

海洋構造物に関する研究 (その2)

——外国の海洋構造物の現況——

松石 秀之

井出 和文

(本社海洋開発室)

藤沢 康雄

細野 成一

(本社海洋開発室)

(本社海洋開発室)

Study on Marine Structures (Part 2)

—Present State of Marine Structures in Other Countries—

Hideyuki Matsuishi

Kazufumi Ide

Yasuo Fujisawa

Seiichi Hosono

Abstract

Classifications and definitions of marine structures were given in Part 1 of Study on Marine Structures. This time, the authors introduce a number of examples of marine structures actually built or projected in foreign countries. The problems of structural design and execution of works which remain to be solved are pointed out. A compilation of actual examples of PMNP (Platform-Mounted Nuclear Power Station), concrete oil rigs, offshore oil storage tanks and the design concepts of offshore airports in other countries is presented.

概要

海洋構造物に関する研究(その1)において海洋構造物の定義分類を行った。本論文ではその定義分類に沿って、外国における海洋構造物の実例、並びに計画中の例を紹介し、今後に残された構造設計上及び、施工上の問題を指摘する。実例としては海上原子力発電所、北海の石油リグ、海底貯油タンク等また、計画中の例としては海上空港をとりあげて外国の海洋構造物の現況をとりまとめた。

1. 序

産業活動の場としての海洋空間は陸上立地の困難性、自然条件の制約、環境問題の理由から重要度が増大してきている。又、石油・天然ガス開発にみられるように資源開発も海洋にますます依存していくものと思われる。これらを実現するためにはそれぞれの目的に応じた海洋構造物の建造が必要となる。建造にあたっては多種目的の施設や構造物をその機能等によって集約的にした方が海洋空間の利用上経済的である。

海洋空間の利用としては、海上原子力発電所、海上空港、海中貯油タンク等で、原子力発電所は温廃水の処理対策、環境との調和という観点から海上への移転

が考えられている。空港は海上へ移転することにより、騒音源を隔離しようとするものである。

これら海洋構造物の設計施工をするにおいて自然条件を無視することはできず、十分な検討を加えた設計・施工でなければならない。本文においてはそれら具体的な実例として、海上原子力発電所、コンクリート製大型海洋構造物、計画中の例として海上空港をとりあげて紹介する。

2. 海上原子力発電所

2.1. 原子力発電の需要予測

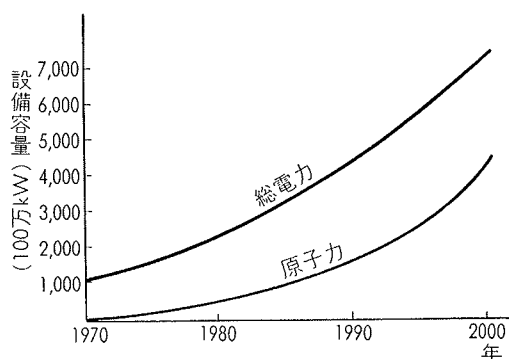
世界の原子力発電の現状は1972年現在、世界で運転されている発電用の原子炉は124基、その総発電出力

国名	運転中のもの	建設、計画中のもの	合計
アメリカ	14,735.5 (30)	128,794.1(132)	143,529.6(162)
イギリス	5,430 (29)	6,462 (11)	11,892 (40)
日本	1,741 (6)	14,321 (19)	16,062 (25)
西ドイツ	2,212.6 (10)	10,840 (13)	13,052.6 (23)
カナダ	2,022.5 (6)	3,522 (5)	5,544.5 (11)
ソ連	2,475 (14)	8,528 (14)	11,003 (28)
フランス	2,700 (10)	3,857 (5)	6,557 (15)
イタリア	554 (3)	840 (3)	1,394 (6)
世界合計	35,381.5(124)	208,342.3(252)	243,723.8(376)

第4回欧米海洋開発鉄鋼事情調査団報告書
S48年9月 (社)鋼材倶楽部

(1972年現在, 単位: 正味100kW)

