

軟着底構造方式とその応用

— 海上都市プロジェクトの提案 —

Softsit-on-bottom type offshore structure and the applications.

— Proposal of ocean city projects —

伊澤 岬*・国府田誠**

Misaki, Izawa, Makoto, Kouda

Softsit-on-bottom type offshore structure has been considered as one of the safest offshore structure systems against earthquake and settlement of ground. This system was developed in 1980 by the outhors and has been proposed for such purposes since then.

In this paper, the structural charaeters of this structure system is described according to three casestudies of ocean city projects - Campus City in the Tokyo bay, Osaka bay marinecity and Makuhari messe island Project.

Keywords: softsit-on-bottom type offshore structure, Tokyo bay, Osaka bay.

1. はじめに

地震や地盤沈下に対してより安全な海洋構造方式の一つとして軟着底構造方式があげられる。本方式は1980年以来著者らによって提案されたものであり、本稿では本構造方式の構造的性質を示すとともに、これまでに提案してきた本構造方式による三つの海上都市プロジェクトを応用例として提案する。

まず「東京湾海上キャンパス都市構想 1986」は、東京湾において、開発よりも将来を展望した未来的で実験的なキャンパス都市を、そして「大阪湾海上都市構想 1989」は、海上空港（関西国際空港）完成後の大阪湾の将来像を巨視的にとらえた全体計画のなかに海上都市を提案し、「幕張メッセアイランド構想 1991」は、軟着底構造による埋立方式の可能性、さらに巨視的にとらえた地球環境規模におけるオーシャンスペースのあり方を提案している。

2. 軟着底構造方式について

1) 基本概念

構造物の基礎は地盤にしっかりと固定され、地震・風・波浪等の外力に対して、出来るだけ変形を起こさないように考えるのが普通である。海底地盤に基礎を固定させる方式として構造自体の重量を大きくし、基礎底面の摩擦抵抗によって海洋構造物の水平移動を防止する重力方式がある。この方式による海洋構造物の基礎底面は、平穩時に浮力を差し引いた接地力 $W' = W_s - W_w$ (W_s : 構造物重量、 W_w : 浮力) だけ作用するが(図1-a)、地震力をうけると、構造物には水平力として構造物自体重量による慣性力 $F_m = m\alpha$ (m : 構造物質量、 α : 地震加速度) と海水による動水圧 F_w が作用し、基礎底面には $V = W' - U$ (U : 揚力) が作用する(図1-b)。構造物の水平移動を基礎底面の滑摩擦抵抗によって防止しようとする場合、基礎底面の接地圧力を増大させる必要があり、構造物自体の重量を増大させなければならない。すなわち、図1-bに示すように、最大摩擦抵抗力 $Q_u = \mu V$ (μ : 基礎底面の摩擦係数) は $Q_u > F_m + F_w$ を満足するものでなければならない。従って、重力式による海洋構造物は構造物自重に耐える地盤の強度が要求されると

