

海洋構造物に関する研究（その1）

— 我国の海洋構造物の現況 —

松石秀之

藤沢康雄

(本社海洋開発室)

井出和文

細野成一

(本社海洋開発室)

(本社海洋開発室)

Study on Marine Structures (Part 1)

— The Present State of Marine Structures in Japan —

Hideyuki Matsuishi

Yasuo Fujisawa

Kazufumi Ide

Seiichi Hosono

Abstract

In the number of existing research and development projects for ocean development, marine structures are of special importance. Development of new technology will become necessary for construction of large-sized marine structures. Research and development are actively going on at the technical research institutes of government agencies, universities and related private enterprises. Although definitions and classifications of marine structures are not yet established, the authors here have made a compilation of the definitions and classification methods which have been proposed up to this point. A number of major examples are discussed and problems requiring study hereafter are cited.

概要

海洋開発のいくつかの研究開発プロジェクトの中で海洋構造物は特に重要であり、今後水深の増大に伴い大型のものが出現するため新しい技術開発が必要となる。我国においては、政府各省の関連研究所、各官、公、私の大学及び関連民間企業の技術研究所において、海洋構造物の研究・開発が積極的に進められている。海洋構造物の定義・分類は未だ充分に確立されてないが、本論文では今まで行われた海洋構造物の定義・分類を整理して述べる。また、いくつかの主要な実例を述べ、今後研究すべき問題点を指摘し、我国の海洋構造物の現況をとりまとめた。

1. 序

海洋開発の進展は海洋構造物建設技術の発展なくしてはありえない。海洋構造物は陸上の構造物と異なり、波浪等の外力による疲労、また、海水による腐食等の特殊な厳しい条件下にある。この荷重・外力条件及び環境条件等に対して、十分に考慮し、検討された構造計画が立てられなければならない。しかし海洋構造物の設計基準として総括されたものはまだ完成されておらず、解明されなければならない問題点を数多く残している。これらの問題点を検討するにあたり、海洋構造物の定義を明確にし、海洋構造物を構造型式、或いは、使用目的等により分類して整理した。この報告書は我国の海洋構造物について分類し、それぞれ分類された海洋構造物の現況並びに今後の研究開発と問題点について整理したものである。

2. 海洋構造物の定義・分類

2.1. 海洋構造物の定義

この報告書において、海洋構造物とは、道路橋・鉄道橋の基礎構造物、各種港湾構造物・水門鉄管構造物、建築構造物、人工島などの永久構造物から、これを施工するための仮設物、海上作業台などの施工設備機械、また、石油リグに至るまで海洋に建造する全ての構造物をさすものとする。

2.2. 海洋構造物の分類

海洋構造物はその使用目的、移動性、支持方式等の見地により分類できる。例として構造形式に関連させて支持方式により分類したものを表-1に示した。(海洋鋼構造物設計指針(案)解説 土木学会編)また建設省建築研究所昭和47年度総合技術開発プロジェクト海洋構造物の建設技術に関する研究「構造設計荷重お

よび耐力に関する研究」において、表-2, 表-3, 表-4, 図-1 のように分類されている。

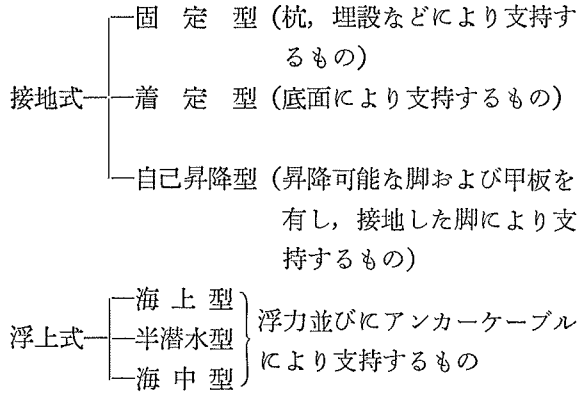


表-1 海洋構造物の支持方式による分類
(海洋鋼構造物設計指針 (案) 解説)

