

広島港宇品地区浮棧橋の設計
The Design of Floating Pier in the Area of Ugin, Hiroshima Port

* 遠藤 博 * 勝海 務 梶田省一 播本一正
Hiroshi.Endo,Tutomu.Katuumi,Syoichi.Kajita and Kazumasa.Harimoto

The Ministry of Transport publicized "The Harbor in the 21st Century" as a part of a harbor improvement policy.
Accordingly The Third District Port Construction Bureau designed The Floating Pier in Hiroshima Port on the largest scale in Japan.
A structural form which can split the whole body into five parts consists of Prestressed Concrete.

Keywords : Floating pier, Pontoon, Hiroshima, Prestressed Concrete.

1. 概要

運輸省は、昭和60年5月に成熟化社会に備えた新たな港湾整備政策として「総合的な港湾空間の創造」を基本目標の一つにした「21世紀への港湾」を公表した。

広島港では、これを実現化するために昭和62年度から「現代のみなと街」への再生をねらいとした「ポートルネッサンス21調査」を実施し、国際平和都市広島市を中心とした国際港湾都市の形成、港湾再開発の推進及び都市再開発用地の確保等、物流・産業・情報・レクリエーション・文化等の諸機能を調和良く配置するための港湾空間の創造を求めている。

本浮棧橋は、この「ポートルネッサンス21」に求められている機能の内、フェリー・旅客船ターミナル施設の中心的な役割をはたすものであり、国際観光船及び瀬戸内海クルージングの基地として計画されている。

