

# PC洋上マリーナ施設に関する設計・施工法の研究（その2）

海洋構造物委員会

## はじめに

当委員会では、海洋域でプレストレストコンクリート技術を活用できる大型海洋構造物の一つとしてPC洋上マリーナ施設を考案し、具体化についてスタディしている。前号と2回に分けた報告となるが、今回は前号に示した目次のうち後半の、5. 構造の検討、6. 施工方法の検討、7. 法規、8. 今後の課題、を報告する。

## 5. 構造の検討

### 5.1 浮体部構造図

本PC洋上マリーナ施設の浮体部構造の主要寸法を図

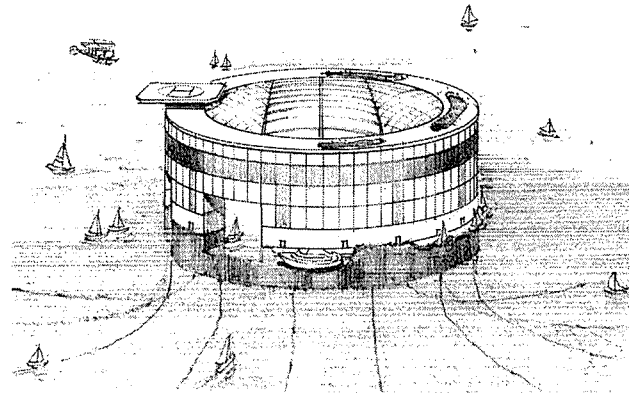


図-12 構造イメージ図

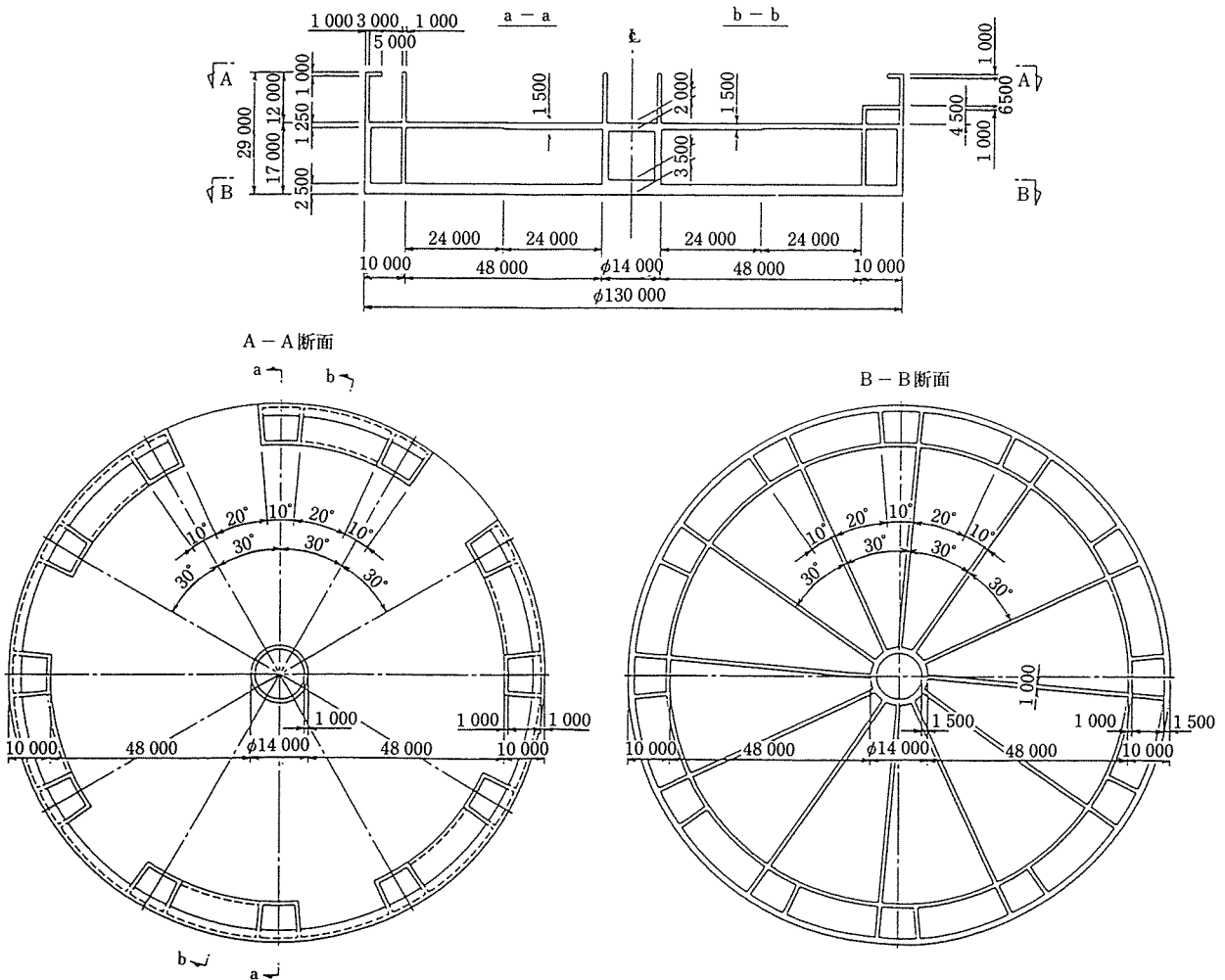


図-13 構造図

◇研究報告◇

-13 に示す。

5.2 各部材の検討

構造設定の概要については前号の「3.3 構造の設定」で記述しており、ここでは各部材の検討内容を示す。

5.2.1 上下床版の検討

FEM 解析により構造検討を行い、上下床版にプレストレスを導入した場合の応力を照査している。

(1) 検討荷重およびプレストレス量

検討荷重 [上床版] 水荷重 (水深 3 m)+自重  
[下床版] 水荷重 (水深 20 m)+自重

プレストレス量 軸力 200 tf/m<sup>2</sup> を導入する。

(2) 許容引張応力度(コンクリート標準示方書より)

$$\begin{aligned} \sigma_{ta} &= 1/2 \sigma_{ck}^{2/3} / \gamma_c \\ &= 1/2 \times (400)^{2/3} / 1.0 \\ &= 27 \text{ kgf/cm}^2 (=270 \text{ tf/m}^2) \end{aligned}$$

とする。

(3) 検討結果

版厚を変化させて最大応力により版厚を決定する。版厚は、上床版 1.25 m, 下床版 2.50 m となり、発生応力は図-14 に示すとおり、許容引張応力度 270 tf/m<sup>2</sup> を十