表一 主要国の原子力発電の開発状況



第4回欧米海洋開発鉄鋼事情調査団報告書
S48年9月 (社)鋼材倶楽部

図一 将来の世界の発電設備

は3580万 kWで建設, 計画中のものを加えると約2億 kWになる。表一に示す。

また2000年度における世界の発電設備の推定は図一の通りで原子力の占める割合が増加していることを示している。

2.2 Atlantic City 沖原子力発電所

この海上原子力発電所は, 1971年プラントメーカーである Westinghouse 社と造船メーカーが合併で, Offshore Power Systems 社 (OPS) を設立し, アメリカニュージャージー州アトランティックシティの沖合 5km, 水深 13.5m に計画しているプラットフォーム搭載型原子力発電所である。

2.2.1. プラットフォーム構造 プラットフォームはバージュ型で, 原子力発電プラントの基礎となるもので底盤と上部デッキをウェブにより格子状に連結したものであり高さは約12mである。上部デッキおよび底板は補強材とガータにより補強されている。隔壁は格子状に配列されて, プラットフォームの強度材となる

と同時にプラットフォームを31区画の水密性コンパートメントに分割し, 万一海水の浸水があった場合でも沈没することのないようにしてある。

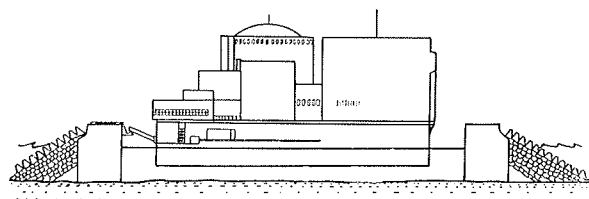
2.2.2. 防波堤 原子発電所は, 四方を防波堤に囲まれる海域に設置するため, 防波堤の設計は重要なものとなる。防波堤の機能としては, 暴風雨により発生する波浪を減少して, 波浪によるプラントの動揺を防止すると同時に船舶との衝突よりプラントを安全に保護するための機能をもたせている。

2.2.3. 防波堤の設計条件

- (1) 防波堤の水面よりの高さは100年に1回発生すると考えられる暴風雨に対して波浪が防波堤を越えないように設計する。
- (2) 防波堤は1万年に1回発生すると考えられる波浪およびサイト附近を航行できる最も大型の船舶との衝突にも耐えることができること。
- (3) 防波堤は1万年に1回発生すると考えられる暴風雨が発生してもプラントを安全に停止できるように設計する。

防波堤は幅24.5mのコンクリートケーソンとケーソンの外側に積み上げた砂・砂利・割石・テトラポッドで構成される。

2.2.4. 問題点 海上原子力発電が将来のエネルギーとして開発されるが, なお多くの問題が残されている。安全性の確保, 環境の保全, 核燃料の安定確保, 放射性廃棄物の処理・処分の問題等があり, これらは原子力発電所の立地の確保の問題につながる。とくに放射線と温排水の問題が重大で, 温排水の問題は原子力発電所が在来の火力発電所より熱効率が悪く, 温排水の量が多いので, 温排水が沿岸漁業に与える影響をはじめとして多くの環境に及ぼす影響を考慮しなければならない。一方, 温排水の排熱を有効に利用できる面もあるので, 温排水問題には総合的な研究, 開発, 対策が行われなければならない。他に陸上までの送電方法, プラントの管理・運営, プラントの安全性の考え方等が重要な問題である。



大型浮遊海洋構造物の調査研究 S.48年3月
(財)日本船用機器開発協会

図二 プラットフォーム搭載型原子力発電所

3. コンクリート製大型海洋構造物

3.1. コンクリート製大型海洋構造物の必要性

コンクリートは海洋環境の中で信頼できる実績をもっている。コンクリート船やバージ、海洋構造物の基礎、海上空港のプラットフォーム等鋼製にかわるものとして数多く出現してきている。海洋石油掘削においては鋼製プラットフォームを海底にパイルで固定するのが普通であったが、水深が増大するにつれてパイル打込作業も限界に達する。これにひきかえコンクリート製プラットフォームは基部の潜函の巨大な自重によって海底に定着させることができるため打込作業が不要となり、基部を貯油の施設にも使用できる点からコンクリート製大型海洋構造物の出現をみている。

