

マリーナ計画のための海岸工学的基準(1)

酒 匂 敏 次*・野 尻 徹 郎**・遠 藤 泰 司***

1. ま え が き

最近になって、わが国の港湾に、新しいグループ「マリーナ」がつけ加えられた。ヨット、モーターボートなどを収容するプレジャーボート・ハーバーとして、海洋性レクリエーション基地の中核として、今後、量的にも、質的にも飛躍的な発展が期待されているものである。ところで、マリーナは、スモールクラフト・ハーバーとしては、漁港と共通の要素も多く、したがって、従来からある漁港設計の基準が適用できる面もかなり多いわけであるが、それと同時に、漁港とは全く異なった運営機能を持つために、独自の設計基準を要求されることも数多く、海岸工学、港湾工学上、未開拓の新分野を形成している。

マリーナ施設に対する需要が早くから大きかった欧米諸国では、大小とりまぜて数多くの事例があり、特に、アメリカにおいては、港湾建設の主流はマリーナで占められているといっても過言ではない。それゆえに、この種施設のための設計基準に関する研究、技術開発などについてもかなりの経験を有している。

本論文は、環境開発システムの一環としてのマリーナ計画上の問題点について検討を加えるとともに、アメリカにおける大規模マリーナの実例について簡単に紹介し、それらの直面した海岸工学的な諸問題について考察し、マリーナ計画上の基本となるいくつかの限界条件についてのデータを提示することを試みたものである。

2. マリーナ計画の考え方

マリーナ計画の基本は、マリーナのマスタープランが、地域の経済社会開発計画、公共遊園地計画などの総合的な環境開発計画の一環としての海浜利用計画に基づいて作られることである。マリーナの経済的な条件についての検討はともかく、マスタープラン作成にあたっては、次のような点について考慮する必要がある。

(1) 波や流れ、風の条件、気候、地形、海の利用の可能性などを考慮した位置の選定。

(2) 交通施設の状況、背後地の利用計画、都市との

関連。

(3) 防災、上下水、汚染対策など地域開発との関連。

(4) 漁港等の他施設に対する影響、自然海浜の破壊など環境保全に関する検討。

(5) 漁場、航路など海域利用との関連。

(6) 他のレクリエーション施設との関係。

(7) マリーナの規模、将来計画、陸域施設と水域施設との関連など、その機能と社会的サービス。

次に、マリーナは、他のハーバーからクルージングしてくるヨットやボートに対して、暴風時や緊急時の避難港としての役割をはたし、遠くからクルージングしてくるクラフトに対し停泊地や、修理場、船揚げ場等を供給する港としての役割をはたす。また、ここに集まる人々にレクリエーションセンターとしての場を提供するなど、社会的なサービスも行なう必要がある。したがって、マリーナの計画にあたって次のような施設について考慮する。

水域施設としては、(1) 防波堤や護岸などの防護施設、(2) ブイや灯標等の航行補助施設、(3) 停泊地、(4) アンカーリッジエリア、(5) 給油などのマリーナサービス、クラフト操作施設として、(1) 船揚げ場、(2) クレーン、(3) ドックなど、陸上施設としては、(1) 管理棟、(2) パーキング、(3) ショッピングストア、(4) トイレット、(5) 陸置場、(6) 修理場、(7) 艇庫、(8) ロッカーなどである。

そして、安全な航行や停泊を保証するとともに、給油、給水、排水、電気、電話等の利用、清掃、ゴミ処理、保安、消火、救助活動、天気予報、航路情報などのサービスを行なうものである。

3. マリーナ設計の基本項目

さて、マリーナは、十分防護された水域を有し、スモールクラフトの利用に、便利で安全な場所を提供するとともに、さまざまなサービス施設を備える必要がある。したがって、マリーナの規模や構造、将来計画、建設費等を考慮しながら、陸上施設や操船施設、水域施設について、限られた区域を有効に利用し、最高の機能を発揮できるように設計する。水域施設に限れば、次のような設計上の基本項目について十分考慮する必要がある。

* 正会員 Ph.D. 東海大学教授 海洋学部

** 正会員 日本テトラポッド(株)事業開発部長

*** 正会員 日本テトラポッド(株)事業開発部

(1) 波, 風, 潮位, 流れなどの設計条件の決定, (2) 防波堤, 護岸等の防護施設の配置と構造, (3) 港口の位置, 方位の決定, (4) Tidal flush に関する検討, (5) 港口や航路の幅, 水深, (6) 泊地の広さと水深, (7) アンカーリッジエリアの広さ, (8) スリップ, バースのクリアランス, (9) バースの数と規模, (10) 航路維持の方法(埋没対策等), (11) 港内汚染防止対策。

4. アメリカにおける大規模マリーナの事例

アメリカにおけるマリーナは, 当初, 単なる繋船場所を提供するだけのものであり, クラフトの数も少なく, ある程度大きな波を受けても, クラフトはスウィングするだけで, 被害を受けるようなこともなかった。しか

