

(71) PC洋上マリーナ施設に関する研究(その1)

海洋構造物委員会

委員長 東海大学海洋学部 教授 正会員 長崎 作治
大成建設(株) 土木設計部 ○三輪 渉
(以下、委員16名)

1. はじめに

プレストレストコンクリート技術協会の海洋構造物委員会は昭和53年(1978年)に発足し、まず浮上式プレストレストコンクリート製海上空港の構想をまとめる活動を実施している。このときは300m×60m×12mのプレストレストコンクリート函体により構成される浮上式空港のスタディであった。その後、当委員会ではいろいろなスタディを重ね、平成2年度からの2年間は「プレストレストコンクリート洋上マリーナ施設に関する設計・施工法の研究」というテーマで活動してきた。

本研究の目的は、具体的な活用方法を研究・提案することによりプレストレストコンクリート技術が海洋構造物の分野でもっと採用されて行くことをさらに期待するもので、具体的施設として沖合いに設置出来るマリーナを主体としたレクリエーション施設・ホテル・ヘリポート等を備えた円筒形の大型プレストレストコンクリート製浮体構造物(直径130m、高さ57m)を考案し、具体化についてスタディしたものである。

研究活動内容としては、浮体構造物の活用方法としてPC洋上マリーナ施設を選定した社会的背景・基本コンセプト・基本条件の設定・空間利用計画・基本構造形式・係留動揺解析・構造の検討・施工法の検討・法規調査・文献調査を行って来たが、(その1)では前半の係留動揺解析までを述べる。

尚、本研究は長崎作治教授(東海大学海洋学部)を委員長とし、関係機関およびプレストレストコンクリート技術協会加盟会社の中から選任された16名の委員より構成された海洋構造物委員会で行ったものである。

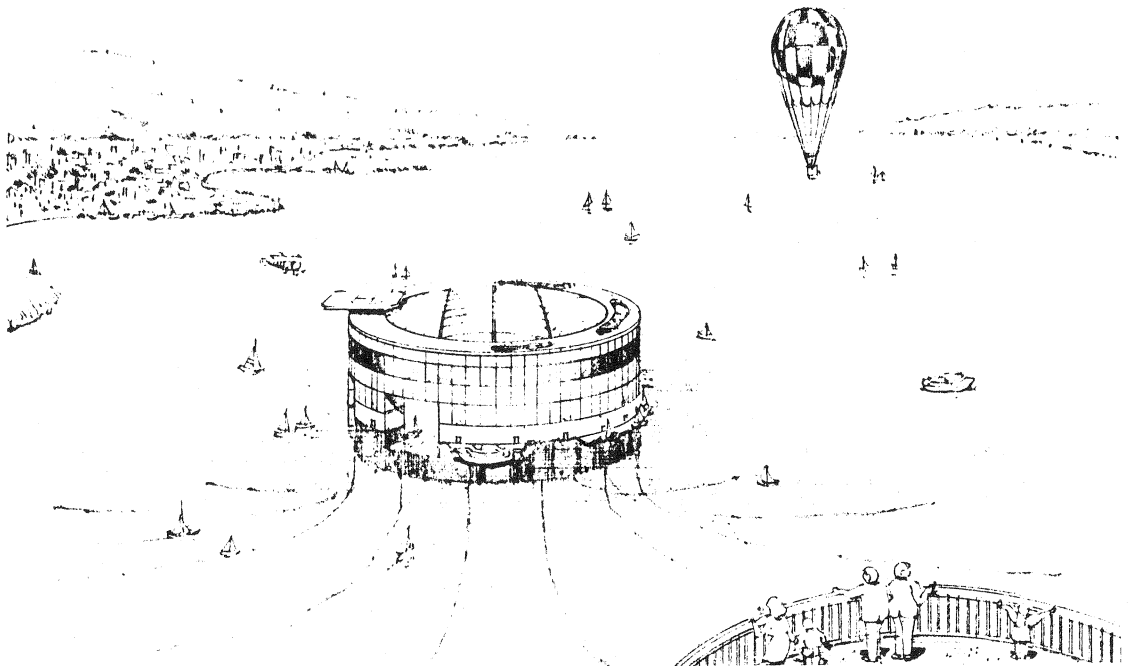


図-1 イメージパース

2. 研究テーマ選定の社会的背景

日本経済の発展とともに、生活水準の向上、価値観・意識の変化、余暇の増大によってレジャー指向が高まり、わが国の海洋性レクリエーションも海水浴・海辺のキャンプ等の親水アメニティー型や釣りに加え、ヨット・モーターボート・スキューバダイビング・サーフィン等のスポーツ型、客船・遊覧船等のクルーズ型と様々な分野の幅広い活動が盛んに行なわれるようになってきた。

