

(72) PC洋上マリーナ施設に関する研究(その2)

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
 (株)錢高組土木本部PC部 正会員 ○野永 健二
 (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平成2年度からの2年間の実施テーマとして活動した「プレストレストコンクリート洋上マリーナ施設」という新しいアイデアを具体化して提案する研究の中で、計画した構造規模が実現可能な範囲にあるか確認すべくいろいろと検討を実施している。

本研究は海洋域での新しいプレストレストコンクリート技術活用展開のひとつのきっかけをつくりたいという期待から実施されたもので、協会誌にもその成果を報告した。

アイデアの背景と構想の基本的考え方は(その1)で説明しているのので、これまでの提案の具体化にむけた検討成果の中から浮体部の構造を中心とした要点を(その2)として説明する。

2. 浮体部構造の概要

構造は概念的に内部の空間を収納スペース等に利用できるような中空円筒盤状のコンクリート浮体の上に諸施設を配置出来る様なものとなっている。浮体部は直径130m及び110mの二重に配置した外周円筒壁と直径14mの中央塔身円筒壁、さらに放射状に配置した梁壁と上・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上っており、船舶の出入りのために2ヶ所の開口部を設けている。

上部の諸施設は、この外周壁と中央塔身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の静穏な水域を確保した。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、箱型の浮体部を6ヶ所設けた。没水浮体構造高さは $H=17.0\text{m}$ とし、浮体構造には一部軽量コンクリートを使用することにより、単位体積重量を 2.4t/m^3 とした。構造の決定にあたっては「(その1)5. 基本構造形式」に説明した手順で評価検討を行っており結果の一覧を表-1に、そして構造図は図-2に示したようになった。

表-1 各部材決定構造一覧表

| 構造物 | 構造寸法 | 構造 | 解析検討モデル |
|-------|------------------------|-----------------|-----------------|
| 上床版厚 | 外周壁側 $t=1.25\text{m}$ | PC構造 | F.E.M.解析・梁モデル解析 |
| | 塔身壁周辺 $t=1.50\text{m}$ | PC構造 | 梁モデル解析・FEM立体解析 |
| | 塔身壁内部 $t=2.00\text{m}$ | PC構造 | F.E.M.立体折板モデル解析 |
| 下床版厚 | 一般部 $t=2.50\text{m}$ | PC構造 | F.E.M.立体折板モデル解析 |
| | 塔身壁内部 $t=3.50\text{m}$ | PC構造 | F.E.M.立体折板モデル解析 |
| 外周壁 | 外側 $t=1.50\text{m}$ | PC構造 | 四辺固定版モデル解析 |
| | 内側 $t=1.00\text{m}$ | RC構造 | |
| 中央塔身壁 | $t=1.00\text{m}$ | RC構造 | |
| 放射梁壁 | $t=1.00\text{m}$ | 上下床版一体 PRC構造 | 梁モデル解析 |
| 外周防波壁 | $t=1.00\text{m}$ | RC構造 | 四辺固定版モデル解析 |

