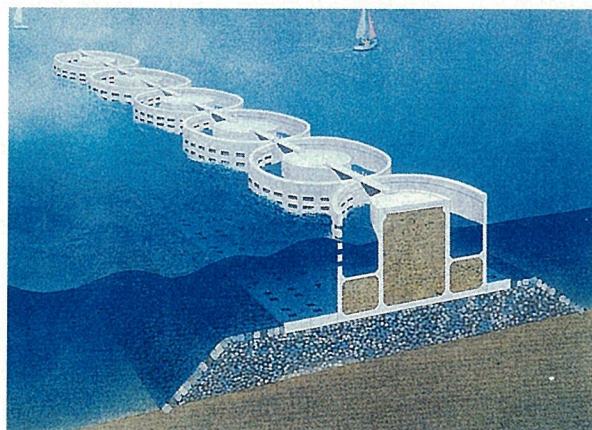


図-4 二重円筒ケーソン式防波堤の概念図

- ② 六角形ユニットのレイアウトの自由度が大きく、汎用性がある。
- ③ 解体、再結合することにより再利用が可能である。
- ④ 各ポンツーンはそれほど大きくないため、大型の製作ヤードや施工機械が不要である。
- ⑤ ドーナツタイプであるため、あらゆる方向からの波に対して安定性が高いとともに、重量が大きいため航跡波などの短周期の波の影響をほとんど受けない。

横浜博覧会の「海のパビリオン」では、写真-5に示すように、ポンツーンの外側には大型の帆船が係留されて人気を集め、また内水面ではイルカショーなどが催され、多くの人でにぎわった。このようにHMSは今後の沿岸域のアメニティ向上に大きく寄与するものと思われる。

(3) 二重円筒ケーソン式防波堤¹⁴⁾

二重円筒ケーソンは、図-4に示すような、二重の円筒壁および底版、中間床版、隔壁などで構成された消波ケーソンである。波浪の大きい海域でも構造的に安定で、外壁に設けられた開口部から波浪の一部を透過させて、内壁との間の空間で消波を図る構造で、従来の消波ブロック被覆式の防波堤に比較し、軽量で経済的である。

本形式の防波堤は、これまでに境港、紀伊長島港、柴山港で建設された。このうち境港で建設されたものは、直径16.2 m、高さ10.4 m、壁厚0.4 mで、ケーソンの質量は1500 tである。

設計には限界状態設計法が採用された。終局限界は50年確率波(波高7.9m, 周期10.5秒)で, また使用限界は1年確率波(波高3.8m, 周期7.4秒)で設計された。円筒壁においては, 鉛直方向には26mmPC鋼棒により, また円周方向には21.8mmのストランドにより, プレストレスが導入された。

なお本構造は1994年のFIP Awardを受賞している。

4. PC海洋構造物におけるブレイクスルー^{7), 15)}

20世紀を代表するPC海洋構造物は, 3.1で紹介した石油掘削用プラットフォームである。構造物の設置水深が次第に深くなり, 過酷な外力条件となるに従い, 多くの技術的な課題が克服されなくてはならなかった。また数度のオイルショックによる原油価格の高騰と下落によって, プラットフォームの建設費に対する要請も時とともに変化した。

とくに1986年に原油価格の暴落があって, 石油掘削にも影響を及ぼすようになり, 以下の項目に関する技術開発が要請された。

- ① 初期コストの低減
- ② 投資から石油・ガスの生産までの期間の短縮
- ③ プラットフォームの移設, 再利用の可能性

このような要請に応えるため, PC技術においていくつかのブレイクスルーがあった。

4.1 コンクリート材料のブレイクスルー

以上の要請に応えるため, 構造物の小型化, 軽量化が必要となった。そのためにはコンクリートの材料面からは, 強度, 密度, 弾性係数, じん性などが重要であり, 中でも強度, 密度は設計断面に大きな影響を及ぼす。そのため, コンクリートの高強度化, 軽量化が技術開発の流れとなった。

図-5¹⁵⁾は, 自重, 上載荷重を考慮したプラットフォームが, 浮体として建設海域に曳航され, しかも設置後に水圧に耐えられるといった条件で, コンクリート強度, 密度, 水深と必要コンクリート容積の関係を図示したものである。これから, 水深が小さいところでは強度の影響は小さいが, 水深が大きくなるとコンクリート強度を大きくすることが不可欠であることが分かる。また浮体として曳航可