空間別項目	項 目
1 貯蔵空間	石油備蓄, 淡水貯蔵, 木材けい留
2 居住空間	海上都市, 海中作業基地, 観測塔, 作業台
3 生産空間	コンビナート, 発電所, ドック, 農業用地, 養殖施設, 漁礁, 埋立地, 人工島
4 レジャー空間	海中展望塔, 海中(上)レストラン, 海上レジャー基地, 人工海浜, マリーナ, 埋立地, 人工島
5 輸送空間	海上飛行場, 港湾施設, 棧橋, 沈埋トンネル, 取水施設, 輸送用トンネル(原料等), 浮標, 灯標, 長大橋

表-2 海洋構造物の空間別分類
(構造設計荷重および耐力に関する研究)

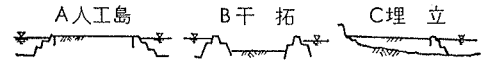
ランク別項目	項 目
I 人間が海上(中)に常時居住することが可能なもの。埋立, 干拓によるものは除外	海中展望塔, 海中(上)レストラン, 海中作業基地, 海上コンビナート, 海上都市, 海上レジャー基地, 海上飛行場
II 人間が海上(中)で一定時居住することが可能なもの。埋立, 干拓によるものは除外	観測塔, 作業台, 棧橋, 沈埋トンネル, 長大橋
III 人間が海上(中)で一時的に居住することが可能なもの	石油備蓄, 浮標, 灯標, 取水施設, 輸送用トンネル(原料等)
IV 港湾施設	港湾施設, マリーナ
V 人間が海上(中)で居住することに直接関係ないもの	人工海浜, 縮切堤(淡水湖), 養殖施設, 漁礁, ドック
VI 埋立, 干拓によるもの	埋立地, 人工島海上飛行場, コンビナート, 農業用地

表-3 人間の居住を基準とした海洋構造物の分類
(6段階ランク別分類)
(構造設計荷重および耐力に関する研究)

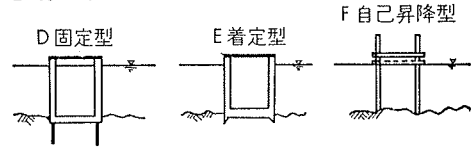
A ラーメン構造	B 壁式構造	C シェル構造
D トラス構造	E その他	

表-4 構造形式による海洋構造物の分類
(構造設計荷重および耐力に関する研究)

(I) 埋立方式



(II) 接地方式



(III) 浮揚方式

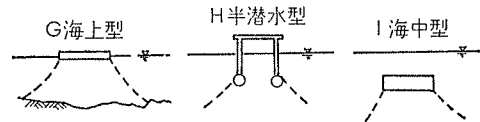


図-1 海洋構造物の支持方式による分類
(構造設計荷重および耐力に関する研究)

海洋構造物の代表的な分類は前述のようである。海洋構造物の特徴及び問題点を明らかにするためには支持方式による海洋構造物の分類方法が適切であると考えられる。従って、この報告書では、海洋構造物を支持方式により、接地方式、埋め立て方式、及び、浮揚方式に分類した。以下、我国で既に建設された海洋構造物、もしくは、建設中のものについて、それぞれ概説する。

3. 海洋構造物の現況ならびに今後の研究開発と問題点

3.1. 接地方式による海洋構造物

3.1.1. 港湾構造物

① 現況

(イ) 鹿島工業港 茨城県の鹿島灘に面した鹿島工業地帯は、東京に隣接し、広大かつ平坦な土地や海岸線があり、好条件を備え合わせている。1963年に大規模な鹿島工業港の建設が計画された。その主な工事は南防波堤3,900m, 北防波堤 1,050m, 岸壁 1,700m, 航路及び泊地の浚渫 1億 m³ などである。

(ロ) 名古屋港における高潮防波堤 1962年から名古屋港とその隣接地域を台風の被害から守るために高潮防波堤が建設された。防波堤は湾奥から約1.3kmに位置し、総延長 8,250m に及ぶ。その効果は潮位偏差の低減 0.5m, 波高の低減 1.2m と期待されている。