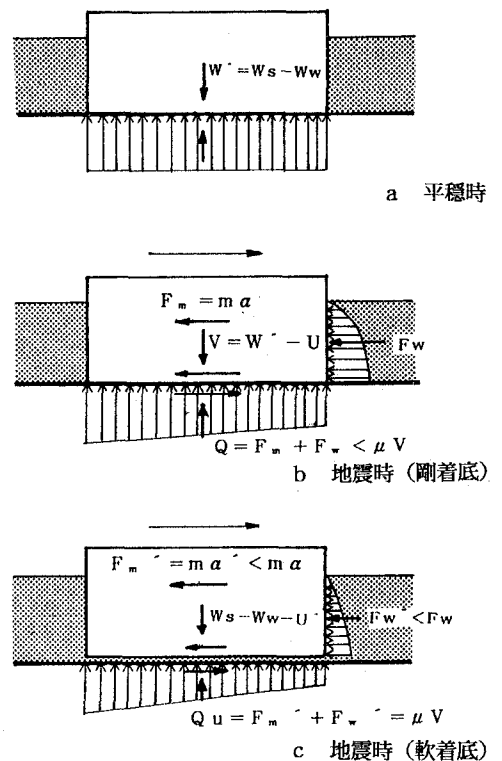


図-1 軟着底の原理

* 正会員 日本大学理工学部交通土木工学科助教授

** 正会員 日本大学理工学部海洋建築工学科教授

共に圧密地盤沈下の心配が生じる。このように構造物の基礎を地盤に剛着させようとする場合、適応可能な海底地盤は限られると共に工事量の増大を伴う。

基礎底面は必ずしも地盤に固定されなくてもよく、ある程度の滑りや変位が許容できるならば、着底式海洋構造物は軽量化し、さらに海水の浮力の利用によってより有効な海洋構造物となり得る。すなわち、構造物の重量と海水の浮力を適当な大きさに選び、基礎底面と地盤との間の摩擦力を調節してやれば、ある大きさ以上の地震水平力が作用した場合には、基礎底面が滑りを引き起こし、構造物には摩擦力以上の水平力は作用しなくなる（図1-c）。すなわち、構造物に作用する加速度は $a' = Q_u / m < a$ となり、免震効果の期待出来る構造物とすることが可能である。またこの場合には海水の浮力によって接地圧を加減するため、支持地盤の支持力効果が期待出来ることになる。軟着底式海洋構造物は上記のような発想から提案したものであり、以下のように定義するものである。なお、「軟着底式」という呼び名は、従来の固定式「剛着底」の意味を持つものに対して名づけたものであり、従来の固定式構造物を「剛着底式海洋構造物」と呼び「軟着底式構造物」と区別している。

軟着底式海洋構造物の定義：「軟着底式海洋構造物とは、基礎底面を地盤に剛着させずに海水による浮力や構造物の重量を加減することによって軟着底させ、水平外力に対してある程度の滑りを許容し、大きな地震力に対しては基礎底面を意識的に滑らせることによって免震効果を発揮させると共に地盤の支持力や沈下に対して有利となる海洋構造物を言う。」

2) 構造形式

軟着底式海洋構造物の建造は、①浮体構造物の作成、②曳航、③海底基礎地盤への着底の順に行うが、浮体単体の複数の連結によって、小規模構造物の建造から飛行場、海上都市、人工島等の大規模構造物の建設に応用し得る。

3) 基本形式

浮体構造物は利用空間と接地圧力を調整する浮力調整室からなり、構造形式としては図3に示すような4種類の基本形状が考えられる。

タイプaは箱形であり、内部空間が利用出来る点を特徴としている。タイプbはタイプaに柱脚を設けたものであり、より大水深に適する。タイプcは浮力調整室を基礎部に設け、利用空間を中空柱で支える形式であり、タイプbよりも波浪外力が小さくなるようにしたものである。タイプdは基礎部と利用空間部を柱状構造とし、柱状内を浮力調整室としたものであり、大水深に適する構造形式である。

4) 応用形式

図5は軟着底方式を用いた超高層海洋構造物への適応の構想例であり、高層部の集中する荷重を複数の浮体構造物を剛結合し、フーチング効果を持たせることによって、超高層建築物の建設も可能となる。

図6は軟着底方式を埋立法に応用した構想例であり、図示のような浮体構造物を配置および剛結合することによって、埋立を行えば、埋立土による接地圧力が軽減され、地盤沈下、埋立土の液状化の心配のない、免震性に優れた自然土による埋立地盤の作成が可能である。