運輸省第三港湾建設局では、この計画を実施するため、延長L=150m、幅員B=30mの大型ポンツーン（浮棧橋）の設計を行った。

本研究は、この浮棧橋の設計について紹介するものである。

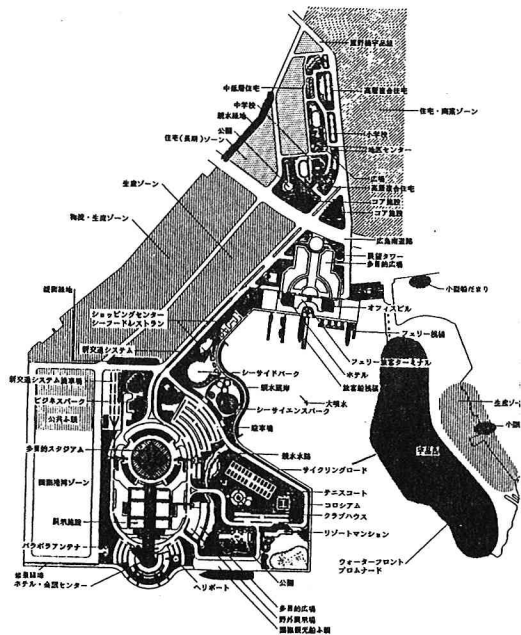


図-1 広島港 宇品・出島沖地区全体の再開発

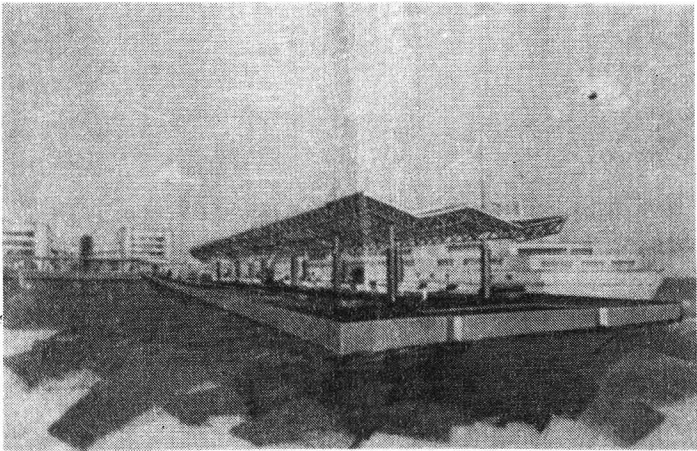
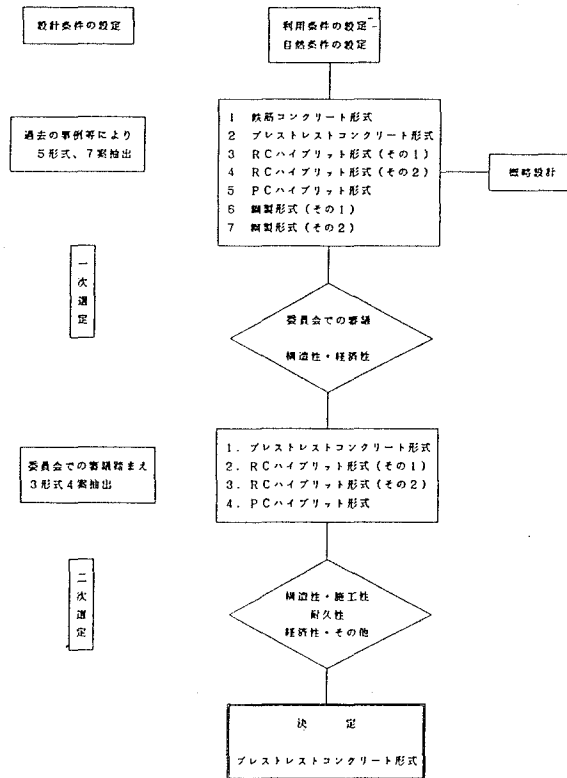


図-2 広島港〔宇品地区〕浮棧橋のイメージ図

* 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所長 遠藤 博
* 建設専門官 勝海 務
元 建設専門官 梶田省一
元 工事専門官 播本一正

2. ボンツーン構造形式の選定

ボンツーン構造形式の選定に当たっては、有識者による委員会を設置し、以下のフローチャートに従って実施した。



図－3 浮体形式選定のフローチャート

各形式を十分検討した結果、本ボンツーンにとっては、

- ① 本ボンツーンは、広島港の港内の波の静穏な場所に設置されるためRCハイブリットの場合はその長所を十分に発揮するに至らない。
- ② プレストレストコンクリート形式とPCハイブリット形式を比べた場合、横方向に作用する力はさほど大きいものではないため、PCハイブリット形式にしなくても鉄筋コンクリートで十分強度を満足させることができる。
- ③ プレストレストコンクリート形式の接合部については、力学的に問題がなく耐久性も大きな問題とならない。

また、施工性も国内・海外を問わず実績が多く、接合部が弱点とは言えない。

- ④ プレストレストコンクリート形式は分割して製作するためコンクリートの1日の打設量も少なく、プレストレストの導入も容易に行えるため施工性に優れている。
- ⑤ プレストレストコンクリート形式が最も経済的である。

