

親水性防波堤の開発（和歌山マリーナシティ）

運輸省	第三港湾建設局	神戸調査設計事務所	正会員	柳 生 忠 彦
	同	上	正会員	白 石 修 章
	同	上	正会員	八 尋 明 彦
	同	上		豊 島 照 雄

1. 開発の背景

和歌山マリーナシティが建設される和歌浦湾は、和歌山市の奥座敷とも言われる風光明媚なところである。そこには、万葉集で有名な和歌の浦や片男波海岸の美しい自然景観と歴史にまつわる石碑など文化遺産が数多く見られる。さらに同湾は、年間を通じ比較的静穏な海域であるため、大学・高校のヨットクラブやウインドサーフィン、海水浴など海洋性レクリエーションの場所として市民に広く利用されている。また、京阪神の大都市圏を背景に控えているため、潜在的なレクリエーション需要が期待できる位置にある。

和歌山マリーナシティは、このような背景の中で和歌浦湾のほぼ中央部に人工の島を造成し、既存の美しい自然海岸と人工島のウォーターフロントの調和を図り、国際的にも第一級のマリーナ基地を目指すものである。

その海洋都市の最前線に設置される防波堤は、外郭施設として波浪から港を守る防波機能のほかに、周辺環境に調和し、訪れた市民がきらめく海でのセーリング風景やマリーナシティの洗練された都会性の景観を眺望したり、海に親しみがもてることなどの条件が求められた。本文では、当該防波堤に求められた条件に対して、新たに開発した親水性防波堤について述べていきたい。

2. 和歌山マリーナシティ

和歌山マリーナシティは、図-1、～2に示すとおり和歌山市毛見地先の公有水面約40haを埋立て、約1,000隻のプレジャーボートを収容するマリーナ施設や各種のスポーツ、ホテル、マンション、ショッピング施設など多彩な機能を備えた都市近郊型海洋性リゾートコンプレクスであり、新しい海洋都市として関西国際空港の開港にあわせて供用することを目指している。