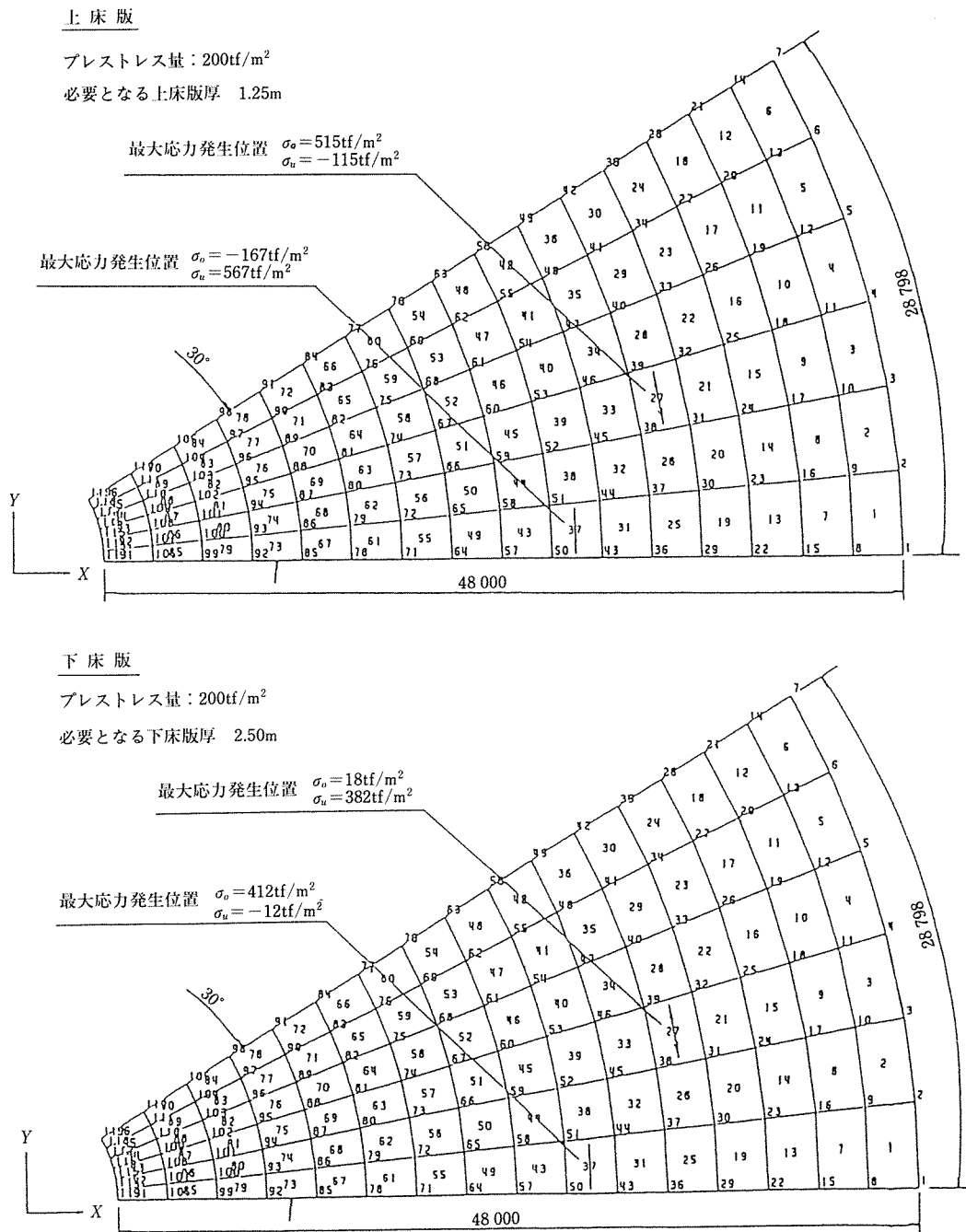


図-14 モデルおよび発生応力説明図

分満足している。

### 5.2.2 放射梁+上下床版 構造解析

#### (1) 波浪による動水圧の評価

##### ① 基本方針

- ・自由浮体とする。
- ・浮体を開口部や突起のない円筒と仮定する。
- ・波力解析法は軸対称グリーン関数法による。

##### ② 設計条件

- ・水深 60 m, 波の周期 10 sec, 最高波高 7.2 m

##### ③ 設計に用いる波圧強度

軸対称グリーン関数法により解析し求めた鉛直力最大時の圧力分布図より安全側に図-15のように波

圧強度の分布を決める。

(最大鉛直波圧強度合力=19 137 tf)

#### (2) 構造解析モデル

放射梁部を図-16のようにモデル化する。

#### (3) 荷重(自重・浮力)の荷重モデル

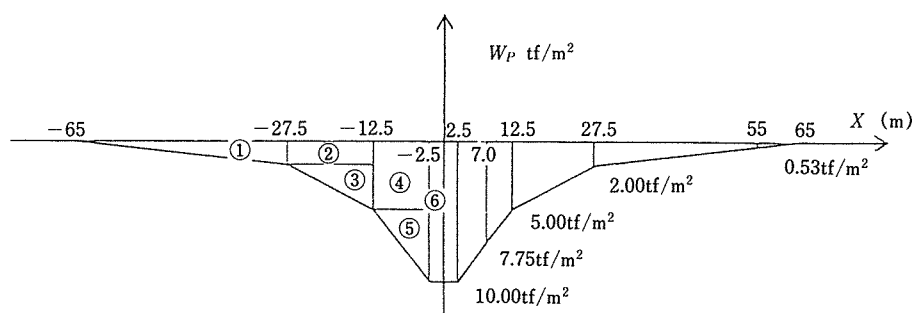
自重および浮力については図-17のように荷重するものとする。

#### (4) 断面力

両端の拘束条件をかえて曲げモーメントを求めると図-18のようになる。

#### (5) 応力度

放射梁部の応力度は、安全側に両端に拘束条件をヒン



(最大鉛直波圧強度合力  $P=19\ 137\text{tf}$ )

図-15 鉛直波圧強度分布図

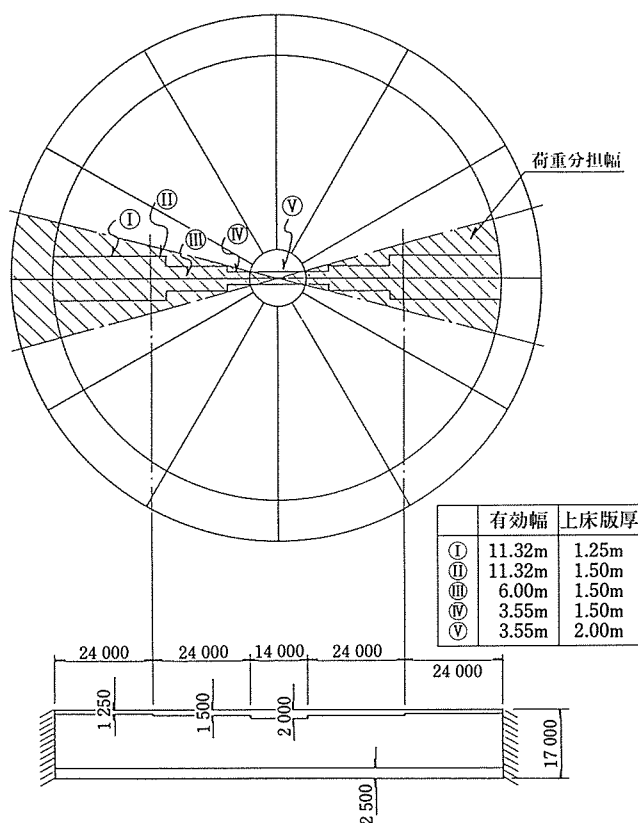
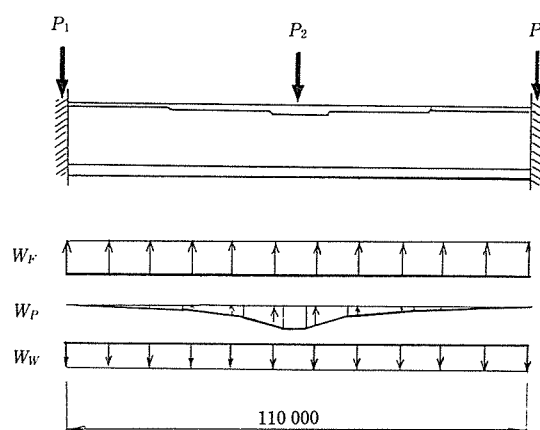


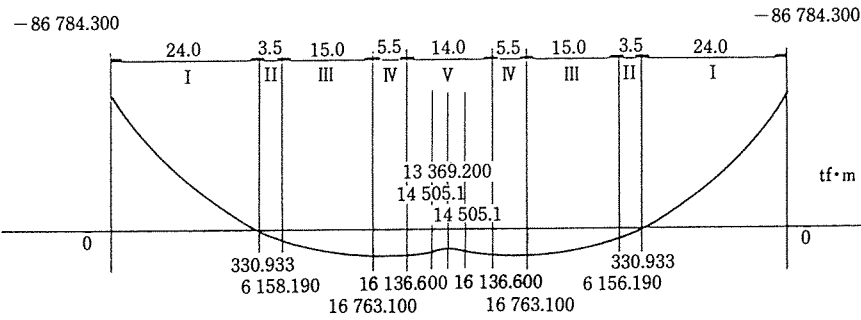
図-16 構造解析モデル



上部荷重	$P_1$	50 313 tf
	$P_2$	5 689 tf
浮力	$F$	166 403 tf
	$W_F$	17.51 tf/m <sup>2</sup>
鉛直波圧	$P$	19 137 tf
	$W_P$	0~10.0 tf/m <sup>2</sup>
自重	$W$	110 000 tf
	$W_w$	11.57 tf/m <sup>2</sup>
	$W_F - W_w$	5.94 tf/m <sup>2</sup>

図-17 荷重説明図

両端を固定とした場合のモーメント図



両端をヒンジとした場合のモーメント図

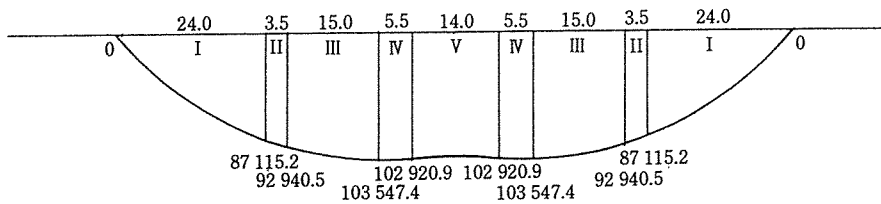
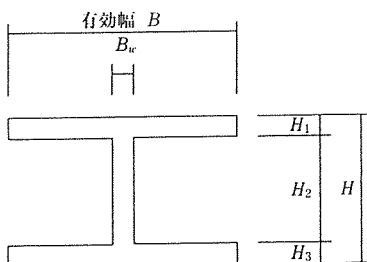