以上の事から、本ボンツーンの構造形式としてプレストレストコンクリート形式を採用した。

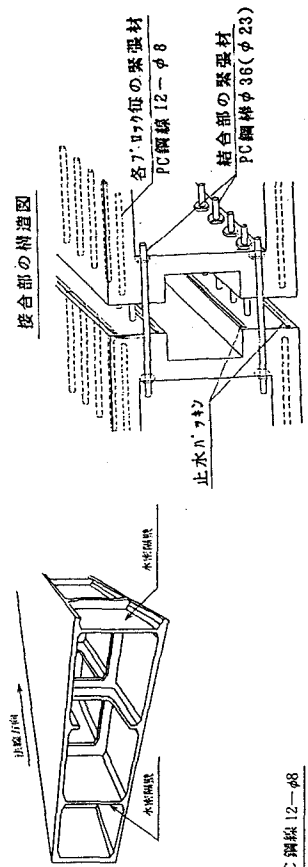
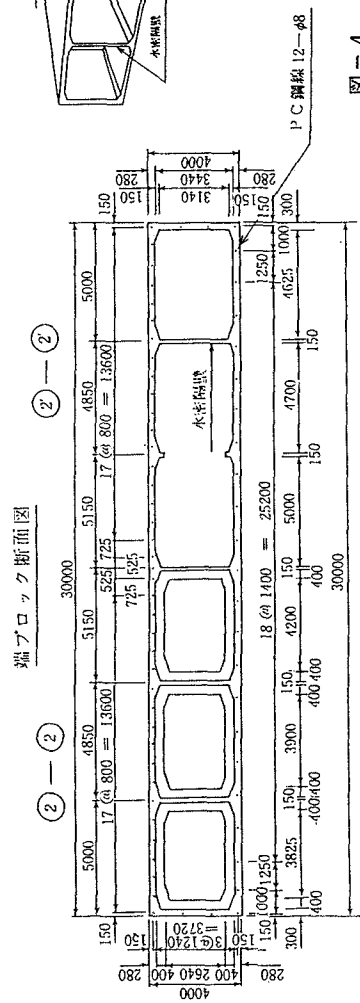
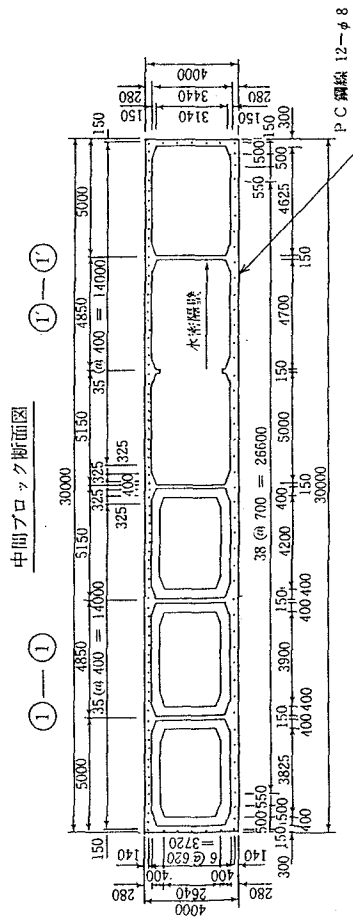
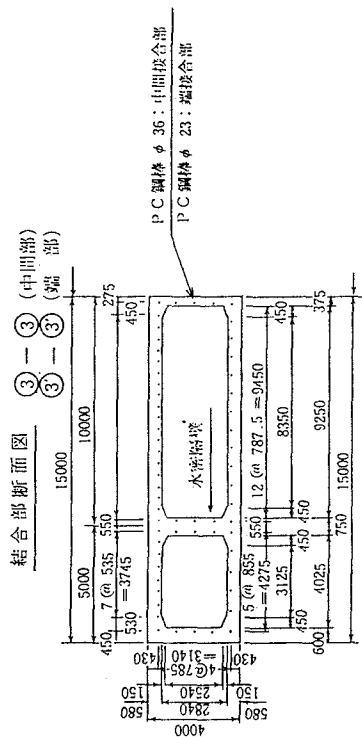
3. ボンツーン(プレストレストコンクリート)の構造設計

1) 設計の概要

本ボンツーンの大きな特徴としては、函体を5分割(1ブロック30m)にして製作し洋上で結合する事である。

本形式は、図－4に示すとおり縦方向(法線方向)にプレストレスを導入し、縦曲げモーメントに対しフルプレストレスングで強度を持たせている。外殻のコンクリートには、全断面にわたり圧縮力がかかっているため、ひび割れは生じない様になっており、横方向(断面方向)は、鉄筋コンクリートでひび割れ幅を制限しながら、その応力に対応している。

接合部の構造は、各ブロック端部のフレーム(梁及び柱)にPC鋼棒を挿入し、それを緊張して曲げ及びせん断に対して抵抗する構造である。また、止水については、施工中の止水はゴムパッキンで行い、PC鋼棒を仮緊張後注入モルタルを充填し、硬化後に本緊張を行い、完成時には完全に止水できる構造となっている。