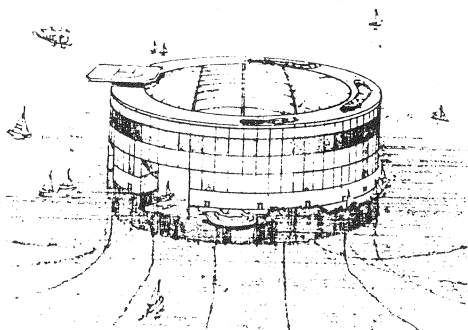


図-1 構造イメージ図

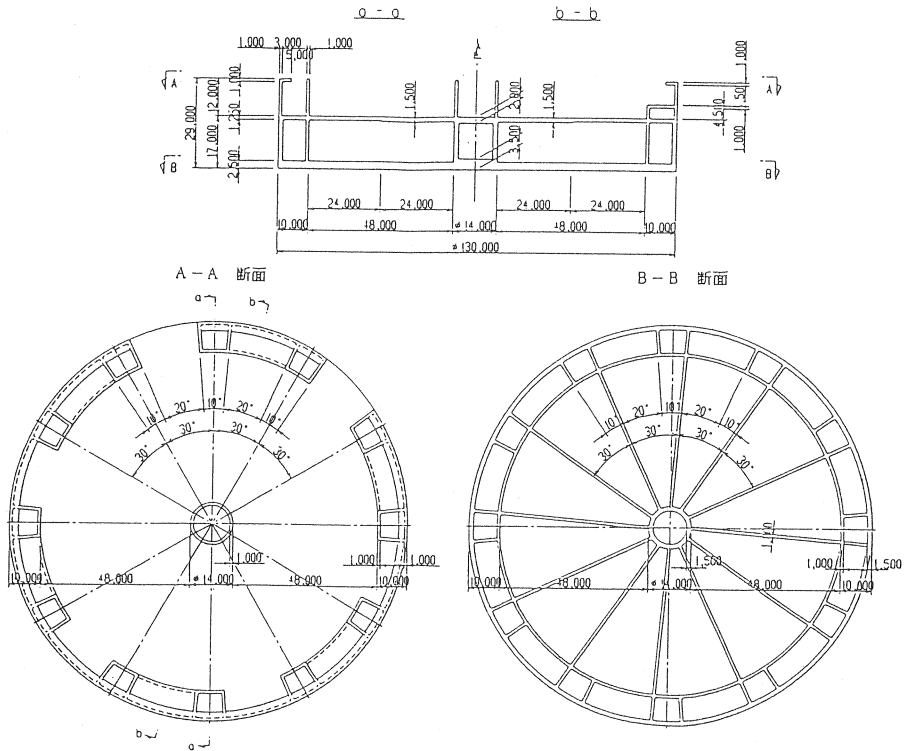


図-2 構造図

3. 浮体に作用する荷重

自重・設備荷重等の全体重量は約24万tfであるが、そのうち下部浮体構造体の重量が約21万tfで9割近く占めている。底版に作用する最大鉛直波圧はサグ・ホグ波形状態で発生しており最大波圧強度合力は±約2万tfで浮力の1割弱である。荷重は中央塔身軸に対し概ね軸対称に分布し図-3のように作用するものとして検討した。

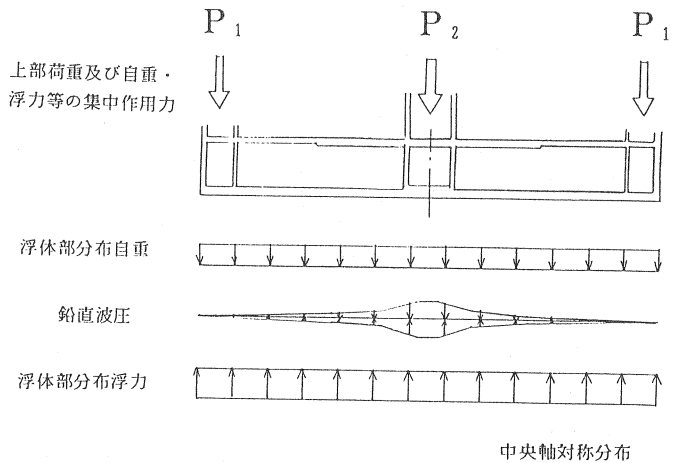


図-3 荷重説明図

4. 有限要素法立体折板モデル解析による構造物作用応力の評価

設計上の基本的な部材応力の検討は梁モデルや部分モデル解析で決定したが、全体構造での応力分布状況を把握し上・下床版及び放射梁の設計の妥当性を評価するために有限要素法立体折板モデル解析を行い検討した。

(1) 構造モデル

構造モデルは図-4のように浮体部コンクリート構造体を4分割した90°モデルをつくり下床版各要素接点で水圧によるバネ支持を評価したものとしている。

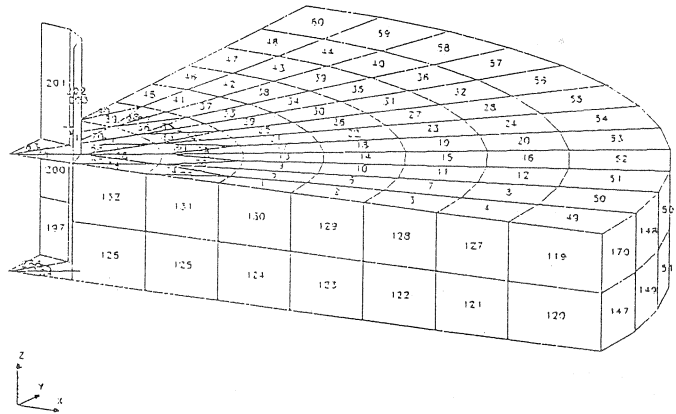


図-4 モデル図

(2) 応力分布

自重・上部荷重・変動波圧等による応力を検討したが、ここでは自重+上部荷重の応力分布図を図-5・図-6に示す。

上床版上側の塔身周辺の広い範囲に二方向引張領域が生じている。

$$(\sigma = -170 \sim -180 \text{tf/m}^2)$$

下床版の下側は全圧縮で上側の梁間中央部に放射方向と円周方向の両方向引張力がみられる。(放射方向 $\sigma = -66 \text{tf/m}^2$ 円周方向 $\sigma = -107 \text{tf/m}^2$)