② 今後の研究開発と問題点

近年、海洋土木工事は大規模化、大水深化し、荒天や軟弱地盤等の悪条件の開闢及び急速施工等が要望されている。港湾工事の大水深化という観点から主な研究開発項目としては次のようになる。

- 1) 気象、海象の実態把握の促進と予測技術の開発
- 2) 海底土質に対する高能率調査技術の開発
- 3) 水中観測技術の開発
- 4) 海洋構造物の諸形状とその挙動に関する工学的研究の推進
- 5) オフショア・オペレーションシステムの開発
- 6) 海底パイプラインの保安基準の確立

3.1.2. シーバース

① 現況

我国で建設されている大型船舶用のシーバースは、その型式により次のように分類される。

- (イ) ピアー方式 大規模な荷役施設を備えたピアー方式のシーバースで我国の代表的なものとして、新日鉄大分シーバースがある。
- (ロ) ドルフィン方式 大型タンカーの原油荷役用として多数建設されている。
- (ハ) 一点ないし多点係留ブイ方式

我国では原油受入用として、大型タンカーでは一点係留ブイ方式のものが建設されている。また多点係留方式も数カ所実施されている。

船舶の大型化、経済的メリット、災害防止等から専用シーバースが港外の港内水深25～35mに建設されるようになった。このように外湾、すなわち外洋に面した大水深の沖合にシーバースを設けることは今後の我国の経済発展にとって必要かくべからざる問題として大きく取上げられている。

② 今後の研究開発と問題点

沖合におけるシーバースの実現の為には高波浪による種々の障害を克服することが第一であり、次に工事上の諸問題を解決せねばならない。

- 1) 波浪から“しゃへい”し、曳船の作業を可能ならしめるような人工港湾の研究開発
- 2) 高波浪中、タンカーが接岸、係留および離棧するのに有効な緩衝装置の研究開発
- 3) 急速施工の必要性より、プレキャスト化の研究開発
- 4) 大型能力の杭打機又は削孔機による大口径杭の採用とこれに伴う高性能大型作業船と諸機械の研究開発

3.1.3. 沈埋トンネル

① 現況

我国では1935年に着工された大阪の安治川河底トンネルにおいて初めて沈埋工法が採用された。1963年頃より、大都市内交通網整備の一環として、羽田トンネル（東京）、堂島川トンネル（大阪）など4つの沈埋トンネルが建設された。最近の著しい経済成長に伴い、大都市周辺や臨海工業地帯を中心に大型水底トンネル建設の必要性が急速に高まった。1968～70年に我国初

の本格的沈埋トンネルとして多摩川トンネルが建設され、そして、数件の大型沈埋トンネルが次々と完成あるいは着工され、我国も本格的な沈埋トンネル時代を迎えた。

② 今後の研究開発と問題点

1) 耐震設計

我国は世界有数の地震国であるため、水中の地盤およびトンネルの動的挙動特性を把握し、耐震設計法を確立する必要がある。

2) トンネルエレメントの結合

エレメント相互の結合には剛結合と軟結合があるが、地盤条件の極端に異なる部分のエレメント相互の結合あるいは換気塔との結合のように構造の大きく異なる場合の結合は、十分フレキシブルにする必要がある。ゴムガスケットを使用した水圧利用圧接による止水法は沈埋トンネルの特性を巧みに利用した合理的方法であり、仮の一次的止水においては十分であるが、そのまま最終的な結合設計に取り入れて軟結合とする場合には、ゴムガスケットの耐久性、信頼性が問題である。

3) 防水工

鋼殻を使用する場合には、その防蝕という問題はあるが、防水性にすぐれている。鉄筋コンクリート製の場合、アスファルト系の防水膜を施工することが多いが、より確実に施工容易な防止膜の開発が望まれるとともにコンクリート自体の水密性を向上させる研究も必要である。また、漏水が発生した場合にトンネル部から完全に止水する方法の開発が期待される。