形式トリコンキャストプレ
4-☒ 形式

2) 設計の考え方

① ポンツーン損傷時の安定条件

ポンツーンの静的安定検討は次のケースについて検討を行った。

- ケース 1. 上床版上に上載荷重 ($w = 0.5 \text{ t f / m}^2$) を満載した場合
- ケース 2. ケース 1 の状態に函中央部側壁側の片舷 2 区画に浸水がある場合
- ケース 3. ケース 1 の状態に端部の片舷 2 区画に浸水がある場合
- ケース 4. ポンツーン幅方向の片半分にトラック (T-20) 1 列縦隊を考慮した場合

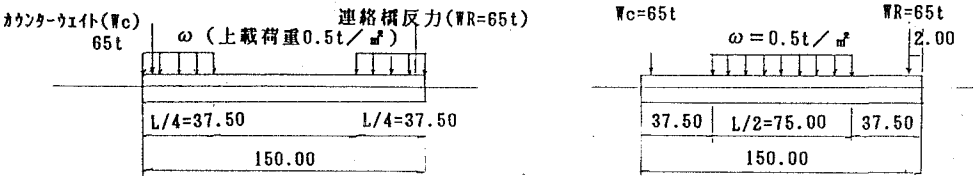
② 設計荷重

イ) 全部材に対する検討

・縦曲げモーメント

静水中縦曲げモーメント及び波浪縦曲げモーメントを算定し、比較した結果、静水中縦曲げモーメントと波浪縦曲げモーメント ($H/3=0.5\text{m}$) の組み合わせに対して引張応力度を出さないようにプレストレス量を算定した。

ただし、波浪による断面力はミューラーの式により求めた。静水中曲げモーメントについては、次の 2 ケースで検討した。



・せん断力及びねじりモーメント

静水中せん断力及び波浪によるせん断力、ねじりモーメントを算定し、比較した結果、静水中せん断力及び波浪 ($H/3=1.1\text{m}$) によるねじりモーメントに対して全体部材の検討を行った。

・横強度荷重

波浪 ($H/3=0.5\text{m}$) による全体曲げモーメントに対して、引張応力度が出ていないことを検証した。ただし、横強度の検討は、横方向から波浪外圧を受ける場合の停留点を支点とした梁とし、栈橋に作用する波圧強度は合田式を用いた。

・温度荷重

床版と底版の温度差 (15°C) による応力度を算定し、それに対して検討した。

ロ) 接合部に対する検討

中間及び端接合部に作用する曲げモーメントを算定し、比較した結果、静水中曲げモーメントと波浪縦曲げモーメントの組み合わせに対して引張応力度を出さないようにプレストレス量を決定した。

ハ) 版部材に対する検討

版部材に対する検討は、下表により行った。

部 材	限 界 状 態	使 用 限 界 状 態	終 局 限 界 状 態
床 版	法 線 直 角	T-20 作用時	同 左
	法 線 平 行	T-20 作用時	同 左
	法 線 平 行	$w=0.5 \text{ t f / m}^2$ 及び 縦曲げ モーメントによる軸力	同 左
側 壁	鉛 直	波浪時 ($H/3=0.5\text{m}$)	波浪時 ($H/3=1.1\text{m}$)
	水 平	波浪時 ($H/3=0.5\text{m}$) 及び 横強度荷重による軸力	波浪時 ($H/3=1.1\text{m}$) 及び 横強度荷重による軸力
隔 壁	鉛 直	—	浸水時静水圧
	水 平	—	浸水時静水圧
底 版	法 線 直 角	波浪時 ($H/3=0.5\text{m}$)	波浪時 ($H/3=1.1\text{m}$)
	法 線 平 行	波浪時 ($H/3=0.5\text{m}$) 及び 縦曲げモーメントによる軸力	同 左