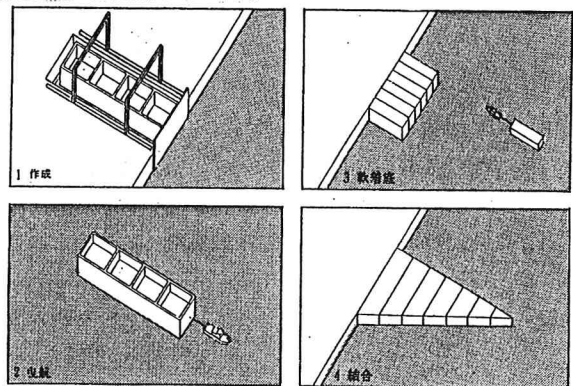


図-2 軟着底構造の施工システム

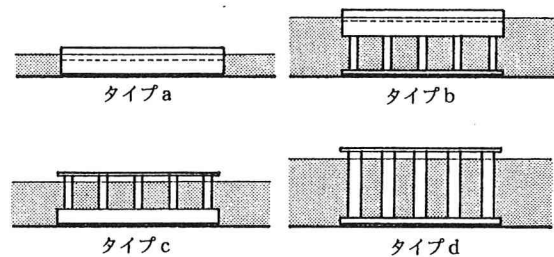


図-3 軟着底構造の基本形式

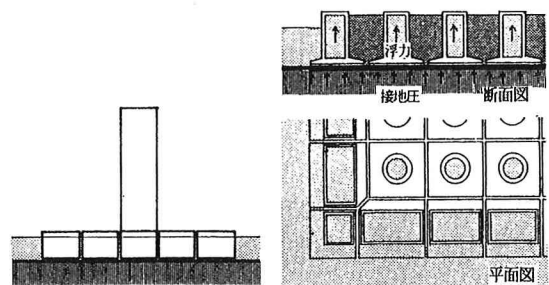


図-4 超高層建築物への対応

図-5 浮体構造による埋立

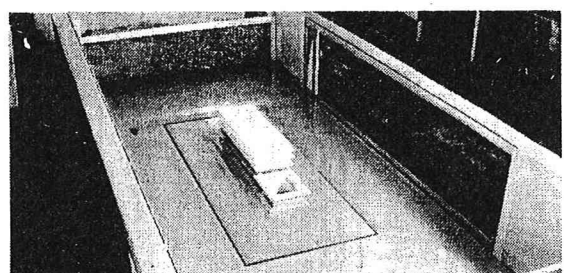


図-6 軟着底構造の水槽モデル実験写真

3. 海上都市構想提案

1) 東京湾海上キャンパス都市構想 1986

1986年をピークとして東京湾に様々な海洋プロジェクトが提案された。これらのプロジェクトが東京湾の長期的な展望や統一的思想もないまま実施されたとしたならば東京湾は死の海となることは想像に難くない。しかしながらこの開発ブームも“海”との接点に人間的なふれあいの場を獲得しようという、これまでの東京湾開発になかった新しい気運は評価できる。このような建設的な方向性は東京湾を中心とした首都圏開発の質的転向を計る好機としてとらえることができる。

東京湾開発の歴史は埋立によって江戸城を中心とする都市の形成と発達にはじまり、戦後は埋立による工場の建設が急速に進行した。特に高度経済成長期の始まる1960年代には現在の東京湾横断道路計画の原点となる構想を含む大規模な埋立計画“ネオトウキョウプラン”（産業計画会議1959年）や丹下健三氏の“東京計画1960”など東京湾を全体的にとらえる構想や計画が次々と打出された。そして東京湾横断道路の建設決定がなされた1980年代は、東京湾を舞台に全体、部分を含め、国、自治体、民間による様々な構想が提案され、60年代につぐ戦後の第2次東京湾開発ブームとして位置付けられる。このような東京湾をどう開発すべきかという視点から本東京湾海上キャンパス都市を提案したものである。

江戸時代から現在に至るまでの東京湾の埋立は規模的拡大の歴史であり、水際空間の内陸化が進み、様々な問題を生んだ。第一に埋立の規模的拡大による東京湾の環境悪化並びに破壊、第二に海都、水都としての表情の喪失、第三に今まで埋立地は工場、ゴミ処理施設等、都市機能の補完空間としてとらえられ、この結果第2次東京湾開発ブームにおける提案の多くが国際化、情報化の名のもとに住居空間の犠牲の上に業務空間を中心とした街づくりが提案されている。本東京湾海上キャンパス都市構想では60年代、80年代の東京湾開発ブームにおける技術的対応の主流となった埋立方式の問題点を明らかとし、軟着底構造方式による本計画の実績と成果を踏まえながら東京湾の長期的な展望を計りつつ、計画のステップを進めるプログラムを想定している。また本構想は、東京湾の開発と保全についての総合的な研究・教育機関を核として、東京湾の開発保全に関わる行政や民間企業体などあらゆる分野の機関を集積させた都心近接型の研究学園都市・頭脳都市を想定しており、それ自身が軟着底構造方式による海上都市のモデルとして想定したものである。さらに研究・教育機関と同時に研究成果を実際に実行する新しい行政機関を構想している。すなわち現在の東京湾を取り巻く開発・保全に関して国、地方自治体の行政体が有機的に対応できるような総合的な東京湾開発・保全のための調整機関を提案している。さらに同海上都市には東京湾の開発を実際に実行する民間企業体のオフィスを設置し、東京湾についてあらゆるプロジェクトの立案・実施を行う頭脳集団となることを想定している。また海上都市の核となる大学では東京湾岸都市にとどまらず、地球的な規模における沿岸都市の在り方、さらに