3.2. 海中貯油タンクエコフィスク I

エコフィスク油田は、1969年に北海で最初に発見された油田でノルウェーの南西約 300km の北海中央部に位置する。1971年に開始された仮施設による第1段階の生産において、石油の貯蔵はタンカーが使用されている。2隻のタンカーと2つの一点係留式積出しブイが使用され、1隻のタンカーに生産井から原油を積み込む間、もう1隻のタンカーが原油を運搬する方式がとられている。第2段階として、永久施設による生産が計画され、1973年に100万バレルのコンクリー

ト製海中タンクエコフィスク I が設置された。

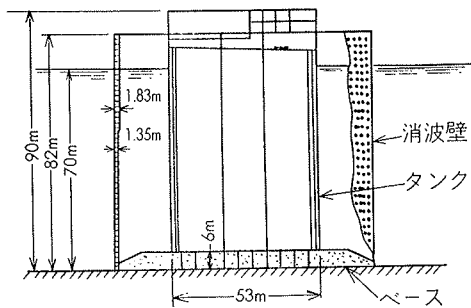
エコフィスク I は重力式の海洋構造物で構造寸法は高さ90m、幅92m、中央部に容量100万バレルのオイルタンクを有し、まわりに穴あき消波壁が設けられている。またタンクの上には、鋼製のデッキが組み立てられ生産活動の場となる。

3.2.1. 躯体構築作業 ノルウェーの西海岸にあるヤッタバンゲンのフィヨルド海岸の一部を利用し、鋼矢板の仮締切を設けてドライドッグを建設し、ダブルデッキ構造のラフト基礎と壁体の一部を含めて、高さ8mまでドライドッグ内で構築する。ドライドッグでの作業が完了すると、ドライドッグ内に注水してオイルタンクを浮上させ、仮締切を撤去して引出し、水深65mの海象条件の緩やかなフィヨルド湾に曳航し、浮上状態でさらにオイルタンクの壁構造、消波壁をなお高く構築する。この場所では水中62m、水面上30m、合計92mのコンクリート部をすべて建造し、その上部構造の鋼デッキまで組み立てる。

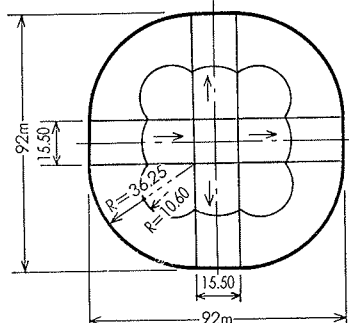
3.3. Condeep Type のプラットフォーム

Condeep Type のプラットフォームは基部に16本の円筒型容器を持ち、別に複数のシリンダーが上方に伸びて鋼製デッキを支えているコンクリート、鋼製の一体のプラットフォームである。Condeep Type のプラットフォームは現在2基ノルウェーにおいて建設中である。

(a) 側面図

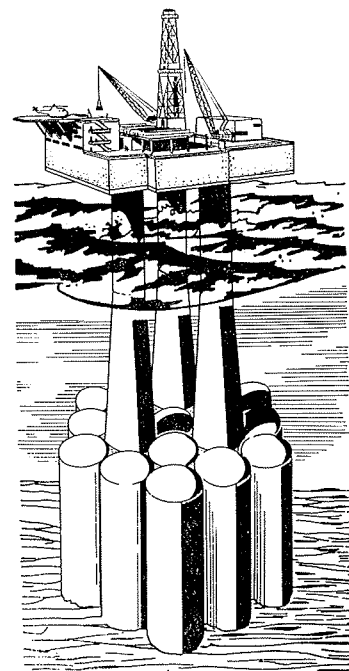


(b) 平面図



海洋開発の現情と展望 S.49年版科学技術庁編

図-3 海中貯油タンクエコフィスク I



Norway Exports Offshore Products and Service 3-74

図-4 Condeep Type プラットフォーム

3.4. 問題点

北海の海底地盤は、大部分が粒径の細い一様な砂層になってるため、洗掘の問題がある。洗掘を防止する方法としては、基礎の下部にスカートを取り付ける方法があり、これは基礎直下の海底地盤のギャップにある水と外海の水との縁を切ることで水の動きを止め、砂の粒子の移動を防止して効果をあげる。他の方法には、構造物周辺の海底地盤上に捨石工を施工して洗掘を防止する方法がある。エコフィスクオイルタンクでは、外壁の周囲に消波壁を海底まで設け洗掘防止を行っている。他の問題点として材料面でのコンクリートの海水侵食、耐海水性セメント、劣化促進等があり、今後これらの研究開発が必要と思われる。