4) トンネルエレメントの精度

鋼殻方式の場合、製作精度の向上あるいは鉄筋コンクリート打設による鋼殻の変形を最小にして現場工事を容易にする。

5) 基礎工と沈泥対策

エレメント底部と地盤を十分均一に密着させる必要があるため基礎施工としてスクリード方式と砂吹込み方式が行なわれている。前者においてはエレメントの底面幅があまり大きいと施工管理確認に難点がある。これらに対する改良工夫、さらに確実に新工法の開発が望まれる。また、掘削されたトレンチへの沈泥を防止あるいは除去する効果的方法の研究開発が必要である。

6) 水中作業の遠隔操作と確認方法

基礎造成、エレメントの沈設および水中接合などの水中工事はある程度水上からの遠隔操作が可能となってきたが、なお多くの作業特に点検、確認は潜水作業に頼っており、今後遠隔操作によって施工、管理、検査しうるような機器が必要である。

3.1.4. 固定式プラットフォーム

① 現況

我国において本格的な海中構造物としてジャケットが建造されたのは1959年、石油資源開発KKが秋田沖において油田を発見し、この生産用として建造したのが最初である。更に帝国石油KKの新潟沖石油田用及びアラビア石油KKクエート沖油田の生産用として相当量のジャケットが建設され、これ迄我国で作られたジャケットのほとんどは石油生産用に供せられている。また各種の作業基地としてジャケットを使用することも考えられ海象観測用或は灯標としてジャケットが建設された。また本州四国連絡橋建設用として瀬戸内海に相当量のジャケットが必要となると考えられる。その際の各種工法の実験用として数基のジャケットが建設された。

② 今後の研究開発と問題点

ジャケットを建設するに当り、波力等の外力、格点構造の実験研究並びに各種の研究が行なわれているが、今後更に大型化、大水深化が進むと考えられ主な問題として下記の点があげられる。

- 1) 建設地点に適応した工法、寸法の決定
- 2) 波力、その他外力の適確な把握
- 3) 構造体の強度及び繰返荷重に対する強度の確認

3.1.5. 可動式プラットフォーム

① 現況

我国において self-Elevating Platform の大型化が急速に進められてきた。これは船舶の大型化に伴う港湾構造物の大型化、大都市臨海地域における沈埋トンネルの建設また本州四国連絡橋などで海上長大橋工事に対する準備などがその推進要因と思われる。

② 今後の研究開発と問題点

SEP については海底岩盤大量掘削 System の検討が進められ、本用除の SEP の開発が進められている。100m 程度の大水深、5000 t 以上の大荷重用のもの開発が要望され、試設計が行われている。又海上を自立したまま移動し得る海上歩行 SEP の要求がある。

3.1.6. 海洋レジャー関係

① 現況

海洋性レジャーは近年とみに高まり海中展望塔、海中展望回廊等の開発が盛んである。海中展望塔は海中の景観を鑑賞することが目的であるから、据え付け工事にあたっては環境を破壊せぬよう特別の注意が払われる。海中展望塔は現在和歌山県に2基、高知県に1基、沖縄県に1基設置されている。鹿児島県の与次郎ヶ浜に海中レストランが設置されている。

② 今後の研究開発と問題点

構造物の安全度を高めるために荷重状態を知ることである。それには外力を正確に推定し正確な構造計算を行なうことが必要でそのため各種の基礎的な研究が進められると共に監督官庁による技術基準の制定が急がれている。研究開発として下記の点があげられる。

- 1) 大口径円柱構造物に対する波圧力の積分法
- 2) 不規則波の砕波圧についての検討
- 3) 波圧力算定精度と構造解析
- 4) 構造物の固有周期と波浪周期との共振