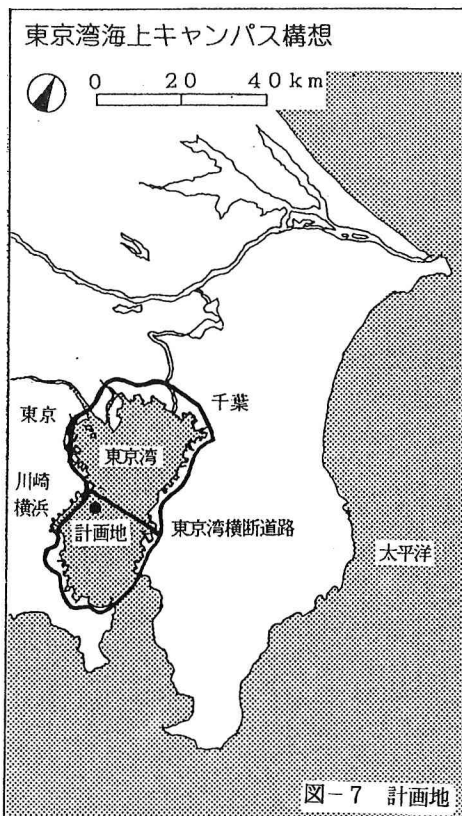


図-7 計画地

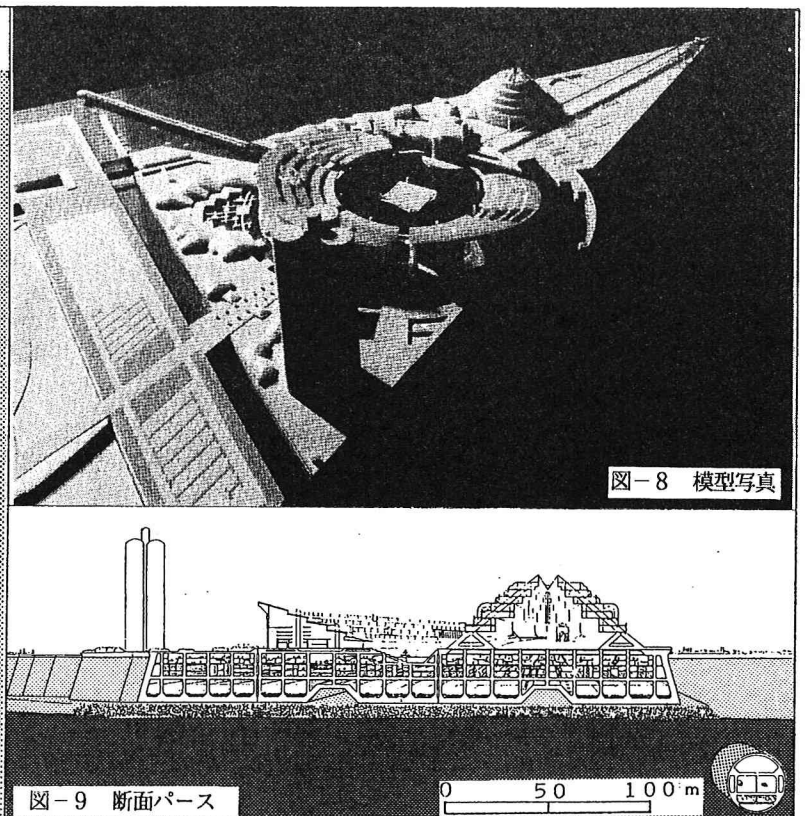


図-8 模型写真

図-9 断面パース

は海洋空間の在り方を世界的な視点から研究しようとするものである。キャンパスの機能の一部として提案した人工運河ぞいにはドミトリーを設置しこの海洋構造物おける住居空間の可能性を実験的にさぐることも目的の一つとなる。