4. 海上空港

4.1. 海上空港の必要性

近年航空輸送は大型化高速化し、輸送量も激増している。しかも航空輸送におけるこのような動向はますます強まる傾向にあって、これらに対処するには量的、質的にもすぐれた空港の整備が必要であり、このための空港用地の確保は今や深刻な問題となっている。更に騒音公害等の環境問題に対する制約がますます厳しくなりつつある社会情勢、および大都市における都市化の進展を考えると、空港用地を陸上に確保することは、現在および将来ともに世界的に見て困難になりつつある。このような航空輸送の増大と空港用地確保の制約という時代の情勢に対処するため、空港建設に伴う不利をおかしても海上への空港建設が指向されている。

4.2. ラガディア空港

4.2.1. 概要 ラガディア空港はニューヨーク市のEast River 河口に面したところにあり、J.F. Kennedy 国際空港、New Ark 空港とともにニューヨ都市圏の三つの主要空港の一つであり、New Ark 空港とともに主として国内線の空港として使用されきた。同空港を引き続きニューヨーク都市圏の主要空港として機能させてゆくには、滑走路施設の能力拡大は不可欠と結論され、海上に滑走路拡張建設が決定された。

4.2.2. 工法の選択 ラガディア空港の場合、新規の建設でなく従来滑走路の延長という制約もあり、埋立法、パイル工法の両工法について(1)環境条件(2)海底の地理的条件(3)工費および工期の面からの比較検討が行なわれ、最終的にパイル工法の採用が決定された。

(1)環境条件の検討と設計条件

ラガディア空港が面する East River は都市排水、工場廃液等のためきわめて汚染度が高いので、「埋立

工法」では干満時の潮流に対する影響度が非常に大きく、このため河川内の汚染がひどくなり、かつ速い潮流により船舶の航行に危険性が生じる恐れがあるのに対し、「パイル工法」ではその影響がないことが指摘された。

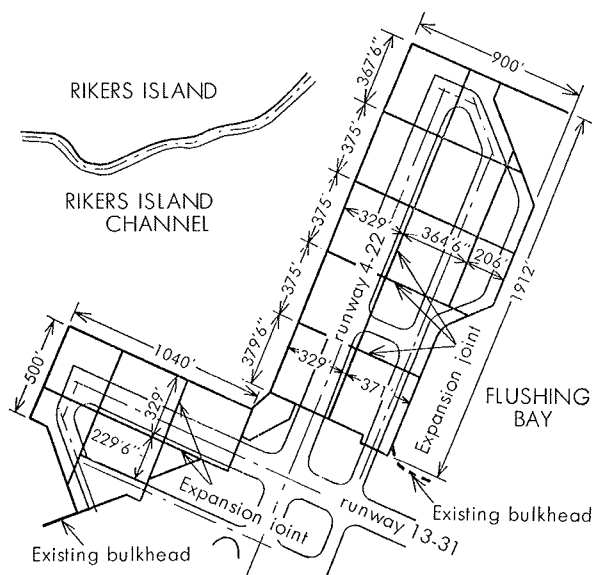
(2)水深、海底土質の検討

現場の最大水深は40フィート程度とあまり深くなく、かつ支持層の基盤岩盤も比較的浅いため、パイル工法に適した条件を備えていると思われる。

4.2.3. 建設工事

(1)滑走路拡張の内容

	従来の長さ	拡張後の全長
滑走路 (4—22)	5000ft	7000ft
滑走路 (13—31)	6000ft	7040ft



第4回欧米海洋開発鉄鋼事情調査団報告書
S48年9月 (社)鋼材倶楽部

図—5 滑走路延長部分

(2)工程

- 1964年3月 (4—22) 滑走路より工事開始
- 1966年2月 (4—22) 滑走路完成
- 1966年11月 (13—31) 滑走路完成
- 1967年1月 全工事完了