特にスポーツ型レクリエーションは、FRP製の安価なプレジャーボートや用具の開発により広い層へ普及してきており、その保有隻数は図-2で示すように年々増加傾向で、平成2年度現在約28万隻と推計されている。

また図-3に示されるように、モーターボートやエンジン付ヨット、水上オートバイなどを操縦するために必要とされている小型船舶操縦士免許の取得者も増加し続けており、欧米諸国と比較してみると今後ますます普及率が高まると思われる。

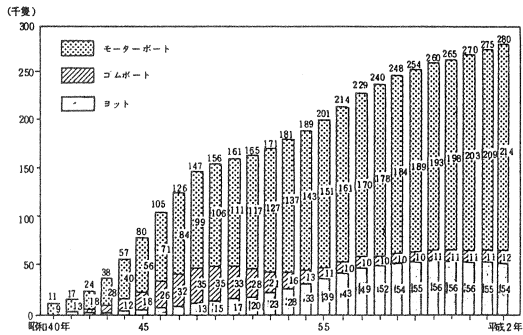
このマリンスポーツの受け皿となるのがマリーナであるが、プレジャーボートの増加に伴い現在全国に存在する約380ヶ所のマリーナの数では明かに不足しており、各地で放置艇の問題が顕在化している。

このため、海洋性レクリエーションの健全な発展を図るためには、これらの放置艇に加えて、これからも増加し続けると考えられるプレジャーボートの保管場所の確保が大きな課題となっている。

表-1に示すように運輸省の「全国マリーナ等整備方針」によれば、今後もプレジャーボートの保有隻数が増加すると想定し、平成12年で約40万隻程度に達すると見込んで整備目標を立てているが、これには民間マリーナの整備に負うところも大きい。

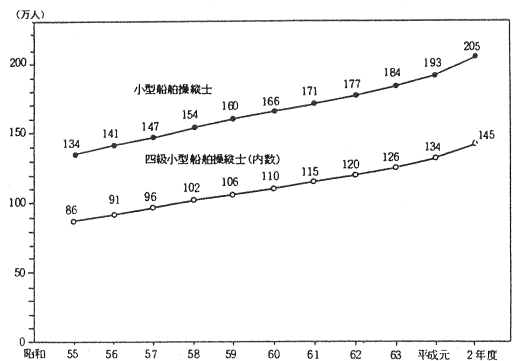
これらの社会的背景を元に各地でマリーナを中心とする開発事業が計画されているが、マリーナの建設に最適な入り江や港湾・河川等の静穏な区域は漁業活動や輸送活動などに活発に利用されており、水面利用の調整も難しくなっている。

静穏な入り江や港内ではなく、今まで建設適地と考えられていなかった沖合い(off shore)に設置出来る「プレストレストコンクリート洋上マリーナ施設」の研究は時期を得た取組みになると思われる。



資料：(社)日本内航工業会の資料をもとに(財)日本海洋レジャー安全・振興協会において推計

図-2 モーターボート・ヨット保有隻数の推移



注) プレジャーボートに限らず漁船等の操縦士も含む。
資料：運輸省海上技術安全局船員部

図-3 小型船舶操縦士の免許取得者数の推移

表-1 マリーナ等の形態別プレジャーボート保管隻数目標

保管形態	昭和62年(万隻)	平成12年(万隻)	増減(概数)(万隻)	整備目標
マリーナ	4.9	18	13	
＊公共マリーナ	(0.8)	(6)	(5)	今後新たに全国で100港程度整備する。
民間マリーナ	(4.1)	(12)	(8)	今後新たに全国で270港程度整備する。
プレジャーボートスボット	—	6	6	今後早急に全国で800港程度整備する。
小計	4.9	24	19	
その他の保管	7.9	16	8	
放置艇	12.0	—	△12	
合計	24.8	40	15	

＊第3セクター等が設置・管理するものを含む。
資料：運輸省港湾局「全国マリーナ等整備方針」(昭和63年9月)

3. 基本条件の設定

基本コンセプトを、マリーナを中心とする浮体式総合レジャー基地として「PC洋上マリーナ」と命名し、これを考案して行くにあたって、基本条件を以下のように設定した。

- ① 都心から3~4時間でアクセスできること。
- ② 風・波が穏やか、かつ景観の良好な位置に立地。
- ③ 法人あるいは中・高所得者層の割合を多く考慮した会員制リゾート。
- ④ マリーナは中・大型のプレジャーボートを対象。
- ⑤ 形状は円筒として、浮体内部を有効利用しバラストを極力少なくする。
- ⑥ 浮体はプレストレストコンクリート構造とする。
- ⑦ 浮体はカタナリー係留とし、緊急用・エグゼクティブ用としてヘリコプター輸送も併用する。