計画概要

立地は、東京、横浜にはさまれ、60年代の工業化時代の象徴的港湾都市川崎を将来の東京湾の中心として位置付け東京湾横断道路と東京湾岸道路の交点でインターチェンジが計画されている浮島沖埋立地の沖を計画地とし、東京湾のランドマーク的位置付けとする。

規模は、主人工島63haと、14ha、5haの三島による構成とする。

施設は、耐震性の高い軟着底構造物の特性を生かし、大工業地帯を控えた防災拠点、避難広場として機能し地下構造部分には備蓄倉庫、下水処理施設等を設ける。主島は大学キャンパスのほか、立体的で大規模なイベント空間を中心に研究施設群をスタジアム状に配し、コンベンション機能を付加させる。またキャンパスのドミトリー、研究者などのハウジングや一般市民には海の魅力あふれた商業、レクリエーション施設を運河をめぐらして設ける。

2) 大阪湾海上都市構想 1989

本構想は、海上空港（関西国際空港）完成後の大阪湾の将来像を巨視的にとらえ、大阪湾における海上都市の可能性を提案しようとするものである。東京圏の一極集中に対して関西が受け皿となりえない理由の一つに、関西圏における具体的な場所のイメージの欠落をあげることができる。そこでまず関西圏の構造を二極構造としてとらえ、一方の極として大阪湾の全体構想を提案し、第二首都を想定した海上都市を提案する。

二つの“環”構想

大阪、京都、奈良による歴史的な構造と、この象徴として期待の高い関西文化学術研究都市を中心とした伝統、文化学術的な「環」、これを「伝統的な“わ”」とするならば、これに加え、関西圏の将来を国際的、アジア的な視点から担うに関西国際空港の立地する大阪ベイエリアの沿岸を「未来的な“わ”」として位置付ける。

大阪湾全体構想

神戸ポートアイランド沖の海上に神戸空港を設定し、泉州沖の関西国際空港とを海上でつなぐような親水性に富んだ「虹の架橋」状の海上都市を提案する。さらに第二首都として関西圏の新首都の機能と、東京圏との役割分担を明確化する手段の一つとしてその歴史性、位置性を考慮してアジアにおける経済、文化、社会のあらゆる分野における中心的な役割を果たすアジア圏センターを想定してこれらを二つの人工島に設置する。

大阪湾海上都市「虹の架橋」は、人、物、情報のルートとして新交通システム等の都市のインフラを内包し、大阪湾の第二湾岸道路としての機能を果たす、さらに神戸港、大阪港に替る新港湾を新島端部にそれぞれ設置し陸、海、空の複合的な交通拠点都市とし新首都の効率的な業務遂行の一翼を担う。またこの大阪湾海上都市「虹の架橋」と現在