図-18 曲げモーメント図

表-8 放射梁部材応力度検討結果

部 材		II部材	III部材	IV部材	V部材	
$M$	(tm)	92 940.5	103 547.4	103 547.5	102.920.9	
$B$	(cm)	1 132	600	355	355	
$B_w$	(cm)	100	100	100	100	
$H$	(cm)	1 700	1 700	1 700	1 700	
$H_1$	(cm)	150	150	150	200	
$H_2$	(cm)	1 300	1 300	1 300	1 250	
$H_3$	(cm)	250	250	250	250	
P C 鋼材配置	上床版	$d_p$	75.0	75.0	75.0	100.0
		$A_p$	19 T 15.2×1段 596.6	19 T 15.2×2段 632.5	19 T 15.2×2段 374.2	19 T 15.2×2段 374.2
		$P_e$	6 563.0	6 957.5	4 116.0	4 116.0
	下床版	$d_p$	1 575.0	1 575.0	1 575.0	1 575.0
		$A_p$	19 T 15.2×1段 596.6	19 T 15.2×2段 632.5	19 T 15.2×3段 561.3	19 T 15.2×3段 561.3
		$P_e$	6 563.0	6 957.5	6 175.0	6 175.0
検討結果	$\sigma_{cu}$	(tf/m <sup>2</sup> )	648.0	1 230.0	1 389.0	1 341.0
	$\sigma_{cl}$	(tf/m <sup>2</sup> )	0.0	0.0	0.0	0.0
	$\sigma_s$	(tf/m <sup>2</sup> )	2 252.0	7 125.0	12 716.0	1 551.0
	計算ひびわれ幅	(mm)	0.117	0.222	0.290	0.269
	制限ひびわれ幅	(mm)	0.294	0.294	0.294	0.294

注) 鉄筋は上・下床版共に I ~ III部材は D 32 ctc 200 mm で、IV ~ V部材は D 32 ctc 100 mm で配置する。



とした場合の断面力により PRC 部材として計算する。計算結果を表-8 に示す。

### 5.2.3 外回り円筒壁の検討

#### (1) 設計波力

$$P_Z = \rho g H / 2 (1 + |R|) \frac{\cosh \{2\pi/\lambda \cdot (h + H/2 + Z)\}}{\cosh \{2\pi/\lambda \cdot (h + H/2)\}} - \rho g Z$$

$P_Z$ : 任意深さ  $Z$  における浮体に作用する波圧

$\rho$ : 海水の密度 (0.105 t·sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

$g$ : 重力加速度 (9.8 m/sec<sup>2</sup>)

$H$ : 入射波高 (7.2 m : 暴風時)

$h$ : 設置場所水深 (60.0 m)

$\lambda$ : 入射波長 (1.56 × 10<sup>2</sup> = 156 m)

$R$ : 反射率 (1.0 : 全反射とする)

$Z$ : 波力算定位置の水深

・ 海水面の波圧  $P_{Z=0m} = 7.4 \text{ tf/m}^2$

・ 浮体下面位置の波圧  $P_{Z=20m} = 24.0 \text{ tf/m}^2$

波圧分布は図-19 に示す。

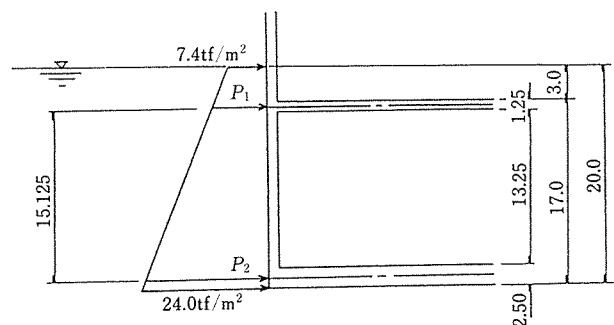


図-19 波圧分布図

(2) 断面力および部材の検討

① 円周方向

円周方向に関しては、構造体は完全な円弧形状であり、外圧作用により発生する軸圧縮力に対する検討を行う。

軸圧縮力  $N_{max}=747.5 \text{ tf/m}$  部材厚  $t=1.5 \text{ m}$   
 所要軸方向鉄筋量  $A_{s,max}=29.0 \text{ cm}^2/\text{m}$   
 配筋量 D 22 ctc 20 cm×2列  $A_s=38.71 \text{ cm}^2/\text{m}$

② 鉛直方向

作用外圧により発生する断面力を四辺固定版として算出し、最大曲げモーメント発生位置で所要プレストレスを決めて合成応力度をチェックする。

最大発生曲げモーメント  $M_x=308.2 \text{ tfm/m}$   
 プレストレス量 SBPR 110/135  $\phi 32 \text{ mm}$

ctc 30 cm×4列  
 $P_e=857.813 \text{ tf/m}$ ,  $\sigma_{P_e}=572 \text{ tf/m}^2$

合成応力度

圧縮側  $\Sigma\sigma_c=1393 \text{ tf/m}^2 \leq 1400 \text{ tf/m}^2$   
 引張側  $\Sigma\sigma_c=-249 \text{ tf/m}^2 \geq -270 \text{ tf/m}^2$

5.2.4 外回り防波壁の検討

(1) 作用波圧

図-20 に示すとおり、静海水面位置の波圧  $P_{Z=0 \text{ m}}$  が、その上部において P 点で 0 となる三角形分布をなすように作用波圧をきめる。これは、ピッチングやヒービングを考慮して余裕をみたものである。計算上の遡上高は  $\eta=5.7 \text{ m}$  で、静海水面位置の波圧は  $P_{Z=0 \text{ m}}=7.4 \text{ tf/m}^2$

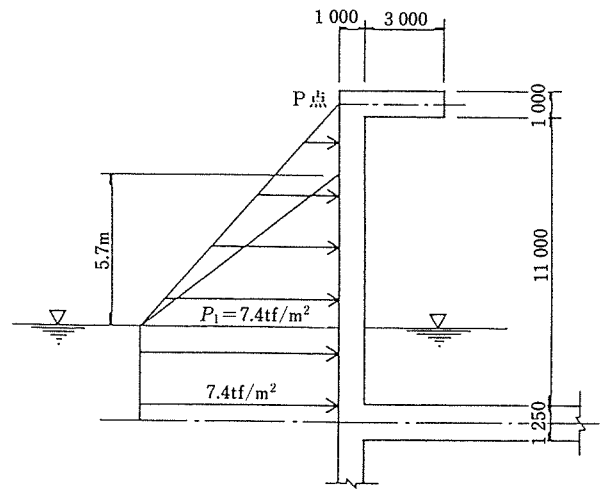


図-20 作用波圧説明図

である。

(2) 断面力および部材の検討

発生する断面力を四辺固定版として計算し、最大曲げモーメント発生位置で鉄筋配置および応力を確認する。

最大曲げモーメント  $M=69.20 \text{ tf}\cdot\text{m/m}$

部材厚  $t=1.0 \text{ m}$

コンクリート応力度  $\sigma_c=580 \text{ tf/m}^2 \leq 1200 \text{ tf/m}^2$

鉄筋応力度 (配置 D 25 ctc 15 cm)

$\sigma_s=25030 \text{ tf/m}^2 \leq 27000 \text{ tf/m}^2$

5.2.5 F.E.M. 立体折板モデル解析による検討

全体構造での応力の分布状況を把握し上・下床版および放射梁の設計の妥当性を評価するために F.E.M. 立

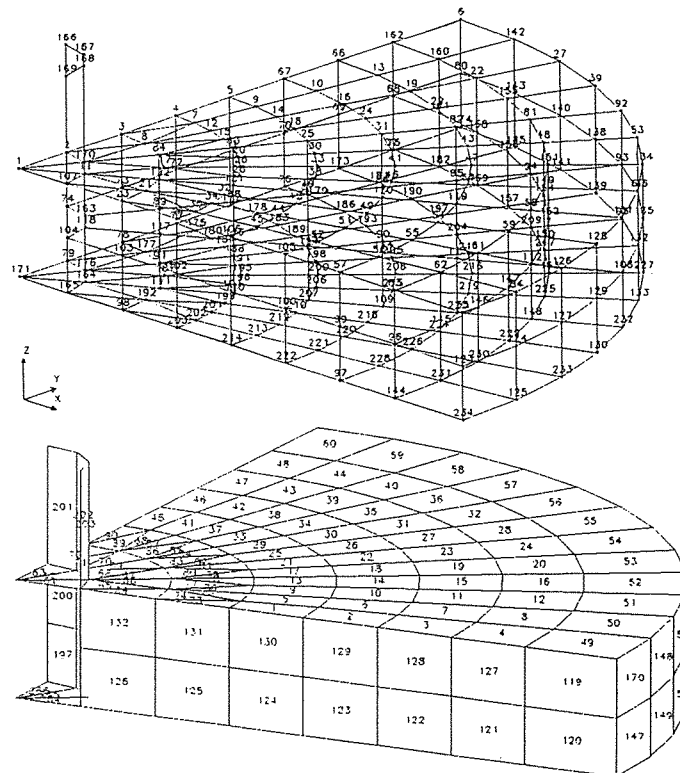


図-21 モデル図

◇研究報告◇

体折板モデル解析を行い検討した。

(1) モデル

図-21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するようにした。

(2) 応力分布

自重・上部荷重・変動水圧等による応力を検討したが、ここでは自重+上部荷重+底面水圧が作用したときの応力分布を図-22に示す。

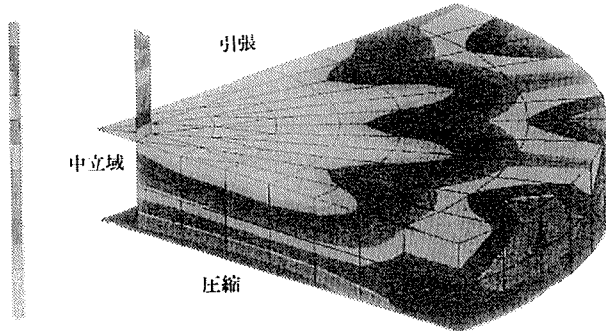
上床版上側の塔身周辺の広い範囲に二方向引張領域が生じている ( $\sigma = -170 \sim -180 \text{ tf/m}^2$ )。