3.2. 浮揚方式による海洋構造物

① 現況

我国の場合、海底地形の特徴は離岸距離に比例して深くなる傾向にあり海洋構造物は接地方式から浮揚方式の構造物に転換することになると思われる。現在のところ、本格的な大型浮遊式構造物の実現は沖縄海洋博のアクアポリスぐらいであるが、石油リグや作業台等に多く建設されている。Floating Platform としては鉄道建設公団により沈埋トンネル工事用 Placing Barge が1969年に建造され、1971年本州四国連絡橋公団向けの半浮遊式作業台創成2号が建造された。一般に水深50mを越すものは浮揚方式が利用される。大型の浮揚方式の海洋構造物の近い将来実現可能なものと予想されるものは、都市廃棄物処理のためのプラント、沖合発電所、海上製油所、海上空港、海上都市等が考えられる。

② 今後の研究開発と問題点

浮揚方式による海洋構造物に共通する研究開発

- 1) 浮遊式消波装置の研究開発
- 2) 大型海洋構造物の係留技術、装置の研究開発
海洋プラント（ゴミ処理、発電所、製油所）
- 1) 形状の検討と共に、コンクリート製、鋼製及び両者の複合構造の比較検討
- 2) 個々のモジュールの結合方法及び係留方法。
沖縄海洋博 アクアポリス
- 1) 係留技術及び装置の研究開発
- 2) 大型ブロックの施工精度
- 3) 部材溶接部のチェック

浮揚方式と接地方式による海洋構造物の共通する研究開発と問題点

- 1) 波、風及び潮流などの外力に関する高精度の予報技術
- 2) 大水深における高精度の測深及び底質、地形、位置調査技術
- 3) 海洋環境保全に関する技研開発
- 4) 安全対策に関する技術開発

3.3. 埋立て方式

① 現況

大規模な埋立て方式によるものはポートアイランドである。その建設概要は総事業費約1400億円、総面積430万 m^3 （港湾施設用地 241万 m^3 ，都市再開発用地112万 m^3 ，道路その他用地83万 m^3 ），埋立土量 8000万 m^3 におよぶ広大なものである。

② 今後の研究開発と問題点

- 1) 埋立て後の沈下（特に軟弱地盤の場合）
- 2) 埋立て土の流動化
- 3) 大量土砂採取及び運搬
- 4) 護岸の構造

4. まとめ

各種の海洋構造物が現在数多く建造され、需要の増大を背景にして今後益々発達する傾向にある。最近の工業化の著しい進展が、自然環境を汚染し自然破壊の傾向を増大してきたところから、環境保全が強く叫ばれるようになった。特に海洋については法規制が強められると共に、各地に海中公園が指定されて自然をありのままに保存しようという動きが高まっている。この様に一方においては益々海洋構造物に対する需要が増しつつあるのに対して、一方では環境保全を求める動きが益々強くなるという相容れない事情のため、海洋構造物は構造法的にも工法的にも極めてむずかしい技術的諸問題の解決を余儀なくされている。そのため海洋構造物に関する先行的、共通的な技術の研究開発

が国家的プロジェクトとして推進されると共に、海洋構造物が設計から建造、曳航、据え付或は係留の段階を経て完成する迄に解決を必要とする各種の工学的分野の問題を、システム工学的に取り上げて解決して行くという動きが一般化しつつある。

参考文献

- 1) 海洋構造物に関する研究（資料）
昭和48年9月（株）大林組 本社海洋開発室
- 2) 海底開発技術に関する現況報告書（下巻）
昭和47年 ECOR 日本委員会，海底開発委員会
- 3) 構造設計荷重および耐力に関する研究
昭和48年3月 建設省建築研究所
- 4) 海洋鋼構造物設計指針（案）解説
昭和48年8月（社）土木学会編
- 5) 調査月報 昭和44年4，5月 No. 113
日本長期信用銀行調査部
- 6) 海洋開発のための科学技術に関する開発計画について 第2次実行計画
昭和48年度版 海洋科学技術開発推進連絡会議編
- 7) 沖縄国際海洋博覧会「アクアポリス」の設計概要 第4回海洋開発シンポジウムより
三菱重工業鉄構設計部次長 星野 守
- 8) ポートアイランド直轄工事の記録（資料編）
第三港湾建設局神戸港工事事務所 昭和47年4月