以上の基本条件を基に、立地想定位置として東京湾内もしくは相模湾内で、水深が50m程度確保できる位置を、図-4に示す(A)横須賀沖合、(B)館山港沖合、(C)初島島影の3ヶ所想定し、これら3ヶ所の自然条件を調査・比較検討した結果、総合的に判断して表-2のような設計条件を設定した。

また、導入機能および規模の設定にあたり、以下の条件を決めた。

- ① 総合海洋レジャー基地として必要な機能は出来るだけ多く導入する。
- ② 採算性を考慮し、ボート保管隻数・客室は極力多くする。
- ③ 浮体没水部のエリアは、機械室・タンク等に有効利用する。

これらの設定条件を基に導入機能およびその概要と規模を表-3のように定めた。



図-4 立地想定位置図

表-2 設計条件一覧表

水深	60m	
地盤	砂質地盤	
潮位	HHWL+2.00 LWL±0.00	
潮流	2.0kn (1.0m/sec)	
波浪	常時	H _{1/3} =0.5m T _{1/3} =6sec
	暴風時	H _{1/3} =4.0m T _{1/3} =10sec
風速	常時	U ₁₀ =10m/sec
	異常時	U ₁₀ =40m/sec

表-3 導入機能一覧表

導入機能	概要	規模
ハーバー施設	対象船舶比率(中・大型を主とする) モーターボート 8割 ヨット 2割	300隻以上 (陸上保管含む)
客室	ツイン以上(40~80㎡/室)	300室以上
レストラン	展望レストラン(最上階) 100名	1
	水中展望レストラン 50名	1
プール	屋上レジャープール(大人用2、子供用1)	3
	屋内プール(ダイビング用、競泳用各1)	2
ヘリポート	緊急用又はエグゼクティブ用(28人乗クラス)	1
水上バス棧橋	水上バスアクセス用(100人乗クラス以上)	2
テニスコート	屋内8面	8面
アスレチックジム	トレーニング設備一式、エアロビクススタジオ、etc	1
その他	バー、カフェテリア、補修工場、機械室、浄化設備 飲料水タンク、etc	

4. 空間利用計画

基本条件で設定された導入機能及び規模に基づいて、空間利用計画を次のように行った。

(1) ハーバー施設

- ① 対象船舶は中・大型艇とし、平均艇長10.5m 平均ビーム3.3m 最大喫水2.2mで計画した。
- ② 海上係留施設としては常時係留施設、一時係留施設及び暴風時係留施設を検討した。

常時係留施設は図-6、図-7に示すように円筒内の内側シャフト周辺の全周と外壁の内面に57隻分設けた。

また浮体外周にビジター用のヨットやボートを10隻程度一時係留するための棧橋と、100人乗り程度の水上バス着船用棧橋を2ヶ所設けた。

尚、暴風時にはマリーナ外のプレジャーボートをマリーナ内に避難させるに十分な遊水部も確保している。

- ③ 艇庫は浮体フロート部空間と常時係留施設背面のデッキ部に設けた。浮体フロート部空間は高さが13m あるため艇庫内を3段とし、198隻のモーターボートを収容する。またデッキ部には平置きで45隻収容する。

- ④ 船舶収容能力は常時で 300隻とし、一時係留隻数と暴風時係留隻数は収容隻数に含まない。

海上係留隻数 57隻
艇庫内保管隻数 243隻(198+45)

(2) 宿泊関連施設等

- ① 客室は一室40㎡~80㎡で平均60㎡とし、浮体外周上部に 300室設ける。
- ② レストランは最上階に展望レストラン(100名程度収容)、マリーナ没水部に水中レストラン(50名程度収容)を配置する。