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  $\sigma = -107 \text{ tf/m}^2$ )。

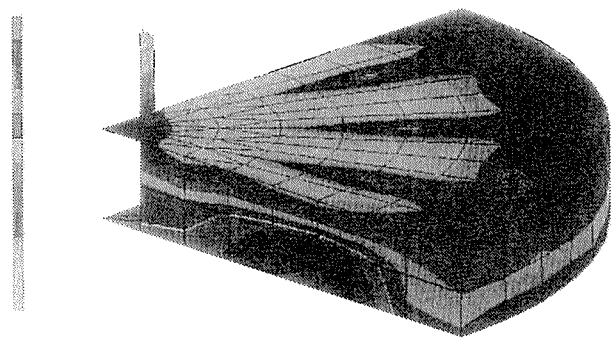
(3) 主な検討事項

- ① 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、円周方向の分配力が発生している。
- ② 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-24 参照)。
- ③ 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塔身付近の上床版厚さを厚くする。
- ④ 下床版下側は全圧縮となっている。
- ⑤ 塔身付近の上部荷重負担率をもう少し大きくできる。
- ⑥ 図-24の推定断面力は梁位置の床版上下の応力分布値より梁応力を近似的に推定して求めている。

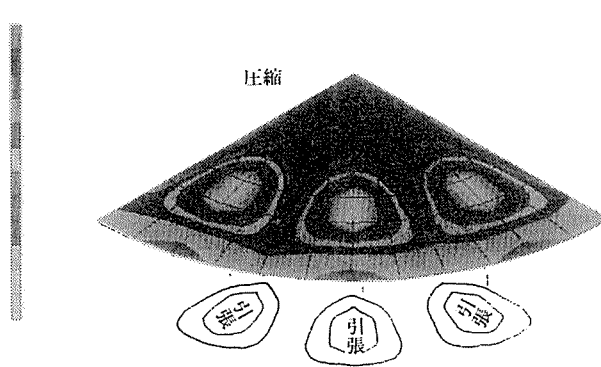
○上床版上側 (放射方向)



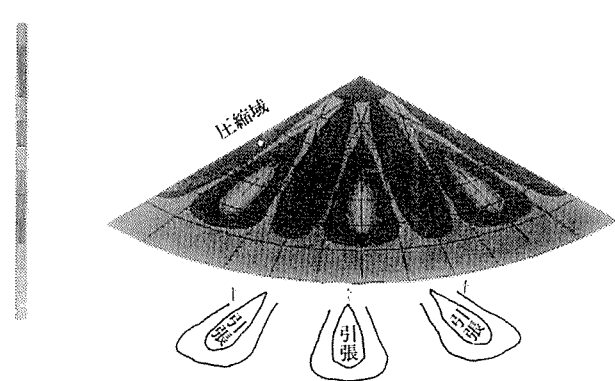
○上床版上側 (円周方向)



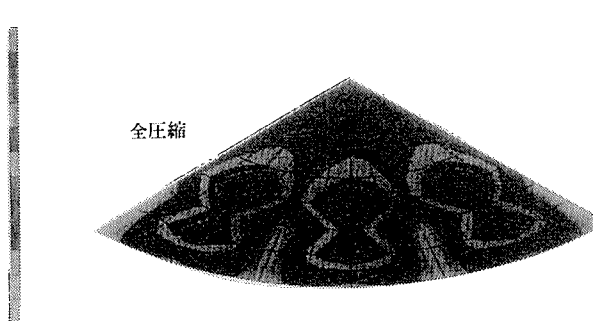
○下床版上側 (放射方向)



○下床版上側 (円周方向)



○下床版下側 (放射方向)



○下床版下側 (円周方向)

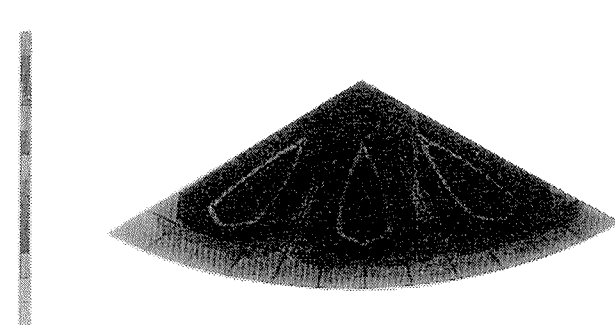


図-22 応力分布図 (自重+上部荷重+底面水圧)