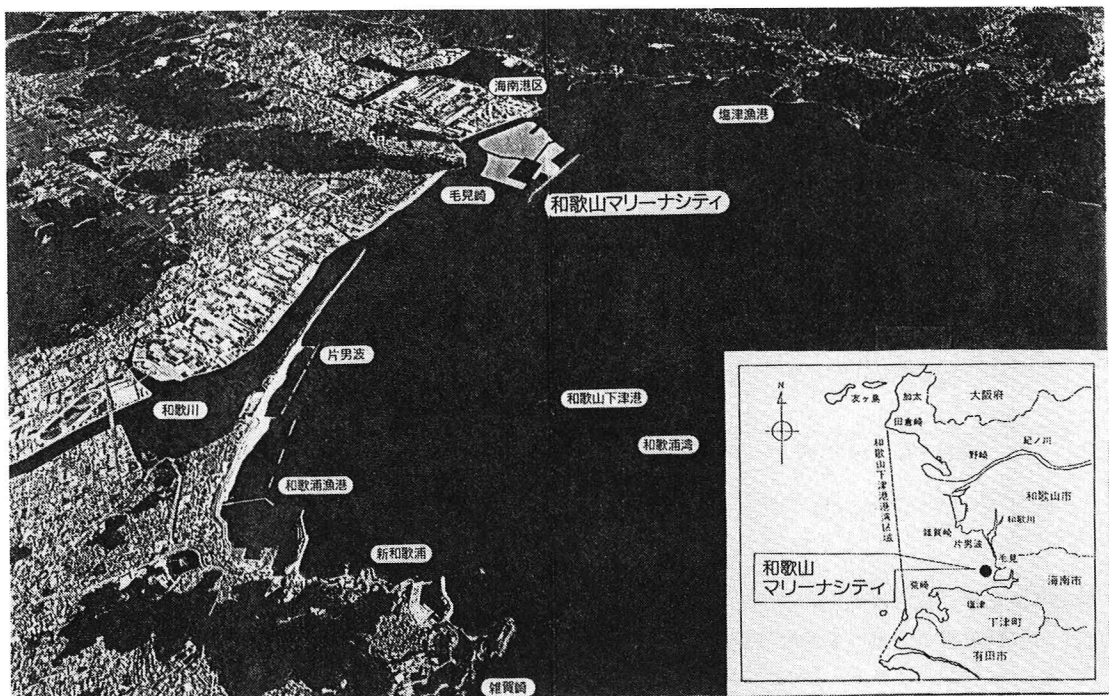
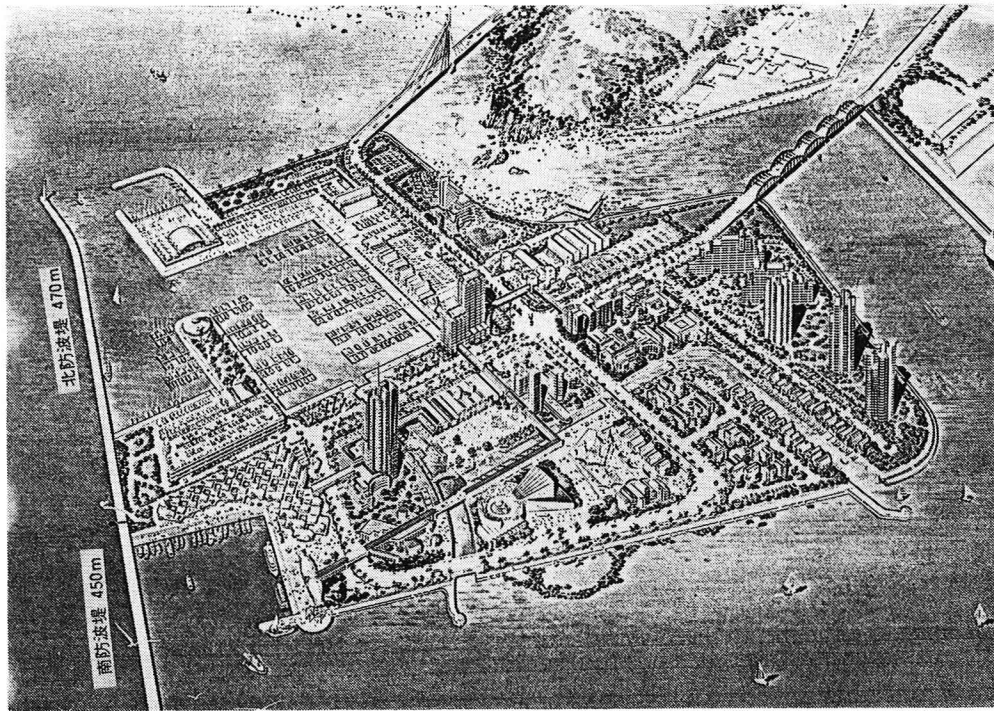


図-1 和歌山マリーナシティ位置図



図－２ 和歌山マリーナシティ完成予定図

３．防波堤に求められる条件

本港は、プレジャーボートなどの小型船舶を対象としているため、防波堤には、特に異常波浪時の港内静穏度を確保すると共に、反射波の影響を抑えるため前面を消波構造にすることが求められた。さらに、景観及び親水機能を付加するため、従来の防波堤では考慮しなかった条件についても検討した。具体的には表－１に示すように、①防波堤を市民が自由に散策できること。②市民が見て親しみがもてる形状・デザインであること。③周辺景観との調和が図られていること。④十分な安全対策がとられていることである。