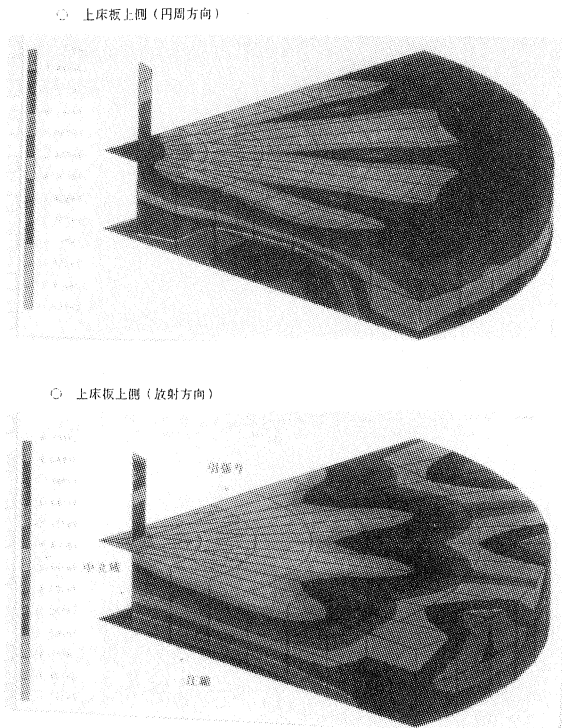


図-5 上床版及び放射梁応力分布図

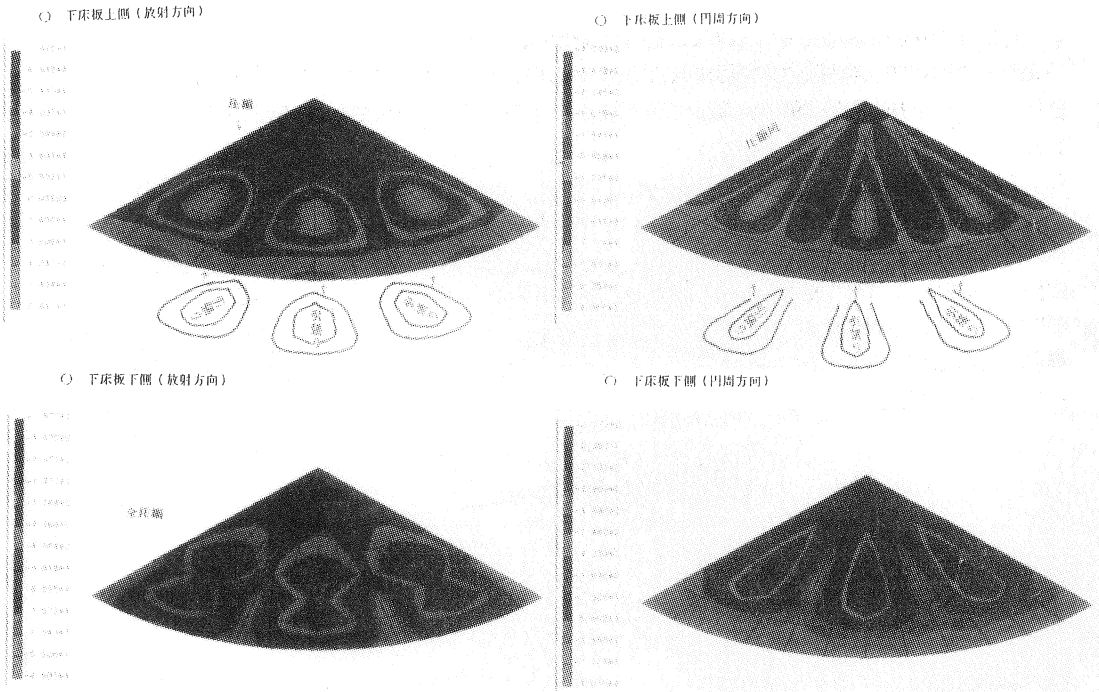


図-6 下床版応力分布図

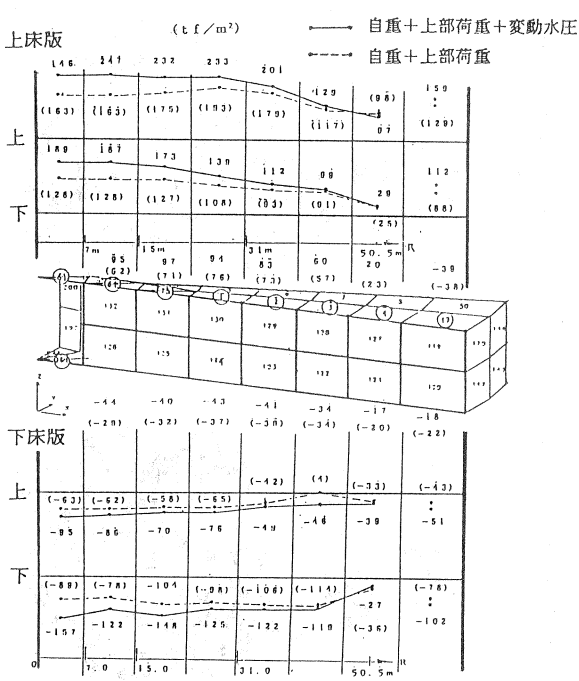


図-7 放射梁位置応力分布説明図

(3) 放射梁位置での応力分布

図-7は自重+上載荷重と自重+上載荷重+変動水圧の2ケースの放射梁位置での応力分布を説明した図である。上から上床版の上端部応力、下端部応力、下床版の上端部応力、下端部応力の順に示している。この応力分布から推定し曲げモーメントを求め図-8に点線で示したのが有限要素法で解析した梁位置での推定曲げモーメント分布図である。

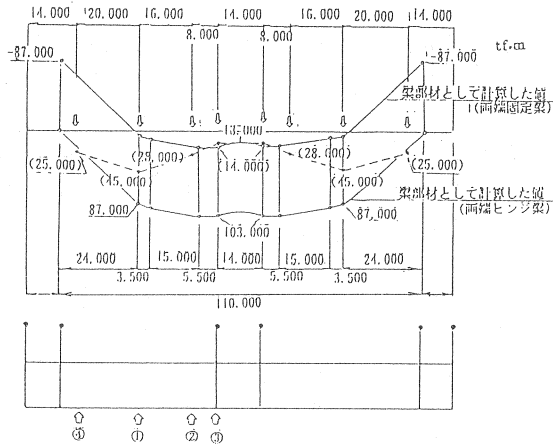


図-8 放射梁部断面力(曲げモーメント)分布推定

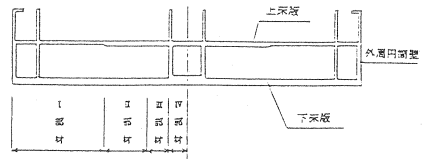
(4) 主な検討事項

- 中央塔身付近の放射方向曲げモーメントは、梁部材として計算した両端固定モデルと同程度になっている。その分円周方向に分配力が発生していると思われる。
- 外周付近の放射方向曲げモーメントは、両端ヒンジモデルに近い。(図-8)
- 上床版の円周方向に放射方向と同程度の引張力が発生するので補強を必要とする。外周壁との中間点位置までの塔身周辺の上床版厚さを厚くする。
- 外周部荷重が大きめに働いているので下床版下側は全圧縮になっている。
- 塔身付近の荷重負担率をもう少し大きく出来る。

表-2 PC鋼材の基本配置

| 部 材 | I 部材 | II 部材 | III 部材 | IV 部材 |
|-------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 上床版 | 19T15.2 etc 50cm 1段配置 | 19T15.2 etc 50cm 2段配置 | 19T15.2 etc 50cm 2段配置 | 19T15.2 etc 50cm 2段配置 |
| 下床版 | 19T15.2 etc 50cm 1段配置 | 19T15.2 etc 50cm 2段配置 | 19T15.2 etc 50cm 3段配置 | 19T15.2 etc 50cm 3段配置 |
| 外周円筒壁 | SBPR 110/135 φ 3 2mm etc 30cm × 4列配置 | | | |