(3)パイル設計

パイルリン1万式は垂直パイルおよびバターパイル(傾斜度6:1)を打ち込み、パイル打込間隔は18~33フィートで、打込深さは海面から90~130フィートである。

(4)パイル使用内訳

	垂直パイル	バターパイル	計
滑走路 (4—22)	1880本	278本	2158本
滑走路 (13—31)	672本	242本	914本

計 2552本 520本 3072本

(5)パイル防食

パイル防食はタールエポキシペイント塗装で行ったが耐用年数10年のうち9年経過したが再コートの必要はない。パイルでもっとも腐食しやすい部分は、スブラッシュゾーンであるが、特に強化するような措置は行っていない。

4.2.4. 問題点 ラガディア空港はもともと海を埋立ててつくられた空港であるため埋立部は今でも沈下している。特に滑走路のパイル部分と埋立部分の結合個所の埋立側の沈下がひどく、この部分の補修はかなりのウェイトを占めている。補修にはアスファルトが使用されており、すでにアスファルトの厚さは7～8フィートに達し、このようなことから地盤沈下防止のための地下に水を注入している。

4.3. ニューヨーク新海上空港

ニューヨークにはすでに三つの空港があるが、増大の一途をたどっている航空輸送の将来に対処するには、空港周辺の環境に悪影響を及ぼさず、しかも都市との連絡の便利な空港が必要ということで、海上への新空港建設の構想が起ってきた。

4.3.1. 候補地選定の条件

- (1)空港と都心との距離と交通の便利さ
- (2)陸上に対する騒音の影響問題
- (3)ニューヨーク航路の船舶の航行に対する障害
- (4)埋立または干拓方式を採用した場合の海洋環境に対する影響

4.3.2. 建設工法 可能な工法としては(1)フローティング、(2)パイル、(3)埋立、(4)干拓、(5)Hybrid が考えられる。Hybrid 方式は、フローティング方式とパイル方式を組合せた方式で、プラットフォームは半潜水式フロートの浮力によって支えられ、航空機によって加えられる荷重はパイルに伝えられる方式である。

4.3.3. 環境問題の検討及び問題点

- (1)大気汚染は空港のオペレーションによる大気汚染は、工業地帯や交通の激しいところよりも少なく、海上にあって、しかも海上には風が吹いているのでこの

程度の汚染は問題ないと思われる。

- (2)騒音については分析の結果、陸上に 20NEF 以上の騒音は達しないことが明らかにされた。

5. まとめ

以上海上原子力発電所、コンクリート製大型海洋構造物、海上空港について計画中的のもの施工されたもの問題点等指摘したが、今後大型海洋構造物として、沖合廃棄物処理プラント、海上製油プラント、洋上淡水化プラント等の出現が考えられる。このように各種の海洋構造物の需要がある中で、最近の建設技術及び研究開発により、これら海洋構造物の実現も真近い。しかし、需要が叫ばれる反面環境保全、海洋の法規制が世界各国に強く要望され、海洋構造物の需要増加と環境保全の相容れない事情のもとに海洋構造物の構造設計、施工法も極めて難しく、研究開発すべき諸問題を数多く残している。

参考文献

- (1) 海洋構造物に関する研究（資料）
昭和48年9月 榎大林組 本社海洋開発室
- (2) 海洋開発の現状と展望
昭和49年版 科学技術庁編
- (3) Westinghouse社における海上原子力発電所の開発計画
昭和48年3月 三菱重工業株式会社
- (4) 海洋開発の動向—OTC・海上空港・温排水—
第4回欧米海洋開発鉄鋼事情調査団報告書
昭和48年9日 社団法人 鋼材倶楽部
- (5) 海洋開発の動向 —OTC・海洋アクセス・海上原子力発電所—
第5回米国海洋開発鉄鋼事情調査団報告書
昭和49年9月 社団法人 鋼材倶楽部
- (6) 姫路昭夫：海外における石油基地の基礎
基礎工 Vol. 3, No. 1
- (7) 大型浮遊海洋構造物の調査研究事業報告書
昭和48年3月 財団法人 日本船用機器開発協会