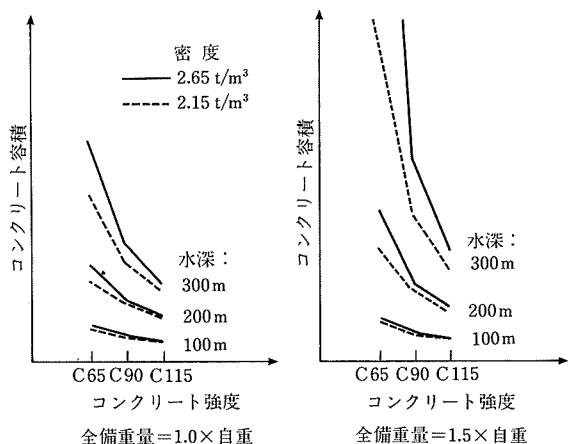


図-5 PC浮体の水深別必要コンクリート容積に及ぼすコンクリート強度と密度の影響

能な重量が, 構造物自体の重量となってしまう, それ以上の荷重を載せられなくなってしまう水深が存在する。換言すると, 強度が一定であれば, 水深が増大すると水圧に耐え得るように壁厚を増大せねばならず, そうすると自重が増え, 水に浮くことができなくなってしまう結果, 構造物が成立しなくなる水深が存在する。このために, コンクリートの高強度化と軽量化が必要不可欠となったのである。

一方, 高強度軽量コンクリートの適用性に関しては, 以下のような制約も指摘された。

- ① 水理学的安定性確保の観点から, 下部工への軽量コンクリートの使用には限界がある。
- ② 大水深構造物では動的安定性が重要であるが, 弾性係数の伸びは強度に比例せず, とくに軽量コンクリートではその傾向が強いため, 高強度軽量コンクリートの適用にも限界がある。
- ③ 部材の厚さが耐荷性能ではなく, 鉄筋や緊張材の配置間隔から決まることがあって, 高強度のメリットが生かせない場合もある。
- ④ コンクリートの押抜きせん断強度は, 圧縮強度ほどは増加しない。海面付近では船舶や流氷の衝突から部材厚が決まることが多く, 高強度コンクリートのメリットを生かしにくい場合もある。

しかしながら, 大水深下でPC海洋構造物を経済的に採用していくためには, 高強度・軽量コンクリートの採用が必要なのは確かで, そのメリットとして, 以下の試算が紹介されている¹⁵⁾。

スリップフォームを使用する箇所はC90(注:立方体強度:90MPa), それ以外の場所にC80の高強度コンクリートを採用することによりコンクリートの全容積を28万5000m³とすることができ, すべての場所をC65で施工する場合の全容積である33万5000m³よりも減少できた。

また他の例では, C60を用いた場合22万5000m³のコンクリート使用量であったのが, 強度を20%増大させることにより, コンクリート使用量を17万m³にまで減少でき, その結果, 工期を8ヵ月短縮できかなりの経費節減が可能であった。

さらに, 強度, 密度以外にコンクリートのワーカビリティも非常に重要である。大型のプラットフォームでは鋼材量が300kg/m³~500kg/m³, 場所によっては800kg/m³~1200kg/m³と極めて多かったため, また200m以上の高さまで安定した状態でコンクリートをポンプ圧送しなければならなかったため, スランブは250mm程度にまで大きくした。またとくに過密に配置された部分では, 骨材最大粒径を20mmから16mm~11mmと小さくした。

このようなコンクリート材料への要請に対し, 以下のような対応がなされた。

- ① 普通ポルトランドセメントの代わりに中庸熱・高強度セメントを用いるようになったこと
- ② フレッシュコンクリートの安定性改善と高強度化・高耐久性化を図るためにシリカフェームを利用したこと

③ コンクリート用化学混和剤が、リグニン系減水剤からナフタリン系、メラミン系の高性能減水剤に進歩することにより、低 W/C でワーカビリティの良いコンクリートの製造が可能となったこと

さらには、完全な配合記録装置を備えた高速・高精度練混ぜ装置の開発など、練混ぜ装置・手順の改良も、その後のコンクリート技術の進展に大きく寄与している。

ノルウェーにおける石油掘削用プラットフォームのコンクリート材料の歴史的推移は表-1⁸⁾に示すとおりである。混和材としてシリカフェウム、化学混和剤として高性能減水剤、また骨材としては軽量骨材が使用されるなど、コンクリートとして次第に高品質化・高性能化していることが分かる。