3) 設計条件の設定

概略設計を実施するに当たり、設計条件等を下記のとおり設定した。

表-1 設計条件一覧表

区 分	項 目	設 定 値	備 考	区 分	項 目	設 定 値	備 考																								
外力条件	a) 対称船舶	5,000GT級(旅客船)(東側1本-ス) 600GT級(旅客船)(西側2本-ス) 300GT級(フェリー)(西側)	暫定時 暫定時にフェリー 様機として利用す るため、大型パー スを考慮する	波浪条件	a) 波 浪	<table><tr><th></th><th>波高 H1/3</th><th>周期 T</th><th>波 向</th></tr><tr><td>常 時</td><td>0.5 m</td><td>2.6 s</td><td>全方向</td></tr><tr><td>暴風時</td><td>0.4</td><td>3.2</td><td>SE</td></tr><tr><td>//</td><td>1.1</td><td>4.2</td><td>SSE</td></tr><tr><td>//</td><td>1.0</td><td>4.1</td><td>E</td></tr><tr><td>//</td><td>0.6</td><td>3.6</td><td>SSW</td></tr></table>		波高 H1/3	周期 T	波 向	常 時	0.5 m	2.6 s	全方向	暴風時	0.4	3.2	SE	//	1.1	4.2	SSE	//	1.0	4.1	E	//	0.6	3.6	SSW	
		波高 H1/3			周期 T	波 向																									
	常 時	0.5 m			2.6 s	全方向																									
	暴風時	0.4			3.2	SE																									
//	1.1	4.2	SSE																												
//	1.0	4.1	E																												
//	0.6	3.6	SSW																												
b) 上載荷重	<table><tr><th></th><th>縦強度</th><th>局部強度</th></tr><tr><td>常 時</td><td>0.5 t/m²</td><td>T-20</td></tr><tr><td>異常時</td><td>空 載</td><td>空 載</td></tr></table>		縦強度	局部強度	常 時	0.5 t/m ²	T-20	異常時	空 載	空 載		b) 流 れ	<table><tr><th></th><th>恒流 m/s</th><th>潮流 m/s</th><th>吹送流 m/s</th><th>設定値 m/s</th></tr><tr><td>常 時</td><td>0.02</td><td>0.12</td><td>0.02</td><td>≒ 0.2</td></tr><tr><td>暴風時</td><td>0.02</td><td>0.12</td><td>0.29</td><td>≒ 0.5</td></tr></table>		恒流 m/s	潮流 m/s	吹送流 m/s	設定値 m/s	常 時	0.02	0.12	0.02	≒ 0.2	暴風時	0.02	0.12	0.29	≒ 0.5			
	縦強度	局部強度																													
常 時	0.5 t/m ²	T-20																													
異常時	空 載	空 載																													
	恒流 m/s	潮流 m/s	吹送流 m/s	設定値 m/s																											
常 時	0.02	0.12	0.02	≒ 0.2																											
暴風時	0.02	0.12	0.29	≒ 0.5																											
気 象・ 海象条件	a) 設計潮位	H.W.L.=C.D.L.+3.80m L.W.L.=C.D.L.+0.10m		そ の 他	a) 耐用年数	50年																									
	b) 風 速	常時 10.0m/s (全方向、10分間平均風速) 暴風時 42.0m/s (// 、 //)	100年確率		b) 損傷時の 安定条件	ボンツーンは水密隔壁を配置し、隣接2区間が 同時浸水した場合でも、甲板上は冠水しないこ と																									