表－１ 防波堤に付加される基本条件

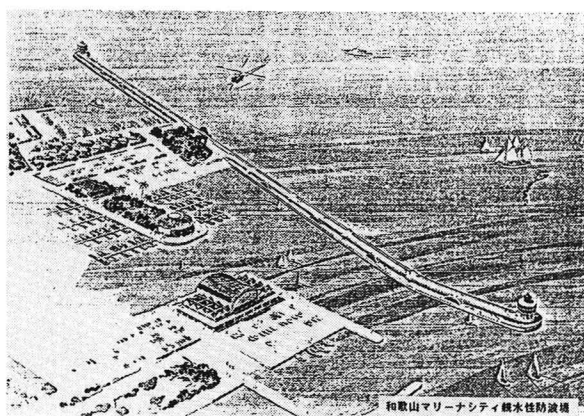
基 本 条 件	具 体 的 な 視 点
防波堤を市民が散策できること	・散策スペースの確保及び導線の確保 ・港内・外の眺望 ・歩行中の配慮（休息、周辺の変化、日よけ、しぶきよけ、夜間照明等）
市民がみて親しみのもてる形状・デザインであること	・曲線形状等の導入 ・意匠の工夫（張石、色調等）
十分な安全対策がとられていること	・防護柵、手すり、梯子、浮輪等の配置 ・防波堤から人が海へ入れない構造 ・構造上の安全性
周辺景観との調和が計られていること	・防波堤（南）（北）の調和 ・護岸との調和

４．開発された親水性防波堤

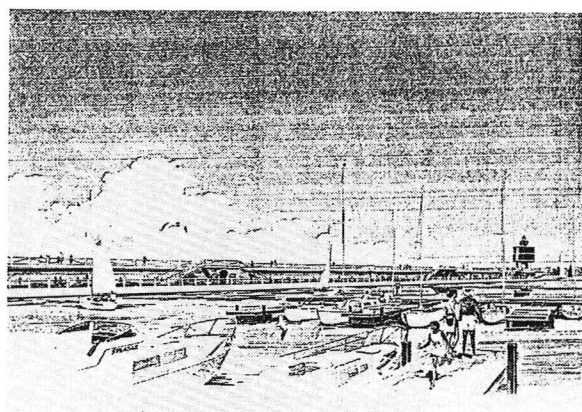
上記、３．防波堤に求められる条件に基づき、本施設の設計を行った。本防波堤の設計波は、 $H_{1/3}=4.0$ m、 $T_{1/3}=8.0$ secである。防波堤の構造としては前面の波を消波するため、消波機能が組込まれている縦スリットケーソン堤を採用することにした。上部工の形状については、表－１の基本条件に基づいて検討した。本条件を満たす防波堤については、設計者自身の個性・趣味・主観などによって種々のイメージがあるため、10数案のイメージ図を作成し、その中から、基本条件ならびに施工性、経済性などの視点から総合評価を行って図－

3～5に示すような形状を選定した。その断面形状は、港外側から堤体のほぼ中央部まで階段状に立ち上げ、その水平天端部を張り出し、ダブルデッキにしたものである。また、港内側は、水辺にできるだけ近づけるようにケーソン天端部を低くした。上部工の形状をダブルデッキにすることによって、人が集い、散策できる広い利用空間が確保され、市民は上部デッキから港内・港外への眺望ができ、下段デッキからは、水に親しむことができる。また、上段デッキは、日よけ、波よけ、風よけの役目もはたすことができる。さらに、上段デッキと下段デッキとの連絡用階段を100m間隔に配置したり、下段デッキには壁を背もたれに利用したベンチを配置することによって歩行者への配慮を行った。