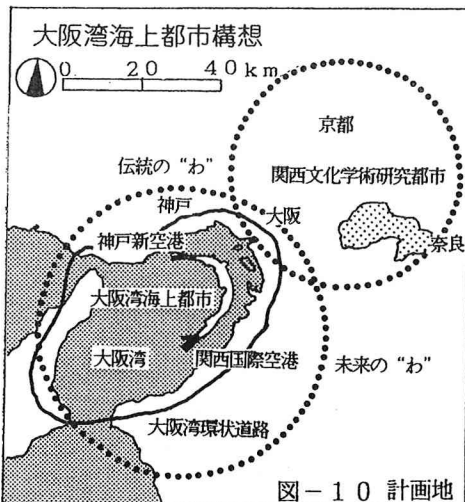


図-10 計画地

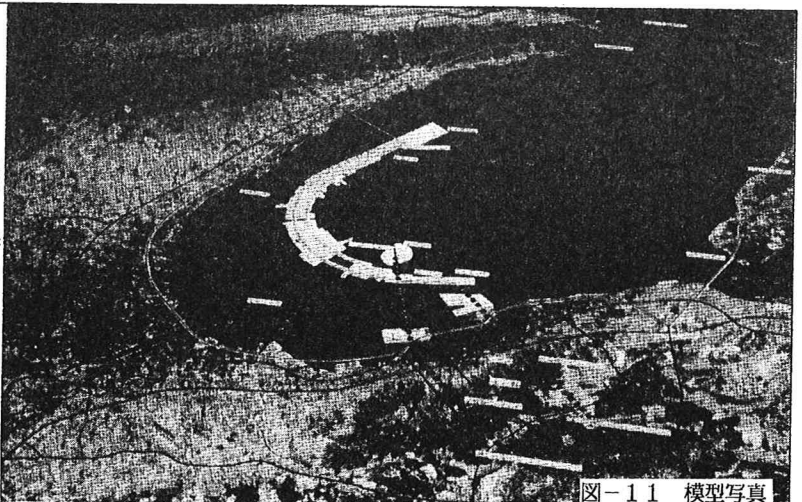


図-11 模型写真

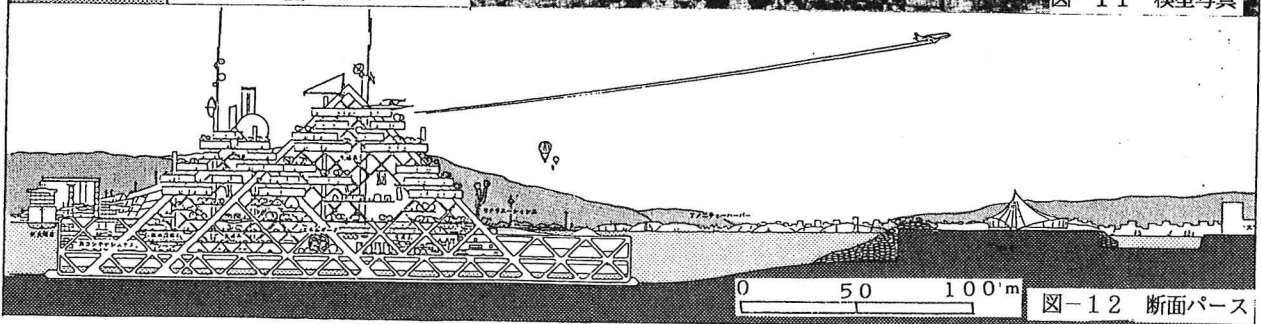


図-12 断面パース

の海岸線によって得られた静水内海を広く市民に解放すべく巨大な埋立による既存の人工島群を、瀬戸内海の多島海の美しさをモデルとした緑豊かで、親水性に富む多島海として再生する大阪湾「緑の多島海構想」を提案している。

以上のように関西国際空港を核に大阪湾の将来像を環境的な対応として位置付け、新しい時代の技術として軟着底構造方式を取り入れ、この構造方式によって現在港湾の水際線を埋め尽くしているコンテナヤードを地下構造物に獲得することによって複合的な物流・生産システムの確立を計ると同時に水際を人間のための空間として解放することが可能となる。さらにコンテナヤードと同様に現在水際を占拠しているゴミ・排水処理施設、工場、倉庫等も地下構造物に設けることによって環境的な対応を計る。さらに直接的な環境の対応として軟着底構造による地下構造物の断面計画の工夫により十分な海水の流出入を行い、水面上には多数運河を設けることによって淀川など大阪湾に流れ込む河川の水が緑の多島海の静水内海に澱むことなく生きた海水が確保できるよう計画し、生態系の保全に寄与しようとするものである。

計画概要

立地は、神戸のポートアイランド沖の海上に神戸空港を想定し、泉州沖の関西国際空港とを海上でつないだ「虹の架橋」状の海上都市を提案する。

規模は、円弧の長さ約32km、幅最大2km、敷地約6,000haとする。

施設は、地上面には両端の空港近くに新神戸港、新大阪空港を設け、さらに新交通システムによる都市インフラを内包して、住居・業務施設、娯楽施設等を配置する。一方地下階には軟着式構造における特徴の一つである巨大な地下構造部分を利用し、両空港と両港湾に隣接した地の利を生かして、保税施設などを有する臨空、臨海工業施設を設ける。とくに現在大都市港湾の水際線を埋め尽くしているコンテナヤードを地下空間に獲得することによって複合的な物流・生産システムの確立が計られると同時に水際を人間のための空間として解放することを可能とする。