4) 概略設計の計算結果

表-2 概略設計の計算結果

名 称		B 案	
構 造 形 式		P C 形 式	
浮体諸元	長さ L (m)	150.0	
	幅 B (m)	30.0	
	高さ D (m)	4.0	
	吃水 (暫定、完成) d (m)	3.02.5	
	乾舷 (暫定、完成) f (m)	1.01.5	
	上 床 版 (mm)	280	
版 厚	側 壁 (mm)	300	
	隔 壁 (mm)	150	
	底 版 (mm)	280	
浮体総排水重量 (t)		11,004	
設計上の主要基準基準		PC港湾構造物設計マニュアル	
設 計 法		限界状態設計法	
安 定 計 算	2区画満水時乾舷 (m)	0.437>0	
	片側載荷状態乾舷 (m)	0.633>0	
設 計	ケ ー ス	常 時	暴 風 時
	波浪曲げモーメント Mw (tf・m) (ミューアースによる)	647	5,856
	静水中モーメント	横 梁 反 力	1,738
	Mc (tf・m)	上 載 荷 重	10,334
	合計モーメント (tf・m)	12,719	7,394
	た わ り 量 (mm)	161	—
	波浪によるねじりモーメント (tf・m)	—	2,084
	縦 設 計 モーメント	19,080 tf・m	
	強 抵 抗 モーメント	24,431 tf・m	
	度 安 全 率	1.28	
断 面 的 検 査	使用 発生ひび割れ幅 (mm)	0.0237 (完,常,底版)	
	限界 許容ひび割れ幅 (mm)	0.0245 (//)	
	終局 設計モーメント	2.68(隔壁)	
	限界 抵抗モーメント	3.08(//)	
	(tf・m) 安 全 率	1.15(//)	
	使用 発生ひび割れ幅 (mm)	0.020	
	限界 許容ひび割れ幅 (mm)	0.020	
	終局 設計モーメント	23.16 tf・m	
	限界 抵抗モーメント	24.24 tf・m	
	(tf・m) 安 全 率	1.05	
接 合 部 の 強 度	作用モーメント	17,697 tf・m	
	抵抗モーメント	18,663 tf・m	
	安 全 率	1.06	
温度応力 (15℃変化)	全 体	コンクリート (kgf/m ²)	8.1 (床版)

4. 動揺シミュレーションによる検討

自然条件下(図-5)において、船舶接岸時の挙動及び波浪中の動揺解析を行い、ポンツーン本体の安定性を推定するものである。

1) 船舶接岸時の挙動

数値シミュレーション結果(図-6)の左右運動量、回転角及び回転半径より接岸時移動量は31.4cmとなる。

また、常時の浮体動揺による移動量は 3.5 cm であるため、最大移動量としては34.9cm になる。

しかし、ポンツーン本体が 150m×30m という巨大な浮体構造物であることを考え合わせれば、この程度の移動量ではなんら操船上支障をきたすものではない。

また、このときの最大フェンダー反力は82 t 程度である。

2) 波浪中の動揺

非線形動揺シミュレーション計算結果(表-3)によると、ポンツーン左右方向最大移動量は20.4cmである。フェンダーの平均歪の最大が 9.3%，最大歪が17.7%となり、「浮体構造物技術マニュアル」からの許容値(52.5%)に納まるため、大きな動揺量とはいえない。