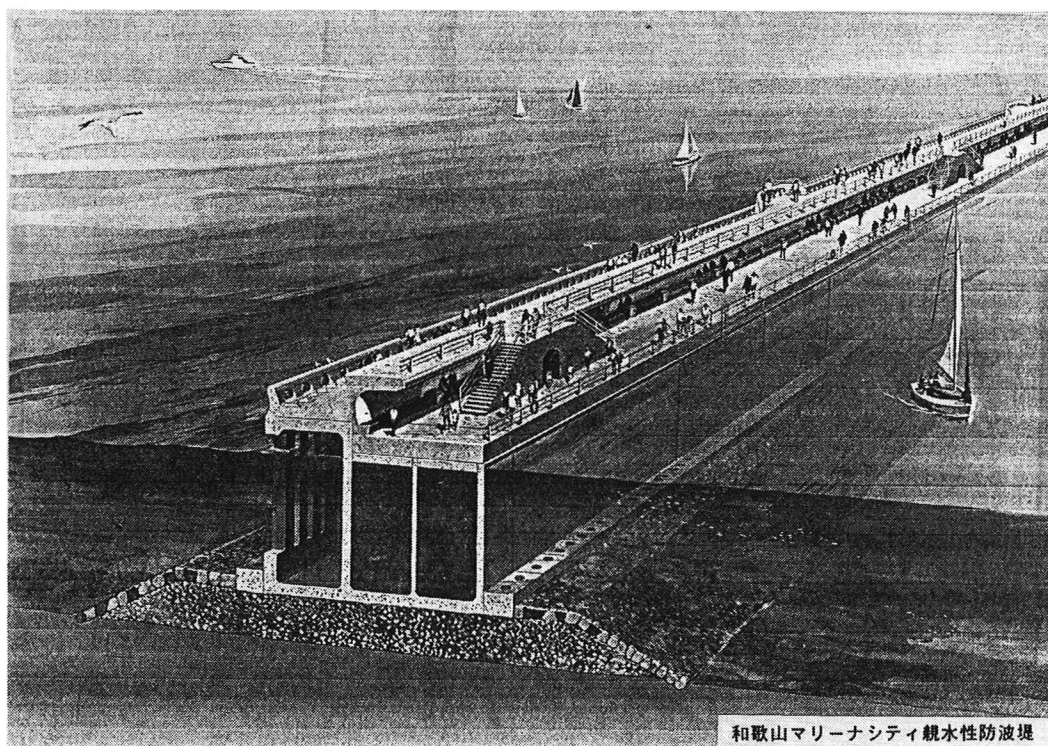
更に、上段デッキの一部を拡幅してアクセントを付けたり、壁にデザインを施したりして市民に親しみのもてる形状にすることとしている。また、周辺景観との調和も考慮した安全対策としては、港外側に人の落下防止と波返しを兼ねた高さ90cmのパラペットを設置した。その天端には、丸味を付け、人が立ったり座ったりできない形状にした。また、港内側の上段・下段デッキの端部と階段部には、手摺りを設けた。さらに、港内側には100mおきに救命用のはしごや浮輪を設けることとしている。



図－3 親水性防波堤の全景



図－4 港内側から見た親水防波堤



図－5 親水性防波堤の断面

5. 水理模型実験

このような特殊な形状の上部工を持つ縦スリットケーソンの設計、施工実績がないため消波機能、伝達波の特性ならびに波力に対する堤体の安定性、上部工各部に作用する波力等を水理模型実験（波圧測定、二分力計による合力測定）により確認した。模型実験用の断面は、まず、過去に行われた縦スリットケーソンの実験結果を参考に遊水部の形状を設定した。さらに、堤体にかかる波力は、合田式（補正係数 $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ ）を用いて試設計を行なった。模型実験に用いた断面、波圧計設置位置及び模型実験の条件を図-6、表-2に示す。以下、その実験結果の概要を述べる。