4.2 施工のブレークスルー

材料だけでなく、施工面においてもいくつかの最新の技術が導入され、プラットフォームの製作コスト、建設コストの低減に大きく寄与している。

(1) スリップフォーム

本格的なスリップフォーム工法の導入により、工期の短縮、経済化が可能となった。1984年に、鉛直軸に対し傾斜した円筒状コンクリート構造物 (Condeep T300の脚) へのスリップフォーム工法の適用試験を行い、脚の径と壁厚を変化させながら使用できることが分かった。これにより、コンクリート工事に要する工期が短縮できるだけでなく、プラットフォームにおけるコンクリート構造物本体の自重を軽減し、それに応じて現場への曳航中のプラットフォームの積載容量を1万5000tから5万tへ増大することが可能となった。

(2) 大型クレーン船

PCプラットフォームの施工手順は、まずセルなどの下部をドライドックで建設後、一度進水させて湾内の深い場所に曳航し、仮置きする。そこでシャフトなどの上部工を建

設した後、再度浮上させ建設現場へ曳航して設置するというのが一般的である。

以前は、大きな質量を有するモジュール (各種オペレーション装置、居住区、ヘリポートなどの集合体) のプラットフォームへの搭載は、設置現場に曳航する前に、静穏な仮置き場所のプラットフォーム上で組み立てる方法で行われた。この場合、仮置き場所から設置海域まではフル装備の状態では曳航されるため、曳航時の安全性や浮力の確保など、技術的、経済的に問題が多かった。しかしながら、1980年代に大型クレーン船が開発され、大きな吊り能力が期待できるようになった。その結果、プラットフォーム本体とは別に、モジュールを内湾で組み立てた後にクレーン船で運搬し、すでに沖合の建設場所に設置されているプラットフォームの上部に一括して取り付けて、経済性を追求することが可能となった。

5. 21世紀への展望 —あとがきにかえて—

これまでの20年以上の北海の海底油田掘削用プラットフォームの実績では、W/Cが0.45以下でも塩化物イオンは浸透するものの、これまでに顕著な鉄筋腐食は見つかっていない⁷⁾。またEkofiskプラットフォームの干満帯での16年間の調査から、鉄筋のかぶりである6cm部分の塩分量は無視できる量であった⁷⁾。さらに設計耐用年数20年で設計された構造物の実態調査の結果、建設後60年までは使用可能であることが分かった⁷⁾。

わが国でも3.2に示した事例以外に、阪神淡路大震災後の港湾施設の復旧工事にPCプレキャスト部材が数多く採用された¹⁶⁾のをはじめ、ここ1年~2年の間にコンクリートや鋼およびそれらの合成構造形式で浮体式防災基地¹⁷⁾、浮体式橋梁¹⁸⁾が建設されるなど、新形式の海洋構造物の実績も少しずつではあるが増えてきている。また1995年からは、超大型浮体構造物の設計、建造、運搬、結合、維持管理、利

表-1 北海油田掘削用プラットフォーム用コンクリートの変遷

コンクリートの配合	1971	1993~1994		
	Ekofisk	Troll A 普通コンクリート	Troll A 軽量コンクリート	Heidrun TLP 軽量コンクリート
セメント OPC 高強度セメント	450 —	— 420	— 420	— 420
シリカフェウムスラリー	—	16	40	40
細骨材	0mm~3mm	—	—	700
	0mm~5mm	—	890	—
	0mm~10mm	900	—	—
粗骨材	5mm~16mm	—	970	465
	16mm~32mm	900	—	—
軽量骨材	4mm~8mm	—	—	—
	8mm~16mm	—	—	325
	4mm~12mm	—	—	265
リグニン系減水剤	2~6	—	—	—
高性能減水剤	—	6~7	6~8	7~8
AE剤	0~0.1	—	0.2~0.3	0.2~0.3
水結合材比 W/(C+S)	0.38~0.40	0.38	0.37	0.36
スランブ (mm)	80~100	250	230~250	220~250
密度 (kg/m ³)	2420	2450	2250	1940
28日強度 (MPa)	54	87	86	78
標準偏差 (MPa)	4.8	3.9	4.6	4.2
基準強度 (Mpa)	47	82	80	71

用方法などに関するメガフロート技術研究が進み、浮体式空港が実用化する技術的な目処がきつつある^{19), 20)}。

一方、3.1で紹介したように、供用中の海洋構造物が破壊、水没するとその被害は、一般の陸上構造物とは比較にならないほど甚大なものとなる。大きな外力の発生確率の評価、また、いったん事故が起きても致命的な事故にならないような設計体系の整備、リスク管理などが必要となる。