また、このときのフェンダー反力は79.4 t であり、許容値(103.4 t)を満足している。

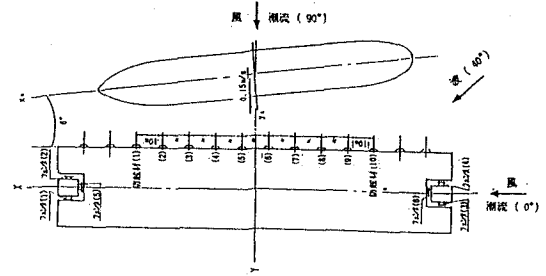


図-5 外力の方向

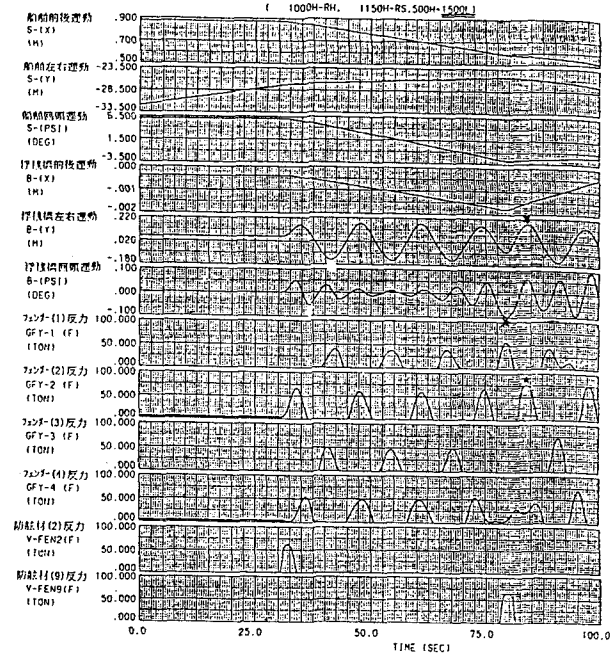


図-6 船舶接岸時の船舶・浮体架の挙動
フェンダー防舷材反力の時刻歴

表-3 ドルフィン係留式栈橋の非線形動揺シミュレーション計算結果のまとめ

計算ケース				係留フェンダー-2 (左右方向) (1150H(KS))				係留フェンダー-4 (左右方向) (1150H(KS))				係留フェンダー-5 (前後方向) (1000H(W))			
ケース	点位	風向・波向	潮位	平均変形率 (%)	変形率最大 (%)	最大変形率 (%)	最大反力	平均変形率 (%)	変形率最大 (%)	最大変形率 (%)	最大反力	平均変形率 (%)	変形率最大 (%)	最大変形率 (%)	最大反力
ケース 1	ト2位	90°	L・W・L	+10%	0.078 (6.8)	0.072 (6.3)	0.150 (13.0)	79.4ton	0.078 (6.8)	0.068 (5.9)	0.148 (12.7)	0.009 (0.9)	0.121 (12.1)	0.130 (13.0)	52.1ton
ケース 2				-15%	0.107 (9.3)	0.094 (8.2)	0.201 (17.5)	70.3	0.107 (9.3)	0.097 (8.4)	0.204 (17.7)	0.011 (1.1)	0.135 (13.5)	0.148 (14.8)	43.2
ケース 3	ト2位	90°	H・W・L	+10%	0.078 (6.8)	0.068 (5.9)	0.148 (12.7)	79.2	0.077 (6.7)	0.070 (6.0)	0.147 (12.8)	0.006 (0.5)	0.069 (6.9)	0.074 (7.4)	34.8
ケース 4				-15%	0.104 (9.0)	0.098 (8.5)	0.202 (17.6)	70.9	0.104 (9.0)	0.092 (8.0)	0.196 (17.0)	0.008 (0.8)	0.137 (13.7)	0.148 (14.8)	43.2
ケース 5	ト2位	0°	L・W・L	+10%	0.007 (0.6)	0.058 (5.0)	0.065 (5.7)	43.2	0.006 (0.5)	0.058 (4.9)	0.062 (5.4)	0.065 (6.5)	0.098 (9.8)	0.131 (13.1)	52.2
ケース 6				-15%	0.009 (0.8)	0.064 (5.6)	0.073 (6.3)	35.2	0.008 (0.7)	0.061 (5.3)	0.069 (6.0)	0.071 (7.1)	0.086 (8.6)	0.157 (15.7)	44.3
ケース 7			H・W・L	+10%	0.007 (0.6)	0.056 (4.9)	0.063 (5.5)	41.0	0.006 (0.5)	0.058 (4.9)	0.062 (5.4)	0.068 (5.8)	0.098 (9.8)	0.114 (11.4)	48.5
ケース 8				-15%	0.009 (0.8)	0.063 (5.5)	0.072 (6.3)	35.2	0.008 (0.7)	0.063 (5.5)	0.071 (6.2)	0.069 (6.9)	0.086 (8.6)	0.155 (15.5)	44.4

5. あとがき

本年度よりポンツーンの一部製作に着手する予定であるが、今後、更に浮函の洋上接合の実績等を踏まえ施工法の詳細検討を行う。

また、ポンツーン上物についても国際港湾都市として整備を図るため調和のとれた景観設計を行うこととしている。