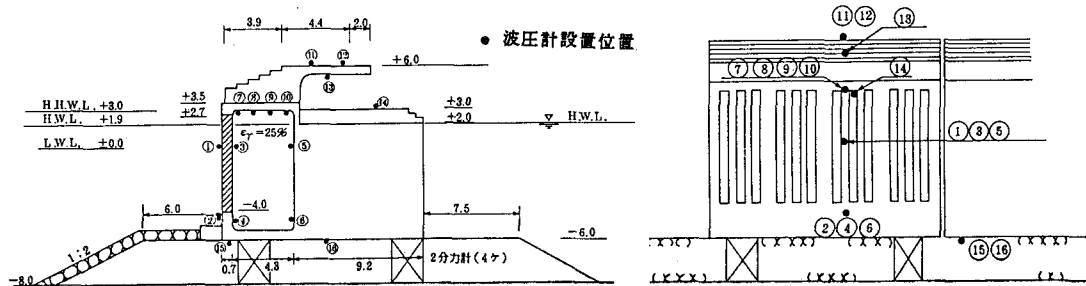


図-6 実験用の断面

表-2 実験条件

項 目	防波堤天端高 (m)	潮 位 (m)	堤 前 波		備 考	
			周期・(sec)	波 高・(m)		
反 射 率	+ 3.5	± 0.0	4.5	1.5	不規則波実験	
伝 達 率	+ 6.0 + 5.5	+ 1.9	8.0	4.0	不規則波実験	
波 力	+ 6.0	+ 1.9	8.0	5.5	非 砕 波	規則波実験
				6.4	砕波限界	
				4.8	砕 波 後	
波 圧		+ 3.0		6.7	砕波限界	規則波実験
滑 動	+ 6.0	+ 1.9	8.0	6.4	規則波実験	
		+ 3.0		6.7		
		+ 1.9	8.0	4.1	不規則波実験	
		+ 3.0				

* 不規則波実験の場合：有義波周期、有義波高

* 規則波実験の場合：一定周期、波高

まず、反射特性に関しては、小型船舶が航行できる限界波高 ($H_{1/3} = 1.5 \text{ m}$, $T_{1/3} = 4.5 \text{ sec}$) を縦スリットケーソン堤の消波対象波に設定し、その反射率 (K_r) を模型実験より求めた。その結果 $K_r = 0.35$ となり、設計上期待していた $K_r \leq 0.4$ を十分満足する値が得られた。よって、遊水部の形状は、模型実験に用いた断面でよいことが確認された。

次に、天端高さについては、図-2に示す防波堤の配置に基づき、異常時における設計波 ($H_{1/3} = 4.0 \text{ m}$, $T_{1/3} = 8.0 \text{ sec}$) が防波堤開口部から港内に入射してくる回折波と防波堤を越えた伝達波との合成波高が係船岸前面で 0.5 m 未満となるように定めた。そのため、まず、回折計算により係船岸前面での回折波高を求め、合成波高が 0.5 m 以下となるための許容伝達率 ($K_T \leq 0.08$) を設定した。天端高を変えて実施した模型実験から得られた伝達率を表-3に示す。それによると防波堤の天端高さは、 $D.L + 5.5 \text{ m}$ 以上にすれば設計上の伝達率を満足することができる。しかし、港内側にあるダブルデッキの底の下を人が自由に通行できる必要高さの確保や他港のマリーナの天端高さなどを参考して $D.L + 6.0 \text{ m}$ と設定した。

さらに、堤体の安定性及び部材設計に用いる波力を求めるため、規則波による波力実験を行った。二分力計で得られた全波力の実験結果と合田式（補正係数 $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$ ）による計算値を比較した。その結果を表-4に示す。全水平波力は、合田式による計算値と非常に近い値となった。また、全鉛直波力は、計算値の方がやや大きくなり設計上は安全側になった。合成滑動波力についても、計算値とほぼ同じ値が得られた。

表-3 伝達率の実験結果

天端高 (m)	入射波高 $H_{1/3}$ 現地 (m)	伝達波高 H_t 現地 (m)	伝達率 $K_t=H_t/H_{1/3}$
+6.0	4.0	0.3	0.08
+5.5		0.3	0.08
+5.0		0.4	0.10