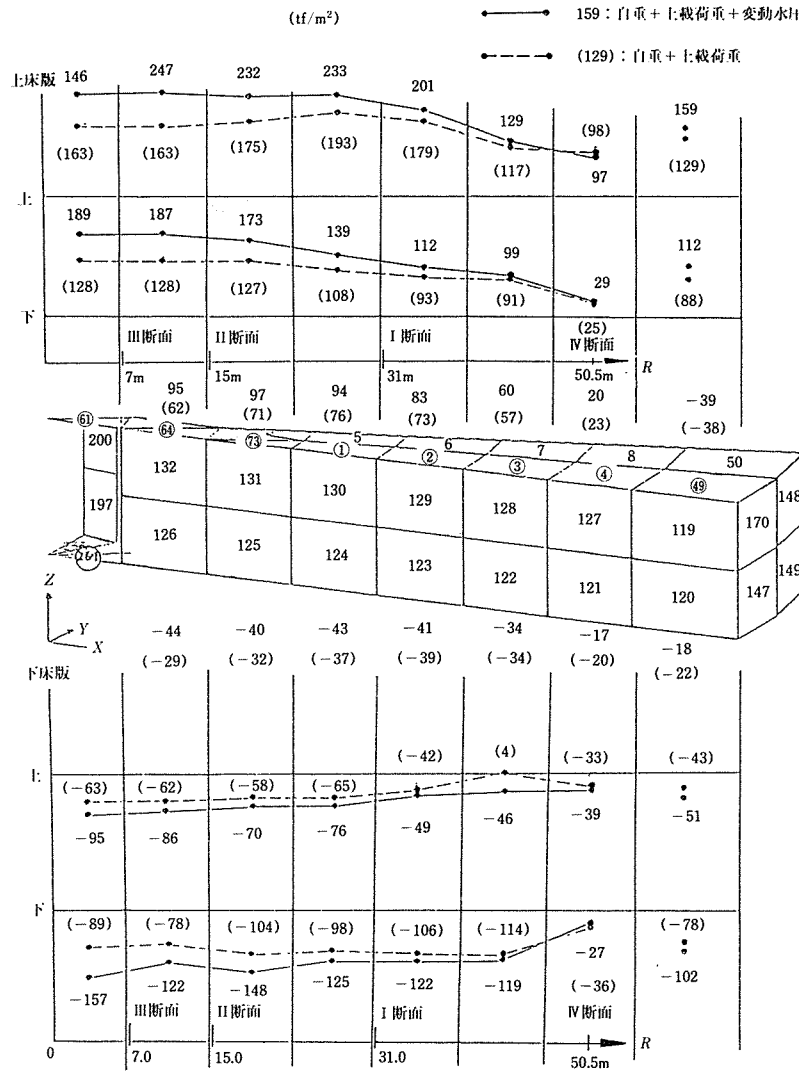


図-23 放射梁位置応力分布説明図

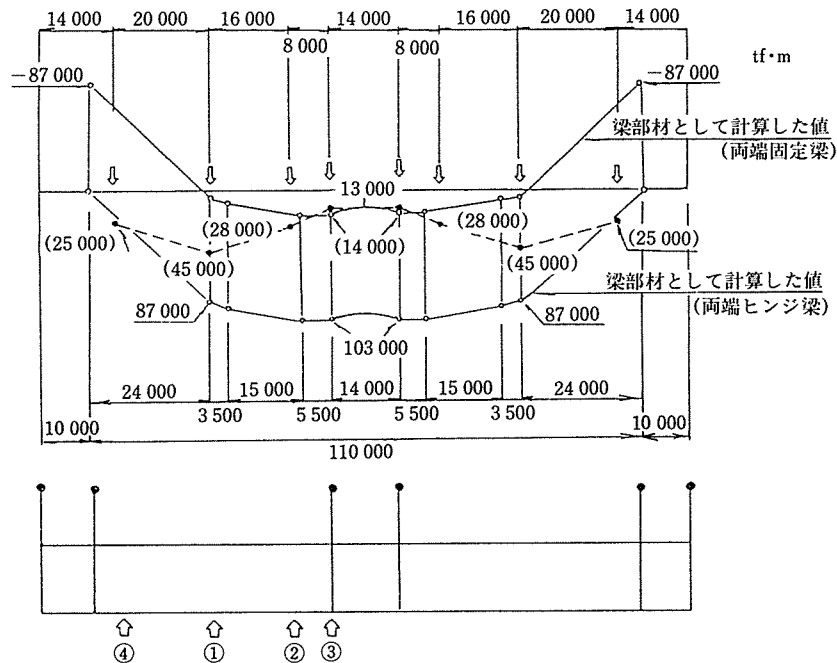


図-24 放射梁部断面力(曲げモーメント)分布推定

◇研究報告◇

5.2.6 PC 鋼材の配置

上床版、下床版および外周円筒壁の PC 鋼材の配置を表-9 および図-25 に示す。

5.2.7 コンクリート構造体部主要材料数量

各検討を踏まえて主要材料数量を設定すると、内訳は表-10 のようになる。

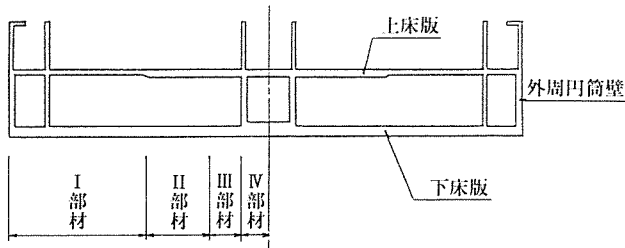
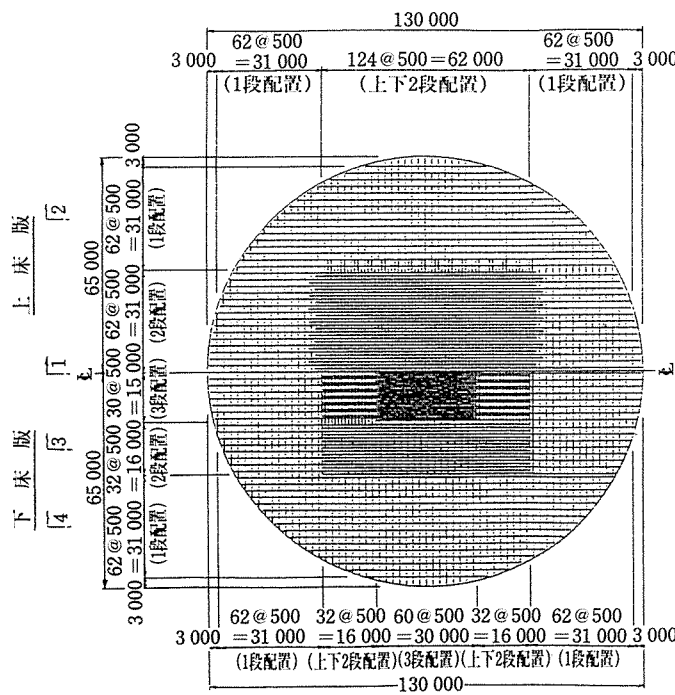


表-9 PC 鋼材の基本配置

部 材	I部材	II部材	III部材	IV部材
上 床 版	19 T 15.2 ctc 50 cm 1 段配置	19 T 15.2 ctc 50 cm 2 段配置	19 T 15.2 ctc 50 cm 2 段配置	19 T 15.2 ctc 50 cm 2 段配置
下 床 版	19 T 15.2 ctc 50 cm 1 段配置	19 T 15.2 ctc 50 cm 2 段配置	19 T 15.2 ctc 50 cm 3 段配置	19 T 15.2 ctc 50 cm 3 段配置
外周円筒壁	SBPR 110/135 φ32 mm ctc 30 cm×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(左図)参照。

平 面 図



断 面 図

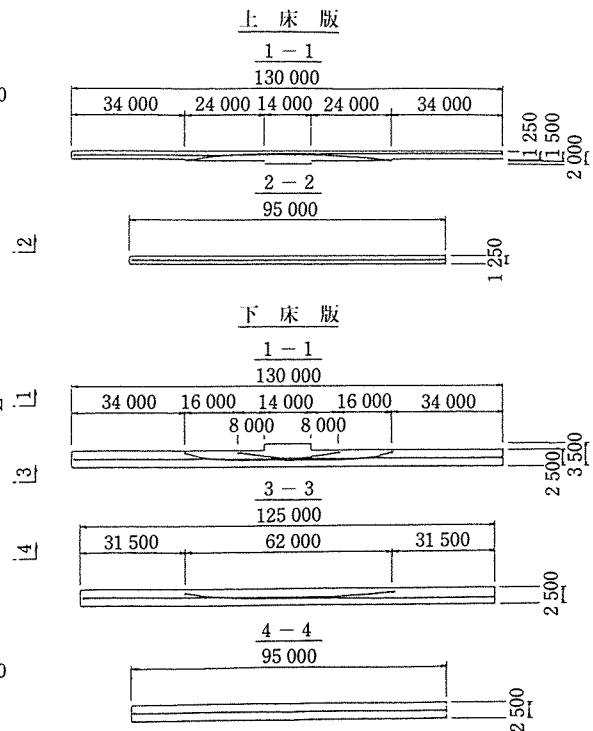


図-25 上床版・下床版 PC 鋼材配置図

表-10 数量総轄表

仕 様	単位	数 量						備 考	
		上床版	下床版	円筒壁		放射梁 その他	合計		
				外回り 円筒壁	内回り 円筒壁				
コンクリート	$\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$	m <sup>3</sup>	17 394	33 183	8 023	5 387	20 130	84 117	一部軽量コンクリート使用 単位体積重量(平均) $\gamma_c=2.4 \text{ tf/m}^3$
型 枠		m <sup>2</sup>	12 039	14 294	10 380	9 577	37 942	87 217	平均型枠量 1.036 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
鉄 筋		tf	2 087	2 389	578	970	3 623	9 647	平均鉄筋量 115 kgf/m <sup>3</sup>
PC 鋼 材	SWPR 7 A 19 T 15.2	tf	1 408	1 500	-	-	-	2 908	
	SBPR 110/135 φ32	tf	-	-	577	-	-	577	
支 保 工		空m <sup>3</sup>	151 618	-	-	-	14 819	166 437	



### 5.3 構造上の課題

今回実施した構造上の検討は、計画した構造規模が実現可能な範囲にあるかどうか確認した段階のものであり、実際の設計にあっては具体的な設置場所に適応する構造物の安全性・耐久性・機能性等の見直しが必要になるであろう。ここで述べるべき構造上の課題はたくさん考えられるが、今回討議された課題について以下に示す。

- 1) 一部軽量コンクリートの使用を前提として平均単位体積重量  $\gamma_c=2.4 \text{ tf/m}^3$  としている。軽量コンクリートの具体的な仕様・使用部材、施工方法等の検討および耐海水性等の検討も課題となる。
- 2) 本構造の場合、F.E.M. 解析を行うことが最適であると思われ、立体折板モデル解析での応力レベルのチェックまで行っているが、モデル化と解析方法についてももう少し十分な検討が必要である。
- 3) クリープ・乾燥収縮・段階施工による不静定力の把握とコントロールさらにプレストレス二次力の影響を配慮した詳細検討が望まれる。
- 4) 厚さの大きい部材は寸法効果によるせん断抵抗応力の低減がかなり見込まれる。せん断応力に関する詳細検討により若干の断面見直しが必要である。
- 5) 部材の断面は主要最大応力発生分の検討だけで決めているので、もう少し詳細な検討により経済的な断面を求めることが可能である。

## 6. 施工方法の検討

### 6.1 基本条件

#### 6.1.1 基本方針

本構造の施工検討を行うにあたり、既存の海洋構造物ドックを使用できるものとし、以下のことを留意することにした。

- ・主要下部浮体構造物はドック内で製作施工し、コンクリートは現場打設とする。
- ・使用材料（鉄筋・鉄骨）は可能な限りブロック化する。
- ・プレストレス導入は浮体内部で施工可能な方法で行う。
- ・設置海域での現場作業は可能な限りさける。
- ・施工方法は現状で最も確実な曳航・設置方法とする。

#### 6.1.2 施工条件

##### (1) 設置場所自然条件

- ・水深：60 m
- ・地盤：砂質
- ・潮流：2 ノット
- ・潮位：H.H.W.L.+2.0 m L.W.L.0.0 m

- ・波浪：常時  $H_{1/3}=0.5, H_{\max}=0.9 \text{ m}, T=6 \text{ sec}$   
 暴風時  $H_{1/3}=4.0, H_{\max}=7.2 \text{ m}, T=10 \text{ sec}$
- ・風速：常時  $U_{10}=10 \text{ m/sec}$   
 暴風時  $U_{10}=40 \text{ m/sec}$

##### (2) 静穏作業海域自然条件

- ・水深：30 m
- ・地盤：砂質
- ・潮流：1 ノット
- ・波浪：常時  $H_{1/3}=0.5 \text{ m}, T=6 \text{ sec}$   
 暴風時  $H_{\max}=4.0 \text{ m}, T=10 \text{ sec}$
- ・風速：常時  $U_{10}=10 \text{ m/sec}$   
 暴風時  $U_{10}=40 \text{ m/sec}$

