

## 基調講演概要報告 1 北極海における最近のプロジェクトの紹介

講演者：Jan Moksnes  
(FIP会長)

編集委員会海外部会

### 1. 概 要

北極海での石油、天然ガス採掘事業において、ここ 29 年間に 25 基の大型コンクリート構造物が建設されてきた。これらの構造物は、北極海での厳しい環境条件のなかで、水深 45 m～350 m に及んでいる。施工に際しては、広範囲にわたるプレストレッシングが利用されるとともに、超高強度・ハイパフォーマンスコンクリートが用いられ、その構造物の施工実績は、十分に満足いくものになっている。

### 2. 経 緯

1960 年代後半に、北極海に石油と天然ガスが発見されてから大規模な掘削、生産計画が開始された。そこで、水深 350 m またはそれ以上、波高 30 m、気温は氷点下さらに地震といった北極海の厳しい環境条件のなかで精製設備の需要が高まった。

1971 年、北極海のノルウェー地区エコフィスクにおいて水深 70 m の位置にコンクリート構造物が初めて大規模に石油、天然ガス採掘事業に導入されることになった。エコフィスクのケーソンは、構造物の設計規準の確立、材料強度、施工技术、海上操業技術、システムエンジニアリング、データ処理等、さまざまな分野で技術の進歩、発展のために先駆的な構造物となった。FIP は、この新産業分野におけるプレストレストコンクリート構造物の可能性を迅速に注目し、委員会を設立した。その報告書は、“コンクリート海洋構造物の設計・施工に関する指針”として 1973 年に初版が出版された。その後、この報告書は改訂・更新され、国際的な専門機関の積み重なる活動によってさらに充実し、技術の進歩に関する事例も盛り込んでいる。

エコフィスクのケーソン施工以後、25 基の大規模構造物が水深 45 m～350 m の北極海に建設された。プラットフォームには、累計で 2 500 000 m<sup>3</sup> の高強度、ハイパフォーマンスコンクリートが用いられ、長期的

なコンクリートパフォーマンスに関して、高い信頼性をもたらした。

今日、これらの海洋構造物に対する設計規準、施工条件等は良く知られているが、試験や施工実績によっても検証され、受け入れられている。しかし、1991 年にデッキ施工中に起きたスライプナープラットフォームの事故は、すべての構造詳細に対し警告と注意を喚起することになった。

### 3. 北極海のコンクリートプラットフォームの種類

北極海のコンクリートプラットフォームのタイプは、ほとんどが海底面に着底したケーソンと、海面上で鋼製のデッキと結合した重力式基礎形式 (GBS-Gravity Base-System) である。施工方法は、部分的にドライドックで施工した後、洋上に引き出してデッキを支えるタワーの部分と鋼製デッキの施工が行われる。大規模なスリップフォーム工法を採用しているため、変化する形状に対しても施工精度を確保しつつ、エレガントな施工が可能となっている。鋼製デッキの重量は、50 000 t に及ぶため、海上部を 6 m 程度残すまで海水を注入してコンクリートプラットフォームを沈め、鋼製デッキの制作の進行に伴って排水する。

#### スライプナー A

1989 年に施工開始したが、1991 年 8 月の深海域における鋼製デッキの施工中に事故が発生し、下部構造が消失した。事故の原因が究明された後、企業者の要請により、20 か月以内に水深 82.5 m の地点にコンクリートプラットフォームを建設することになり、1991 年 6 月に完成した。

#### ドラゴン

ドラゴンは 1 本タワーのコンクリートプラットフォームで、1989 年 9 月に施工契約が行われ、1993 年 3 月、800 km の曳航を終了して水深 251 m の地点に設置された。

#### トロールガス

トロールガスのコンクリートプラットフォームの高さはこれまでの記録を破る 370 m である。曳航時のモーメントを低減するために、シャフトの中間部にこれを互いに結合するブレースとフレキシブルジョイントを備えている。基礎部は高さ 35 m のスカート部で、19 個のセルから構成される。

#### ハイドラン

ハイドランは世界で初めて海底からのケーブルを用いたコンクリートプラットフォームであり、1991 年 12 月に施工契約が行われた。ケーブルを利用することによって、コンクリートプラットフォームの大きさを小さくすることが可能であると同時に、ケーブルの長さを調節することによってどのような水深に対しても対応することができる。

### 4. 設 計

コンクリートプラットフォームの設計には、全体をモデル化した FEM 解析が行われる。プログラムは、70 年代後半より改良され解析精度とその能力は飛躍的に向上した。ベルリー A プラットフォーム (1975) での全体 FEM 解析モデルでは、10 万円の連立方程式であったが、グルファックス A モデル (1986) のモデルでは 52 万円へと拡大した。この 2 つのコンクリートプラットフォームに対する主な荷重組み合わせケースは、19 から 56 に増加した。

最近のスライプナー A プラットフォーム (1991) の事故は、全体 FEM による解析結果の評価ミスと壁部の不適切な設計が主原因であった。この事故によって、設計が高度に自動設計システム化される傾向にあるのに対して、注意が必要であることが指摘された。今日でも、経験豊かな技術者と熟練した技術者の監督が大変重要である。

コンクリートの部材厚に対する支配的な荷重条件は、大きな油圧ジャッキを用いたデッキ施工時と操業時の死荷重と波力の組合せである。一般的に、部材の厚さは終局限界状態の検討により決められる。また、プラットフォームの大部分の鉄筋量は、最小鉄筋量の規定と温度

変化を考慮したひびわれ幅の規定により決められる。

### 5. コンクリート

近年、海洋プラットフォームに使用されるコンクリートの基本的な条件が大きく変化している。まず、コンクリート強度の高強度化が挙げられる。典型的な強度は、65~75 MPa (100 mm の立方体強度) であり、特別なケースではトロールガスのように 80 MPa の場合もある。ハイドラムの場合は、LC 60 (立方体強度 60 MN/m<sup>2</sup>) が特記されたが、軽量骨材、シリカフームと高流動化剤を多量に使用することによって、単位重量 1.93 tf/m<sup>3</sup> が達成された。

密に配置された鉄筋や埋設物のある部分に密実なコンクリートを打設するためには、ワーカビリティの向上が重要であり、安定した高い流動性を有するコンクリートが必要となっている。これらの要求される品質を満たすコンクリートの配合設計を実現するためには、以下の点が寄与している。

- 1) セメント品質の向上：高強度で中庸熱特性を有する特殊セメントの開発。
- 2) シリカフームの使用：強度増加、安定で耐久性を与えるため、スラリー状でセメント重量に対して 2~5 % の少量を添加する。
- 3) 混和剤の進歩：70 年代に使用きたリグニン系減水剤がナフサリン系の高流動化剤にとって変わり、低水セメント比で高いワーカビリティを可能にした。

### 6. 実 績

厳しい品質保証プログラムが北極海プラットフォームの設計・施工を通して実施され、得られた品質は広範囲にわたって監視され、かつ記録されている。曳航・設置前の品質検査、供用中の定期的な検査プログラムが実施されており、優れた構造用コンクリートの長期性能が保証されている。また、最近の北極海プラットフォームから抜いたコアの塩分浸透試験によって、鉄筋のかぶり位置ではほとんど無視できる塩分量であることが判明し、十分な耐久性が確保されている。