表-4 波力実験結果一覧表

潮位 (m)	周期 (sec)	波高 (m)	波 力 実 験					
			全水平波力 (t)		全鉛直波力 (t)		合成滑動波力 (t)	
			実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
+1.9	8.0	5.5	693.2	703.9	306.4	350.9	877.0	914.4
		6.4	866.3	853.6	322.8	408.3	1060.0	1098.6
		4.8	664.9	593.4	217.8	306.1	795.6	777.1
+3.0	8.0	6.7	822.5	861.8	234.9	399.1	963.4	1101.3

注 1) 全水平波力、全鉛直波力は二分力計での値

2) (合成滑動波力) = (全水平波力) + 0.6 × (全鉛直波力)

波圧計から得られた水平波力の分布形状は、押波・引波時とも合田式の計算値とほぼ一致する結果になった。ケーソンの底面に働く揚圧力は、三角形分布となり、計算値の50～70%程度になった。さらに、頂版に働く揚圧力は、遊水室の奥が前面よりやや大きい分布となり、L.W.L.の場合には、波力係数 $P/WoH=0.6\sim1.0$ 、H.W.L.の場合には、波力係数 $P/WoH=0.5\sim0.6$ となった。その波圧分布の一例を図-7に示す。

以上、今回の模型実験結果から、頂版付き縦スリットケーソン堤における波力の算定法は、合田波圧($\lambda_1=\lambda_2=1$)を適用できることが確認できた。

一方、滑動実験からは、堤体の変位量が0.2mm/波を越える場合の堤体重量を滑動限界重量として、堤体の安全率を求めた。H.W.L.の場合と、L.W.L.の場合の安全率(F)は、 $F=1.24$ 、 $F=1.18$ となり堤体のすべり出しに対する安定性が確認できた。

以上の水理模型実験の結果、ならびに、合田波圧($\lambda_1=\lambda_2=1$)を用いて基本設計を行った。その標準断面図を図-8に示す。

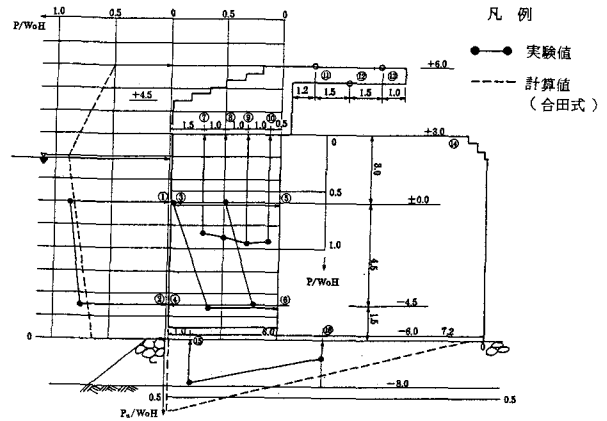


図-7 波力実験結果例(HWL, H=8.0sec)

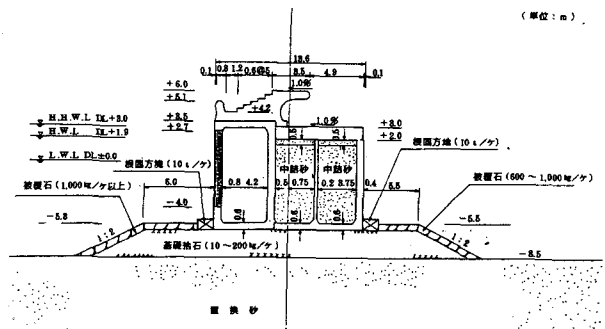


図-8 標準断面図

6. あとがき

近年、余暇時間の増大、価値観の多様化により、ボーディング・ヨットイングなど海洋スポーツ型のレクリエーションが活発化して、各地でマリナーを中心とした海洋性レクリエーション施設の整備が進められている。その整備において、最近、景観の創出や親水性などの要請が高まってきている、今回、和歌山マリナーシティの防波堤については、これらの要請に応えるべく設計を行ったものである。この種の設計は、まだ緒についたばかりである。したがって、今後技術的な開発を行いながら市民のニーズにあった施設を設計することとしている。