またこのマリーナ施設は1000名程度の利用客を考えているため、それらに対応できる各種の処理設備・動力設備およびタンク等没水部に配置する。

(3) スポーツ関連施設等

スポーツ施設及び関連施設は図-5、図-7に示すようにマリーナ上部に配置した。

(4) ヘリポート

緊急用・エグゼクティブ用ヘリコプターとして28人乗りクラスが発着できるヘリポートを屋上に設置した。

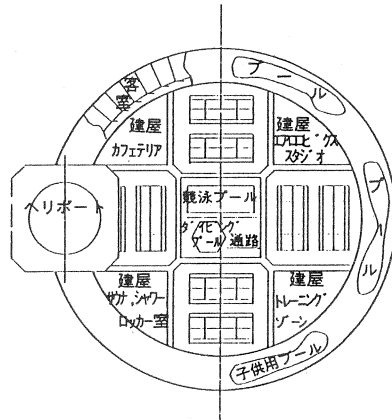


図-5 スポーツ関連施設のレイアウト図

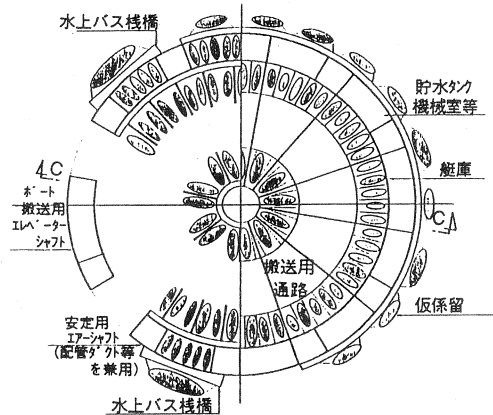


図-6 PC洋上マリーナ断面図

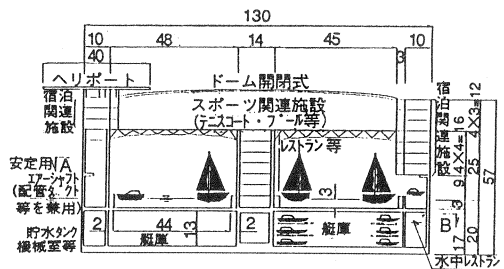


図-7 PC洋上マリーナ側面図

5. 基本構造形式

基本構造形式を立案するに際して、自然条件、運動・力学特性、構造特性等を考慮し、以下のように基本構造形式を決定した。

- ① 平面形状は波浪の影響を小さくするため、円形とする。
- ② 浮体の直径はプレジャーボートの係留(停泊)操船面から必要となるスペース確保より130mとする。
なお、直径が大きくなるので浮体センターには支柱を設ける。
- ③ 浮体及び壁体はPC構造とする。
- ④ 浮体の安定は構造重心を下げると共に、水際面の断面2次モーメント(I)を大きくすることで確保する。 $(GM = I / V - CG)$
- ⑤ 構造重心を下げるために構造下部はコンクリート造、構造上部はスチール造とする。また、浮体水際面の断面2次モーメントを大きくとるため円筒浮体外周部に仕切壁(空室)を設ける。
- ⑥ 浮体重心の平面的な偏心による浮体傾斜に対する姿勢制御は、浮体外周部の支柱底部に海水をバラスト水として入れバラストコントロールする。
- ⑦ 浮体内のプレジャーボート用の内水面水深は3mを確保する。
- ⑧ コンクリート構造の内部空間はプレジャーボート等の保管、電気・機械設備、貯蔵設備の設置や水中レストラン設置等に有効利用する。
- ⑨ 構造上部には宿泊関連施設、スポーツ関連施設等の利用客用の各種施設を中心に配置する。

以上の考え方に基づいた「PC洋上マリナー」の基本形状は、図-5、図-6、図-7の通りである。

構造は、概念的に内部空間利用可能な中空円筒盤状の浮体の上に、諸施設を配置できるようなものになっている。浮体部は、直径130mおよび110mの二重に配置した外周円筒壁と、直径14.0mの中央塔身円筒壁、さらに放射状に配置した12枚の梁壁と上・下床版により成っている。外周円筒壁は防波壁として喫水線上部まで立ち上がっており、船舶の出入りが可能なように2ヶ所の開口部を有している。上部諸施設は、この外周壁と中央塔身円筒壁により支えられており、内部空間にはヨットの航行や係留が可能な、水深3mの静穏な水面を確保できるようにする。また外周壁の喫水部内側には、浮体としての復元性を大きくし、安定性を良くするために箱形の浮体部を6ヶ所設ける。

これらの構造が成り立つことを裏づけるために、浮体部の上・下床版、放射梁壁、外周円筒壁、そして喫水線付近の外周防波壁についての構造検討と、全体の重量バランスを計算し確認した。

まず図-7に示す構造概要に基づき、各構造材の重量計算を行い、浮体の安定検討を行った。浮体部上床版の上部3mの位置が喫水線になるようバラストを考慮して安定度を確認した。

浮体の安定条件	$GM = I / V - CG > 1.0m$
喫水面断面二次モーメント	$I = 4,742,401.0 \text{ m}^4$
浮体の排水容積	$V = 233,916.3 \text{ m}^3$
浮心位置(浮体底からの距離)	$C = 9.01m$
重心位置(浮体底からの距離)	$G = 13.50 \text{ m}$
重心とメタセンターとの距離	$GM = 15.78 \text{ m}$ $> 1.0 \text{ m}$