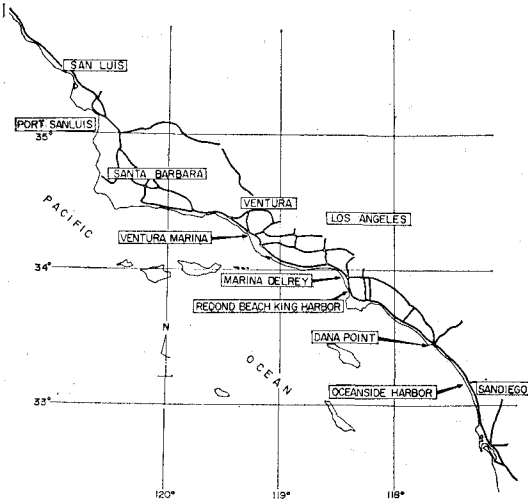


図-1 Locality Map

し, スモールクラフトの増大とともに, マリーナは混雑し, また, ボートの取扱いになれない人々が増加してきた。そのため, 波や流れを小さくし, 被害を生じないような, 大規模なマリーナが必要となってきた。ここでは, アメリカにおける大規模マリーナの実例と, そこで生じた海岸工学的な問題について述べる。

(1) Marina Del Rey

Marina Del Rey は Los Angeles の西約 15 マイルの Santa Monica 湾に位置しており, 外洋に面した, 大規模なスモールクラフトハーバーの最初の例である。ここは, W~NW, および S~SW 方向の風波やうねりの影響を直接受ける場所である。このマリーナは, 収容隻数が 8000 隻であるため, 航路幅も 1000 ft と広く, したがって, 航路を通じて泊地内に入る波は予想以上に大きかった。そして, 泊地内の副振動も加わり, 図-2 に示される B, A, H の basin の静穏度が悪く, 特に, B basin では, オープン後の最初の暴風でボートや繋留施設に多大の被害を受けた。そのため, 模型実験により, 離岸堤を設置する案や, 各泊地の入口に消波工を設

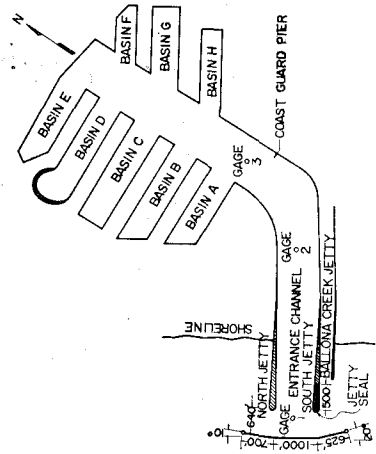


図-2 Marina Del Rey

置する案など種々の改良案が検討された。対象とした波は, 周期 13 sec, 波高 16 ft, 波向 S-80°-W であり, 検討の結果, 図-2 に示す延長 2325 ft の離岸堤を設置することになり, これによって, 進入する波の 95% が遮蔽されることがわかった。離岸堤は, 中央部および北側部の 1700 ft は天端高 +22 ft (M.L.L.W. 上), 南側 630 ft は +17 ft であり, 捨石構造である。さらに, 南側 Jetty 1000 ft の区間を, 透過波を防ぐために, 不透過構造に改良した。

(2) Redondo Beach King Harbor

この港は, Marina Del Rey の南約 6.5 マイルに位置し, したがって, 波の条件等は類似している。図-3 に示すように港内は 3 つの泊地に別れ, 水深は -8.0 ~ -12 ft, 収容隻数は 1350 隻, 陸置き 150 隻である。

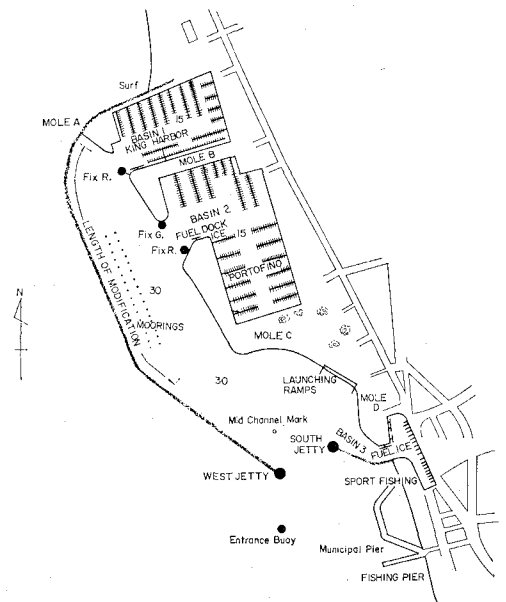


図-3 Redondo Beach King Harbor

防波堤は、延長 4955 ft, 天端高 +14 ft (M.L.L.W. 上) の捨石構造であった。そして、-10 ft まで是不透過な Core stone であるが、上部は天端まで約 13 t の捨石が使用されていた。このように、上部工が大きな捨石であったため、越波や透過が大きく、そのため、1962～63 年の冬期間には、ボートや施設に多大の被害を生じた。これは、設計時には、まだ、越波や透過によるエネルギーの伝達率や、港内波の再生についての問題が十分解明されていなかったことにもよる。実験研究の結果、改良案は図-4 に示すように、天端高を +22 ft に