## 6.2 施工方法の検討

### 6.2.1 全体施工手順

大型ドック内で下部浮体構造の大部分を建造し、本体をドックから静穏海域に移動させ係留する。静穏作業海域内では下部構造の上床版および外周壁を建造し、さらに上部構造施設を組み立てる。構造物全体の建設が完了

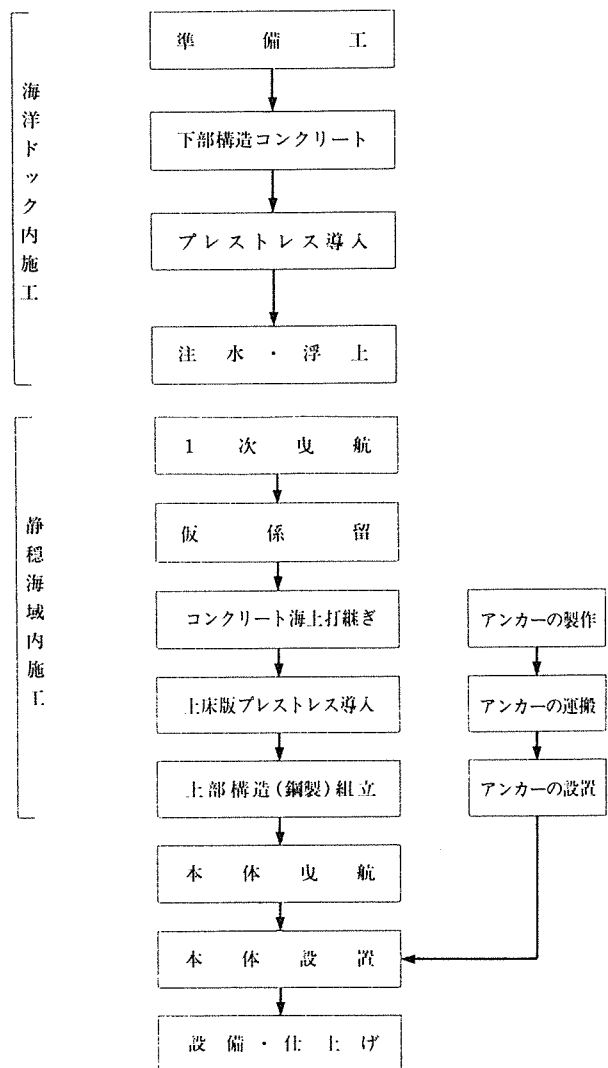
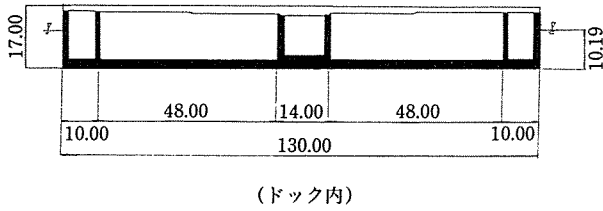


図-26 全体施工手順図

◇研究報告◇

(1) 第1段階



(2) 第2段階

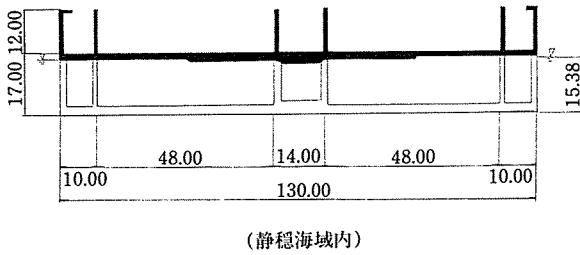


図-27 施工段階図

した後、係留を解除し現地へ曳航、そして本体を設置する。図-26、図-27 に全体施工手順と施工段階図を示す。

6.2.2 ドック内での下部浮体構造の施工

下部構造の形状は外径 130 m、高さ 29 m で、浮体部は下床版、上床版、外周壁に PC 鋼材を配置したプレストレストコンクリート構造である。全体のコンクリート量は 84 000 m<sup>3</sup> で、約 20 万トンの巨大なコンクリート構造物である。本計画では現存する国内での最大級のドックを使用して施工できるものとして設定する。海洋ドックの主要諸元を以下に示す。

大 き さ : 250 m × 250 m

深 さ : GL-17.0 m

出渠可能喫水 : 11.0 m

渠 底 耐 力 : 30 t/m<sup>2</sup>

出渠可能喫水が 11.0 m であるため、下部構造の全体をドック内で製作することができない。そのため上床版の下端 (15.75 m) までをドック内で製作し、静穏作業海域へ曳航した後、上床版より上の構造を施工する。ドック内には仮設備として鉄筋・形枠加工場も設置し、資材の搬入は進入斜路により行う。700 t・m タワークレーンを 3 基設置し、型枠・鉄筋の組立に使用する。

ドック内での施工手順と構造のロット割りは図-28 および図-29 に示す。なお、ドック内で施工する部分の主な工事数量は次のとおりである。

- ・コンクリート : 56 538 m<sup>3</sup>
- ・型 枠 : 54 141 m<sup>2</sup>
- ・鉄 筋 : 5 727 t
- ・P C 鋼 材 : 2 082 t

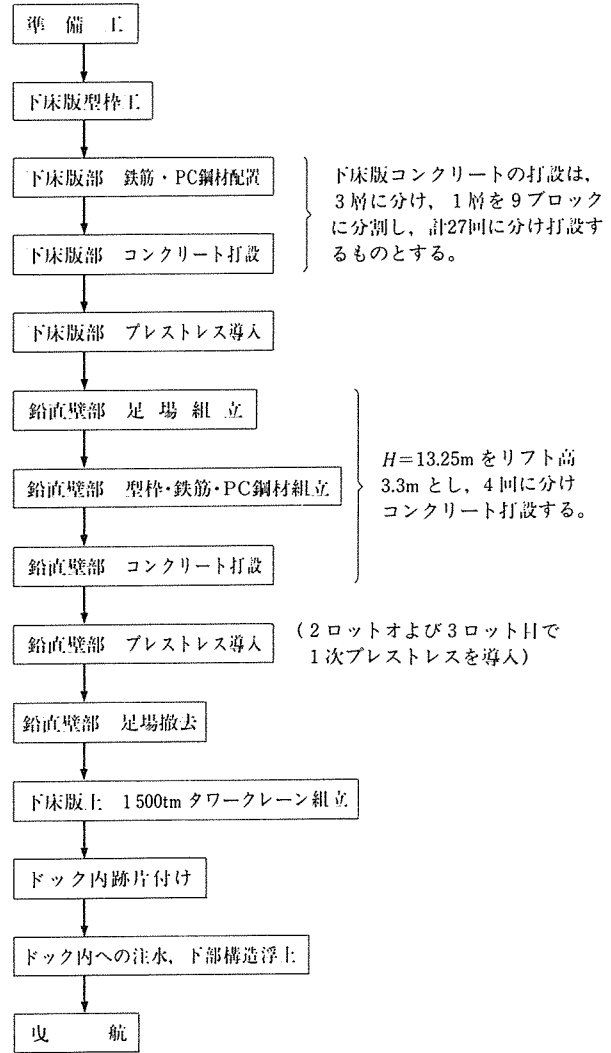


図-28 下部構造施工手順図

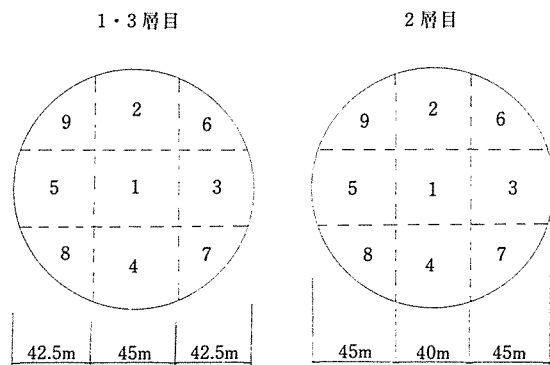
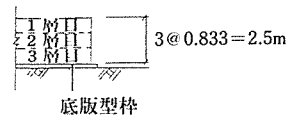
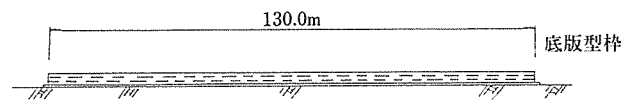


図-29 底版部ロット割り図

6.2.3 静穏海域での下部構造の施工（海上打継ぎ）

ドック内で製作した下部構造を曳航し、静穏海域に係留設置したあと上床版や浮体構造上部のコンクリート躯体を施工する。現地への資材の運搬は、資材ヤードや型枠・鉄筋製作ヤードを備えた近くの港湾から台船で行う。台船からの荷揚げは本体の下床版上に設置された3基の1500 t・m タワークレーンにより行う。タワークレーンは型枠・鉄筋等の組立にも使用する。コンクリートは150 m<sup>3</sup>/hr クラスのバッチャープラント船を使用し打設するものとする。