注-1 上床版、下床版はX、Y方向に格子状に配置するものとした
 注-2 外周円筒壁は鉛直方向のみの配置としている。
 注-3 部材割図



5. コンクリート構造体主要材料数量及びPC鋼材の基本配置

検討により決定されたPC鋼材の基本配置及び主要材料数量は表-2及び表-3のとうりである。

表-3 数量総括表

| | 仕 様 | 単 位 | 数 量 | | | | | 備 考 | |
|--------|------------------------------|----------------|--------|-------|------------|------------|--------------|--------|---|
| | | | 上床版 | 下床版 | 円 筒 壁 | | 放 射 梁 その他 | | |
| | | | | | 外回り 円筒壁 | 内回り 円筒壁 | 合 計 | | |
| コンクリート | σ ck = 400kg/cm ² | m ³ | 17394 | 33183 | 8023 | 5387 | 20130 | 84117 | 一部軽質コンクリート使用 単体積積量(平均) γ c = 2.4 t/m ³ |
| 型 枠 | | m ² | 12039 | 14294 | 10380 | 9577 | 37942 | 87217 | 平均型枠量 1.036 m ² / m ³ |
| 鉄 筋 | | t | 2087 | 2389 | 578 | 970 | 3623 | 9647 | 平均鉄筋量 115 kg/m ³ |
| PC鋼材 | SBPR 7A 19T15.2 | t | 1408 | 1500 | - | - | - | 2908 | |
| | SBPR 110/135 #32 | t | - | - | 577 | - | - | 577 | |
| 支保工 | | m ³ | 151618 | - | - | - | 14819 | 166437 | |

6. その他検討事項と今後の課題

施工方法については、まず大型海洋構造物ドックで下部浮体構造の外側を建造し、さらに建造をすすめるための静穏な海域への移動係留と残りの浮体構造及び上部構造施設の施工、そして設置海域までの曳航と据え付けという手順で検討を行った。建造のための全体工程は4~8ヶ月としたがユニット化や洋上接合の技術的課題解決により工期短縮の期待もある。段階施工時の構造の検討や全体構造の見直しによるより経済的な断面設定については、現在当委員会で継続的に研究をすすめている。さらに、この洋上マリーナ施設構想を実現するにあたって解決すべき課題を議論し整理したので以下に示す。

(1) 計画に關しての課題

- a. 自然条件；静穏な海域に設置することにより経済面や維持管理面での効果が期待されるが、かなり長い耐用期間が求められる構造となるので波荷重の設定等合理的な設計荷重の検討が必要。
- b. 法規等；非常に沢山の法的規制が考えられる中で、適用する法規が明確でないことや、行政方針整備とその指導体制の充実に課題となる。防火・脱出に關連しても統一的な適用法的規制の見解も必要。
- c. 環境；海生生物への配慮や環境への影響の検討が必要。
- d. 使用条件；居住空間等も併設するので、動揺の許容範囲の検討や浮体の移動使用を配慮した対応の検討等も必要。

(2) 構造・機能に關しての課題

- a. 出入艇用開口部の暴風時防波装置；水門・浮き防波堤・没水型消波装置等による内部静穏水域の確保方法の検討。
- b. 動揺・係留；風・波等による構造物の動揺や内部係留水域のスロッシングをより小さく押さえる方法に課題がある。バラストコントロールや係留方式、さらに喫水深のコントロールによる効果等の検討も必要。
- c. 艇収納庫；艇収納庫への出し入れシステム研究と浮体内開口部の構造的な補強対応の検討。
- d. 浮体構造物の利用法；マリーナ機能以外の利用法に關する多種多様なアイデアの付加価値を高めることに普及の課題あり。

(3) 材料・その他技術に關しての課題

- a. 材料；軽量・高強度コンクリートに關し、新材料の開発や鋼材との複合的な使用方法の検討。
防食・防水・耐火に關する新素材の開発・適用の検討。
- b. ブロック分割工法；大型浮体構造をいくつかのブロックに分割して洋上接合できれば建設費等経済的効果が期待できる。洋上接合には風や波等の環境荷重による水平力や、傾斜による荷重その他不測の荷重に耐えられる設計が必要。さらに、内部部材のプレキャストブロックによるユニット化も研究の課題。
- c. アクティブバランスコントロール；波浪等に対する安定性確保の為、浮体周辺及び下部のセル室にコンピューターで可動バラスト（海水）を自動注排水するシステム等、構造全体を変化する作用外力とつり合わせるシステムの実現の取り組みは、安全性の確認の面でも非常に重要な課題となる。

7. おわりに

各委員には、限られた時間の中でも熱心に取り組んで頂き、なんとか新しいアイデアを具体化して提案出来るレベルまでに至ることが出来た。基本・概念・構造・係留・動揺・施工・法規等、それぞれ検討の進捗に合わせてワーキンググループを編成しながら実施したものであるが、陰でいろいろ委員各位のご苦勞があったことも報告したい。当研究は本年度も継続して行っているが、皆様からの御叱正や御指導を得て構想をさらに発展できれば幸いである。