3) 幕張メッセアイランド構想 1991

埋立法法に変わる新たな海洋構造方式として提案してきた軟着底構造方式に対して、現実的には埋立による関西国際空港工事における地盤沈下による開港の延期や、大都市での建設残土の処理の問題が社会問題化してきた。そこでこの残土を利用し且つ地盤沈下や液状化の心配が少なく免震性にも優れた自然地盤に近い人工島の可能性を軟着底構造方式の構造形式を応用し、浮体構造を配置して残土の埋立を骨子とする海上都市の提案を本幕張メッセアイランド構想として提案する。計画地は千葉県が幕張新都心沖合に人工島を計画しており、この東京湾側の幕張を起点として太平洋側の銚子までの内陸水系を利用した広域的な環境都市帯となる“房総水の回廊構想”の出発点となることを想定し、幕張メッセを中心とした幕張新都心構想を沖合に展開した海上都市構想である。

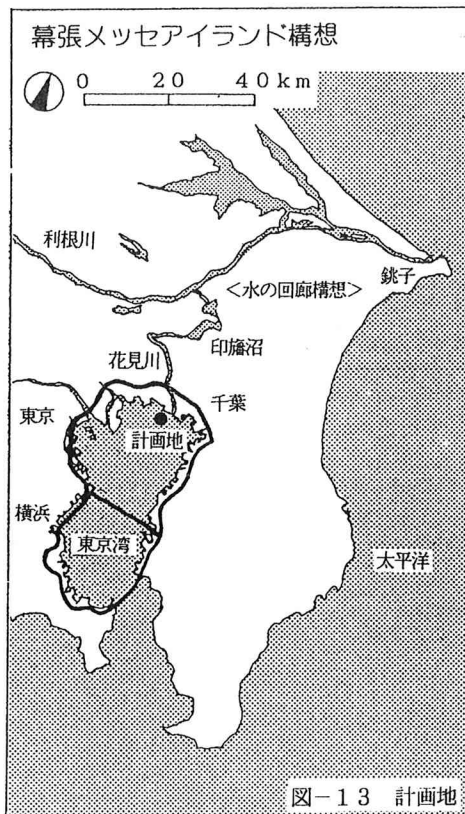


図-13 計画地

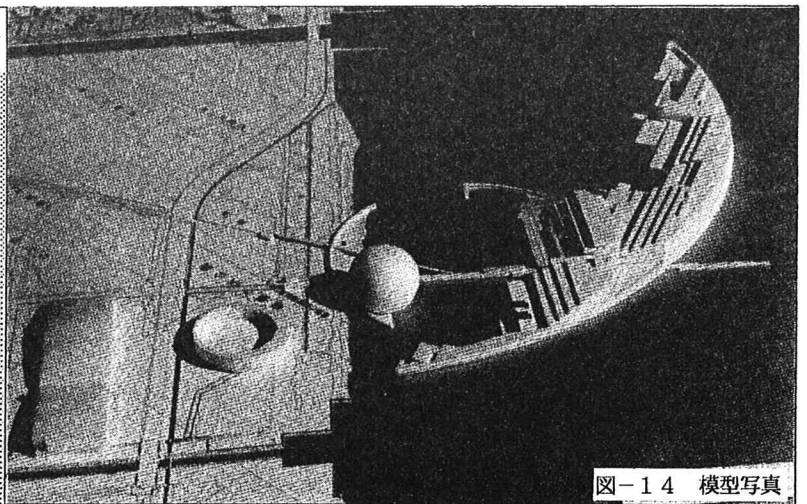


図-14 模型写真

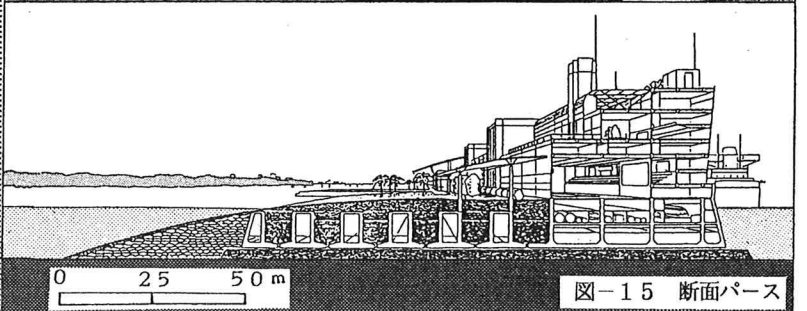


図-15 断面パース

この房総水の回廊構想とは、海とつながる河川をキーワードとした首都圏近郊の21世紀に向けた環境の保全と創出を目指した環境都市帯の提案であり、具体的には東京湾岸の新都心幕張から既存の水系花見川、新川、印旛沼、長門川、利根川を連結して太平洋岸の銚子まで100kmの水の回廊づくりである。この水の回廊構想は佐倉、成田、佐原に代表される北総の自然と歴史と文化の保全に寄与し、さらに環境をテーマとした次のような四つの未来的なパビリオンをもつ拠点を提案している。すなわち出発点幕張の海上の幕張・メッセアイランド構想のほか、八千代・環境ドーム構想、佐原・地球図博物館構想、銚子ウォーターコリドールセンター構想である。以上のように本構想は川を軸としてドック、港、湾、海というこれまでの点的なウォーターフロントプロジェクトを面的に拡大して海に限定することなく、リバーフロントからオーシャンフロントを連続的に捉え、より地球的視点からの環境問題に対応しようとするものである。

計画概要

立地は、幕張新都心の海浜幕張駅と幕張メッセをつなぐ都市軸の延長線上に島型の人工島を設定する。また水の回廊構想の出発拠点として花見川河口との位置関係を考慮して設定する。

規模は、直径約18kmの円弧を利用した約40haの三ヶ月状の人工島とする。