最新のPC海洋構造物は、有限要素解析による構造設計、地盤工学、流体力学、海洋工学、環境、生態、コンクリート製造技術、施工技術、品質管理、維持管理、プロジェクトマネジメント等、多くの分野のシステムティックな協力のもとに遂行される総合技術である。

いよいよ21世紀を迎えるにあたり、人口の集積が飽和状態になりつつあるわが国の沿岸域都市圏の社会基盤施設の整備においては、合意形成、利害者間の利害調整等に多大の時間と労力が必要とされ、かつ周辺環境との調和がこれまで以上に求められるようになる。そのために、今後のわが国の活動空間は、沿岸域さらにはその沖合の比較的自由度の高い海域・海洋へと展開されることが予想される。

これまでに確立された技術をもとに、今後さらに優れた技術の開発が進み、それらがトータル技術として融合することによって、「海洋国家 日本」に相応しいPC海洋構造物が実現することが期待される。

参 考 文 献

- 1) 渡辺：最近の海洋PC構造物の動向と将来技術の展望、プレストレストコンクリート、Vol.38, No.6, pp.79~87, 1996
- 2) 福手、横田：未来の海洋構造物のための材料・工法、コンクリート工学、Vol.31, No.11, pp.63~68, 1993.11
- 3) 日本コンクリート工学協会(編)：コンクリート便覧[第2版]、技報堂出版、pp.505~509, 1996.2
- 4) 上田：コンクリート浮体構造物の現状、コンクリート工学、

- Vol.33, No.6, pp.5~13, 1995.6
- 5) 鈴木：海洋構造物委員会活動総括とPC海洋構造物の現状報告、プレストレストコンクリート、Vol.41, No.3, pp.62~68, 1999.5
- 6) 最新コンクリート工事ハンドブック、建設産業調査会、pp.876~908, 1996.8
- 7) Moksnes : North Sea oil and gas production platforms-reflections on 15 years' experience, with special emphasis in post-tensioning and quality assurance aspects, FIP Notes 1989/3, pp.22~25, 1989
- 8) Moksnes, Sandvik : Offshore Concrete in the North Sea - A review of 25 Years Continuous Development and Practice in the Concrete Technology, Odd E. Gjorv Symposium on Concrete for Marine Structures, pp.1~22, 1996.8
- 9) Moksnes, Hoff, Gudmestad, Hjeld : Concrete Platforms : History, Technological Breakthroughs, and Future, Proceedings of Offshore Technology Conference, pp.953~966, 1994
- 10) Lwin : Floating Bridges in the United States, Proc. of International Symposium on Floating Structures in Coastal Zone, pp.56~73, 1994.11
- 11) Lwin : Design and Construction of the Hood Canal Floating Bridge, Proc. of International Symposium on Floating Structures in Coastal Zone, pp.442~453, 1994.11
- 12) 大野、鈴木、丹羽、井畔：北極海向け移動式石油掘削人工島の建設—コンクリート構造部に関して—、土木学会論文集、No.354/V-2, pp.43~52, 1985.2
- 13) 横田、恋塚：PCポンツーンを用いた六角形浮体構造物の開発、プレストレストコンクリート、Vol.33, No.3, pp.38~46, 1991
- 14) Kiyomiya, Yamada : New Development of PC for Marine Structures in Japan, FIP Symposium '93 in Kyoto, pp.401~408, 1993.10
- 15) Jakobsen, Eikenes, Olsen : Recent Development and Potential for High Strength Offshore Concrete Platform, FIP Notes 1988/1, pp.9~13, 1988
- 16) 日本コンクリート工学協会(編)：コンクリート構造物の震災復旧・耐震補強技術と事例、日本コンクリート工学協会、pp.609~615, 1998.8
- 17) 小泉：浮体式防災基地の建設、日本造船学会誌、No.844, pp.20~22, 1999.10
- 18) スムアップ 旋回式の浮体橋を初めて採用、日経コンストラクション、pp.30~34, 2000.8.11
- 19) マリンフロート推進機構 編：大規模浮体構造物、鹿島出版会、p.172, 2000.6
- 20) 鹿籠：メガフロート(浮体空港モデル)の研究開発の概要、海技協会報、日本海上起重技術協会、pp.23~25, 2000.7

【2000年9月8日受付】