上床版部および浮体構造上部の施工手順は図-30に示す。なお、静穏作業海域で製作する下部構造施工部分の主な工事数量は次のとおりである。

- ・コンクリート：27 580 m<sup>3</sup>
- ・型 枠：33 076 m<sup>2</sup>
- ・鉄 筋：3 920 t
- ・P C 鋼 材：1 403 t

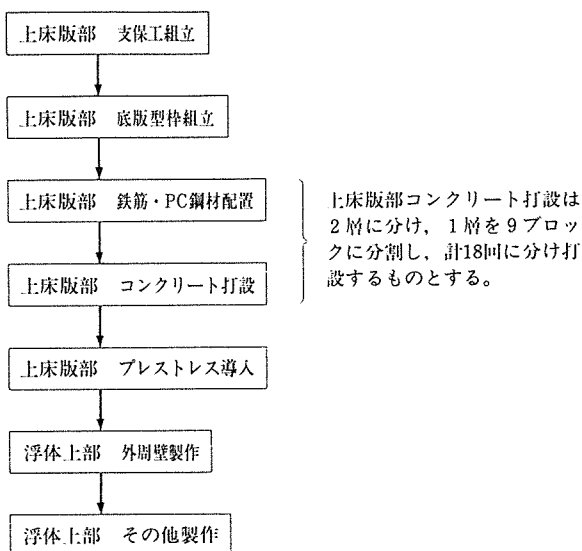


図-30 海上打継ぎ部下部構造施工手順

6.2.4 P C 工

(1) PC鋼材の配置

PC鋼材の配置については、図-25を基本としており、その配置数量の内訳を表-11に示す。

表-11 PC鋼材量

部 材	仕 様	単 位	数 量	備 考
上床版	平均L=72 m	19 T 15.2	tf 394	N= 248本
	平均L=92 m	19 T 15.2	tf 1 014	N= 500本
	平均L=79 m	19 T 15.2	tf 425	N= 244本
下床版	平均L=62 m	19 T 15.2	tf 167	N= 122本
	平均L=91 m	19 T 15.2	tf 514	N= 256本
	平均L=72 m	19 T 15.2	tf 394	N= 248本
外周円筒壁φ32	SBPR 95/135	tf 577	N=5 380本	

(2) 緊張順序

緊張順序を図-31に示す。

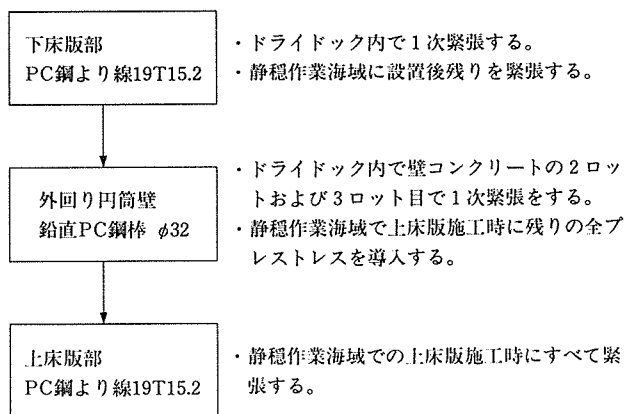


図-31 緊張順序

(3) 緊張方法

① 下床版

外周側の248本は両引きで、X・Y方向それぞれ4台ずつのジャッキを配置し、中央側から端部へ左右対称に緊張していく。残りは下床版中央で交差するように配置されており、片引きで内部側からでも緊張できる。ジャッキは最大緊張力450 tの大型であり、全体的に施工段階でプレストレスが片寄りのないよう緊張順序を定める。

② 外回り円筒壁

PC鋼棒は全部下端固定の配置であり、上端にジャッキを装着し片引きする。緊張順序は軸対称に60°ずつずらして2台ずつ配置し、全部で12台のジャッキを用いて同一方向に作業をすすめる。

③ 上床版

下床版と同様にX・Y方向それぞれ4台ずつのジャッキを配置して、中央部から端部へ左右対称に緊張していくものとする。

6.2.5 上部構造施設（鋼製）の施工

(1) 概 要

静穏作業海域において海上打継ぎコンクリートを施工後、養生期間において上部構造の施工に着手する。鉄骨作業はブロック製作・運搬および組立で、継手はボルト締めとなる。工場にて鉄骨ブロックを順次製作し、1500 t級クレーン船で台船に積み込み、曳船にて現地まで運搬する。現場では図-35のように3000 tクレーン船および浮体構造内に設備した3基の1500 tクレーンにより組み立てる。次にブロック間のボルト締め、未塗装部、内外装仕上げ等を順次施工し全体構造を完成させる。

(2) 施工数量

ブロック別の数量は以下のとおりであり、位置および

◇研究報告◇

ブロックの説明は図-32, 図-33 に示す。

- ① 外周ブロック 4 段 A  $185.9 \times 48 = 8\,923.2\text{ t}$   
B  $92.9 \times 48 = 4\,459.2\text{ t}$
- ② 外周ブロック 3 段 A  $185.9 \times 36 = 6\,692.4\text{ t}$   
B  $92.9 \times 36 = 3\,344.4\text{ t}$
- ③ 大フロアー  $176.7 \times 12 = 2\,120.4\text{ t}$
- ④ 大型ドーム  $176.9 \times 12 = 2\,120.4\text{ t}$