施設は、メッセ機能・規模の拡大を計り海上にイベント空間を展開し、業務商業施設などを配置する。残土資源を有効利用した内水域には大規模なくさき空間を獲得する。この残土の利用についてはジオ・テキスタイルによってパッケージ化し、生物活性化を計るディテールと工法を提案している。さらに水の回廊構想の出発拠点としてハーバー機能を有したコリドールセンターとしての機能を併せもつ。また、地下構造部分にはゴミ、残土のリサイクル利用実験研究施設などを設け、東京湾の開発におけるこれまでの経済的対応の時代から環境的対応の時代のシンボルとして位置付ける。

4. おわりに

1980年代の東京湾や大阪湾を中心とした海洋開発・構想ブームを総括すると、その構想の多くが「質」より「量」の理論をもち、海洋開発ならではの「技」と「匠」の欠落を感じる。これは60年代開発構造ブームと同様、東京湾・大阪湾における『経済的利用の時代』の繰返しとみることができる。このような中でわが国の代表的な二つ港湾の将来像を『環境的対応の時代』として位置付け、新しい時代の「ワザ」として軟着底構造方式による「タクミ」を目指した海上都市のモデルを提案してきた。しかしながらいづれも構想イメージの段階であり、今後更に詳細な検討と総合的な検討を加えたいと考える。

本研究をまとめるにあたり、日本大学理工学部海洋建築工学科 研究生野澤良太氏の協力をいただきました、記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 昭和55年9月 国府田、佐久田他 「海洋構造物の着底方式に関する基礎的研究(その1)」
日本建築学会大会学術講演概要集
- 2) 昭和55年10月 国府田、佐久田他 'Study on the softsit-on-bottom type of offshore structure'
Floating Plant 1st International Conference, Paris.
- 3) 昭和62年10月 伊澤、国府田他
「海洋建築プロジェクトに関する研究 ケーススタディー：東京湾海上キャンパス都市構想」
日本建築学会大会学術講演概要集
- 4) 昭和63年7月 伊澤、国府田他 「東京湾海上キャンパス都市」 Sci. & Tech Vol.1 No.3
- 5) 昭和64年10月 伊澤、国府田他
「海洋建築プロジェクトに関する研究 その2 ケーススタディー：大阪湾海上都市構想」
日本建築学会大会学術講演概要集
- 6) 平成元年 伊澤、国府田他 『神戸未来都市構想2089』 神戸市制100周年記念論文入賞論文集
- 7) 平成2年5月 伊澤 「海洋空間のデザイン ウォーターフロントからオーシャンスペースへ」 彰国社
- 8) 平成3年9月 伊澤、国府田他
「軟着底構造方式とその応用 ケーススタディー：幕張メッセアイランド構想」
日本建築学会大会学術講演概要集