(半潜水浮体であるので最小GMを1.0mとした)

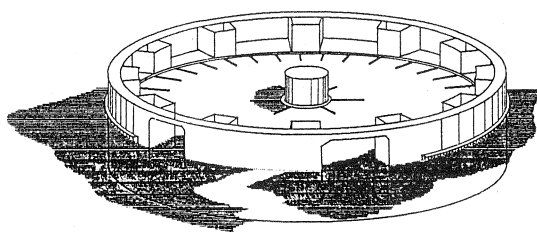


図-8 浮体及び壁体部概念図

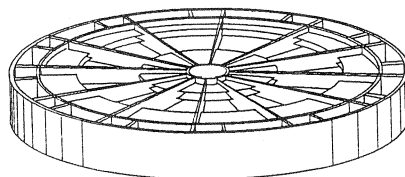


図-9 浮体下部(艇庫部)概念図

次に、構造検討にあたり解析モデルの評価を以下のごとく行った。

- ① 水中浮体構造高さは、浮力バランスの検討によりH=17m とする。
- ② 上床版・下床版の検討は、FEM解析で30°分割モデルと60°分割モデルを比較検討して、30°分割モデルが適当であることがわかり、上床版厚1.25m と下床版厚2.50m を目安として設定する。
- ③ 放射梁+上・下床版の構造解析は、床版の有効幅を設定して梁モデルとして解析しP R C構造で成立つことを確認する。
- ④ 外周円筒壁の検討は、4辺固定版として解析し、P C部材として設定する。水圧によるフープは水平方向の部材軸力として考慮して、厚さ1.50m となる。鉛直方向はP C部材、水平方向(円周方向)はR C部材となる。
- ⑤ 外周防波壁の検討は、厚さ1.00m のR C部材として4辺固定版として解析検討する。
- ⑥ 塔身壁周辺上床版厚さは、FEM立体折板解析の結果、塔身壁付近上床版部に応力が集中するため厚さ1.50m とする。
- ⑦ 塔身上内・下床版厚さは、FEM立体折板解析で応力の流れを確認している値を使うものとして上床版厚さは2.00m で下床版厚さ3.50m とする。

以上の解析モデルにて床版応力、放射梁応力、外周壁応力等を確認し、各部材断面と構造を決定した。さらにFEM立体折板解析の結果分析により全体構造での応力の分布状況を把握した。

これらの検討については、(その2)にて述べる。

6. 係留・動揺の検討

設定した構造形式に基づき、浮体の係留システムの計画例として、カタナリーチェーンによる多点係留方式で検討を行った。検討を行うに当たり、浮体は開口部、突起等のない円筒と仮定し、係留チェーンの設計に際しては風荷重(風圧力)、潮流力、波漂流力を定常外力として扱い、これに動揺による変動力を考慮した。

動揺計算は浮体を自由浮体と考え、運動方程式により解析したが、その結果を表-4に示す。計算結果から判断して常時は問題ないが、異常時には生理学的にどうか研究していく必要がある。

浮体の係留方法は係留チェーンで放射状に12点係留するものとし、静的解析法により係留計算を行った。

動揺時の計算結果を図-10に示す。動揺時の係留チェーンに作用する最大張力は720tとなり、アンカーは11m×11m×5mのものが必要となった。

表-4 動揺解析結果

	常時	異常時
δx : スウェイク* (m)	1.45×10^{-2}	± 0.785
δy : ヒールク* (m)	9.81×10^{-2}	± 0.508
θz : ローリング* (deg)	2.93×10^{-1}	± 0.642

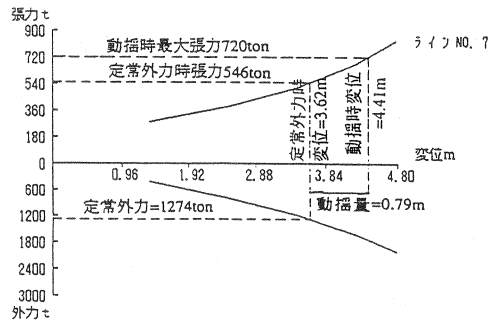


図-10 係留解析結果

7. おわりに

本研究内容はあくまで考えた構想をまず描いてみようという段階のもので調査研究の足りないところもあり、引続き同テーマで活動を行っているところである。

(参考文献)

- ・ (財)日本海事広報協会: 海洋性レクリエーションの現状と展望、平成3年9月
- ・ 協会誌「プレストレストコンクリート」1992 Vol.34、No.4、No.5