- ⑤ 中央ブロック 4 段  $107.5 \times 4 = 430.0\text{ t}$   
合計  $28\,090.0\text{ t}$

(3) 施工順序

上部構造の施工順序を図-34 に示す。

6.2.6 曳航と設置

(1) アンカーブロック

アンカーブロック (1 400 t/1 基) は設置海域用に 12

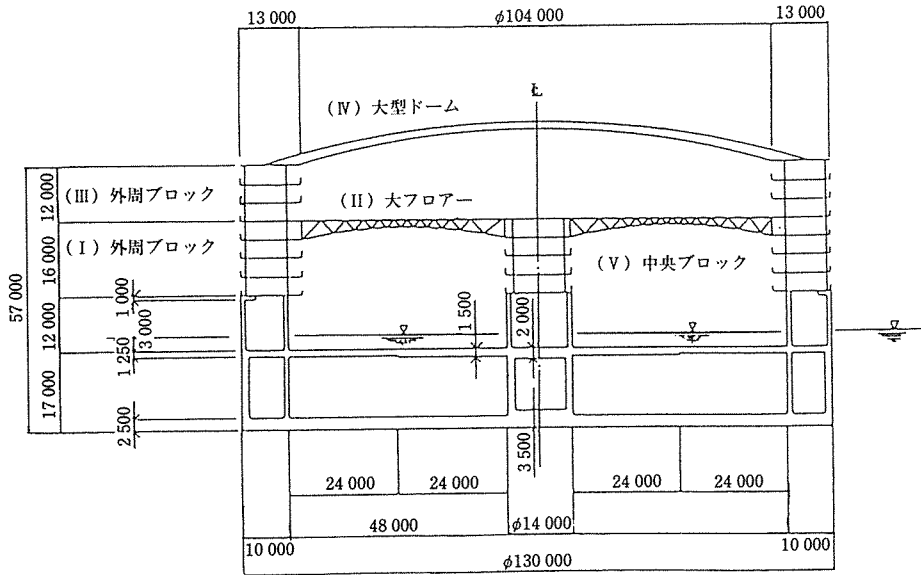


図-32 ブロック位置図

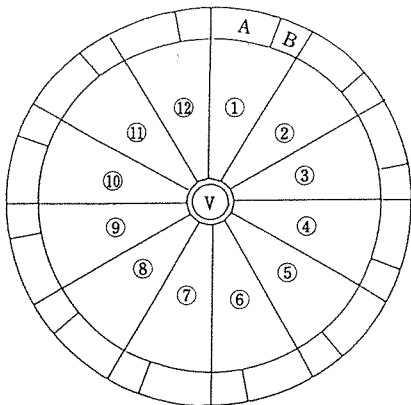


図-33 上部構造施工ブロック図

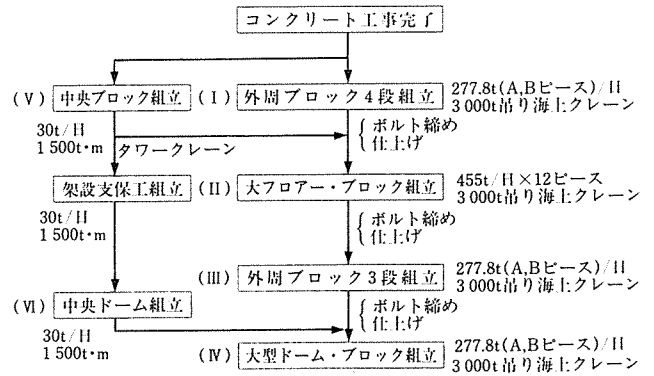


図-34 上部構造施工手順図

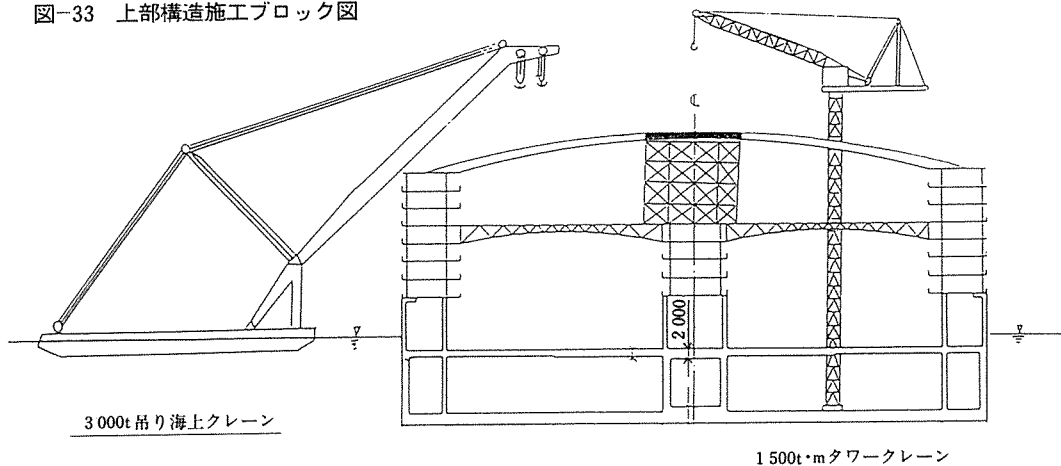


図-35 上部構造架設説明図

基と静穏作業海域用に12基の計24基で、現地近くの港湾内で台船上に3基ずつ製作する。6000tの台船上で製作・養生完了後、8000馬力級曳船にて所定位置に曳航し、3000tクリーン船で沈設する。製作・曳航・沈設の1サイクル工程13日である。

(2) 本体の曳航

① ドックより静穏作業海域へ

9000馬力級曳船3隻のほか、方向制御等のために後方に3000馬力級曳船2隻、安全航行のための前方警戒船1隻と側片警戒船2隻を図-36のように配置する。曳航距離を10kmとすると曳航時間は6時間程度であるが、必要曳航日数は回航に前後2日と余裕1日を加算して計4日とした。

② 静穏作業海域から設置海域へ

12000馬力級曳船3隻のほか、補助曳船として側方曳船6000馬力級2隻と後方曳船4000馬力級2隻、さらに警戒船3隻を図-37のような配置となる。曳航距離を約400kmとして曳航日数は約10日で、回航に前後4日と余裕日数4日をみて必要曳航日数を18日とした。

(3) 設置

① 静穏作業海域

曳航前に設置位置に12基のアンカーブロックを設置し、チェーン延長上にリード線と浮標を取り付けておく。構造本体にも予めチェーンを取り付けておき、現地に到着後ただちに曳船体系を解除し本体のコントロールが可能ないように配置換えする。その後、揚錨船により本体チェーンとアンカー側チェーンとの結合作業を順次行って全チェーンの初期張力調整で設置を完了する(図-38参照)。

② 設置海域

設置方法は静穏作業海域と同様であるが、最後にバラストにより喫水深および初期張力を調整して完了する。

6.2.7 全体工程表

各作業工程を検討した結果による全体工程を表-12に示す。

6.3 施工上の課題

大型プレストレストコンクリート製浮体と上部の大型構造物の施工方法を検討するにあたって、さらに検討が必要であるとして討議した課題を以下に示す。

- 1) コンクリートの打設ロット割りと打継ぎ処理、そしてマスコンクリート施工時のひび割れ防止対策。

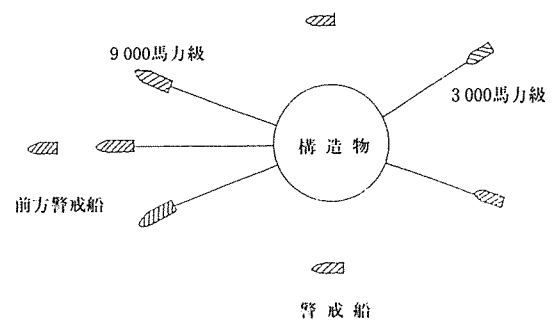


図-36 曳船配置図(1)

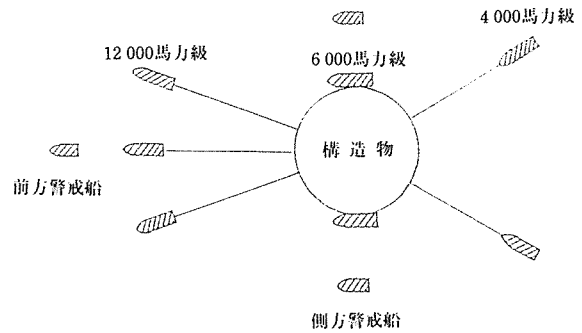


図-37 曳船配置図(2)

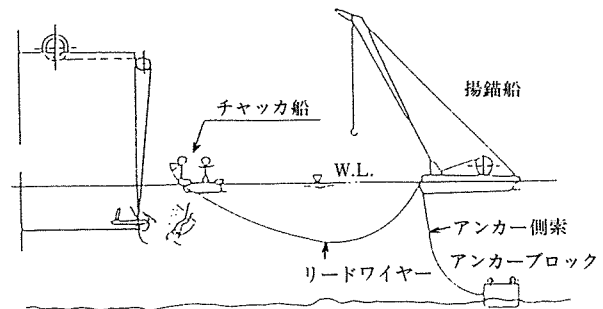


図-38 係留チェーン連結作業図

表-12 全体工程表

工 種	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	
1. 準備工	[Bar from day 2 to 4]																							
2. 下部構造(1)	[Bar from day 4 to 16]																							
3. プレストレス導入(1)	[Bar from day 10 to 14]																							
4. アンカーブロック(1)	[Bar from day 16 to 18]																							
5. 曳航設置(1)	[Bar from day 20 to 22]																							
6. 下部構造(2)	[Bar from day 22 to 28]																							
7. プレストレス導入(2)	[Bar from day 28 to 30]																							
8. 上部鋼構造	[Bar from day 22 to 38]																							
9. アンカーブロック(2)	[Bar from day 38 to 40]																							
10. 曳航設置(2)	[Bar from day 40 to 42]																							
11. 設備・仕上げ	[Bar from day 36 to 46]																							

## ◇研究報告◇

- 2) 作業効率化を図るための型枠の自動化および鉄筋のブロック化対応技術。
- 3) 構造最大径 130 m に対応する適切なドック計画。
- 4) 大型円形浮体コンクリート構造物のユニット化や、洋上接合の可能性等の技術的検討。
- 5) 二次発生力を含めた施工各段階の応力の把握とプレストレスの有効な導入方法の検討。
- 6) 上部大型鋼構造物のブロック化と洋上架設の技術。

## 7. 法 規

「PC 洋上マリーナ」は係留浮体式海洋構造物として捉えれば、関係法令は設置場所・利用・安全性・環境への影響等で多方面から複雑に関連してくる。過去の事例として、沖縄海洋博覧会の“アクアポリス”や係留展示船“ふじ”“宗谷”などがよくひきあいにされるが、現行法をそのまま海洋構造物に適用するには不十分で、その都度安全性について論議され検討を加えることにより関係官庁の許認可が得られるようになってきている。特に「PC 洋上マリーナ」は、利用上から不特定多数の人間が宿泊するために、関係官庁・水域利用関係者等で広くコンセンサスの得られる統一的・整合的な利用・安全性について考え方の整理が必要である。当委員会では、まず関係すると思われる主な法令についての分類・整理から始めているが、上記の論議を継続する予定である。

## 8. 今後の課題

構造上の課題と施工上の課題については 5.3 と 6.3 でまとめているが、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その他の課題を以下に示す。

### 8.1 計画に関する課題

#### (1) 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（再現期間の設定等）。

#### (2) 法規等

非常にたくさん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が課題となる。さらに防火・脱出に関連しても統一的な適用法的規制の見解が必要。

#### (3) 環境

浮体の場合、設置構造物より影響が少ないと思われるが、海生生物への配慮や環境への影響の検討が必要。

#### (4) 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。

## 8.2 製造・機能に関する課題

### (1) 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。

### (2) 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抑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。

### (3) 艇収納庫

水中浮体部分の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。

### (4) 浮体構造物の利用法

マリーナ機能以外の利用法に関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。

## 8.3 材料・その他技術に関する課題

### (1) 材 料

軽量・高強度コンクリートに関し、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・耐火に関する新素材の開発・適用の検討。

### (2) 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。

### (3) 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ため、浮体周辺およ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組みは、安全性の確認の面でも非常に重要な課題となる。

## おわりに

当報告はプレストレスコンクリート技術協会の海洋構造物委員会が平成 2 年度からの 2 年間のテーマとして実施した研究よりまとめられたもので、このたび「プレストレスコンクリート洋上マリーナ」という新しいアイデアを具体化して提案するに至ったものである。参加した各委員の期待は当研究が海洋域での新しいプレストレスコンクリート技術活用展開のひとつのきっかけになることである。まだ多くの課題が残っており、本年度も同じテーマでの研究を継続しており、御叱正・御指導を得て構想をさらに発展できれば幸いである。

【1992 年 5 月 30 日受付】