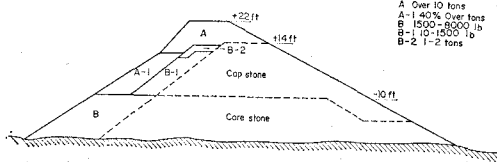


図-4 Repair Section of Redondo Beach-King Harbor

かさ上げし、港内側に +9.0 ft まで、不透過な Core stone を設置することとした。その結果、当初断面に比較して、波高伝達率は大幅に減少し、H.H.W.L. で沖波 17 ft に対して、港内波高は 1.7 ft まで減少した。防波堤改良の目的は、泊地内の波高を 2 ft 以下におさえることであり、同時に、B, C の Mole からの反射波を消し、航路の静穏度を高めるためである。

(3) Ventura Marina

Ventura Marina は水域面積 320 ac, 収容隻数 2500 隻の大規模なマリーナである。港口幅は 300 ft で、そ

れぞれ、延長約 1000 ft の南北突堤によって、泊地内は完全に防護されている。港口は S, または SW 方向の暴風に対して開けているが、年間を通して W, または NW からのゆるやかな風が卓越し、セーリングボートの出入りにはきわめてよい条件であった。しかしながら、少し海が荒れ、周期 14～15 sec, 波高 3～5 ft 程度の波になると、港口部の水深が 15 ft もあるのかかわらず、港口全域で碎波する。また、8 ft より大きい波は、港口より沖合で碎波するが、二次波が航路上で碎波し、スモールクラフトの出入りに危険をおよぼす状態であった。また、漂砂が激しく、航路が埋没する危険があった。その対策として、突堤を延長する案、離岸堤を設置する案などが検討された。そして、完全な遮蔽効果は考えず、W 方向からのうねりに対して港口部を防護し、また、漂砂の移動を防止するために、図-5 に示すように、延長 1500 ft の離岸堤を設置し、同時に、80 万 m³ の浚渫を行なうこととした。

(4) Dana Point Harbor

Dana Point では NW～N～NE 方向の風は、背後の 40～100 ft の崖で遮ぎられており、また、W～SW 方向の暴風は、San Clemente 島と Catalina 島によって遮蔽されている。しかし、S～SE 方向の風と、S 方向からのうねりの影響を受ける。現在、長さ 300 ft のコンクリート・ピアを除いては、ボートの施設はない。このピアも、何ら防護されていないため危険であり、スポーツフィッシング以外は使用が許可されていない。そこで、最も新しい大規模マリーナの建設が計画されたものである。計画の概要は次のとおりである。

収容隻数: 2150 隻 ハーバー面積: 278 ac
陸域面積: 110 ac 水域面積: 155 ac
西防波堤: 延長 5500 ft, 天端高 +18 ft (M.L.L.W. 上)
天端幅 16 ft
東防波堤: 延長 2250 ft, 天端高 +14 ft, 天端幅 14 ft
港口航路: 延長 1600 ft, 幅 600 ft, 水深 -20～-15 ft
主航路: 延長 3300 ft, 幅 350 ft, 水深 -15 ft
泊地: 延長 3000 ft, 幅 1100 ft, 水深 -12～-15 ft

ここでの波の条件は、ほとんどが 7 ft 以下であり、7 ft 以上の波の発生頻度は 0.25% である。1 年確率の波高は 10 ft, 5 年確率は 14 ft, 50 年確率は 27 ft と推算されており、波向は S～S-50°-W 方向が 90% を占める。M.H.H.W. は +5.3 ft, 設計潮位は +6.0 ft である。このハーバーの設計には、特に、次のような考慮がなされている。

(a) 泊地を完全に防護するためには、西防波堤の天端高は +22 ft が必要であるが、コストの問題、陸上施設の関係から、西防波堤と平行に堤防を築き、埋立を行なう。この区域は、通常はパーキングエリア等に利用し、最大暴風時には、第 2 次の防波堤として、泊地を防護する。したがって、西防波堤の天端高は +18 ft とし、

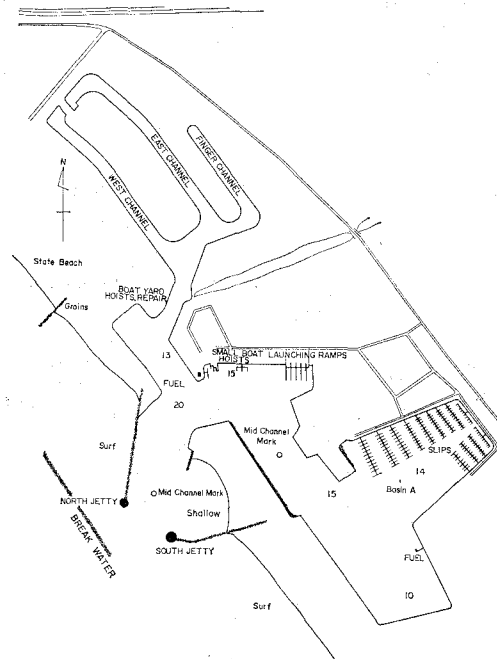


図-5 Ventura Marina

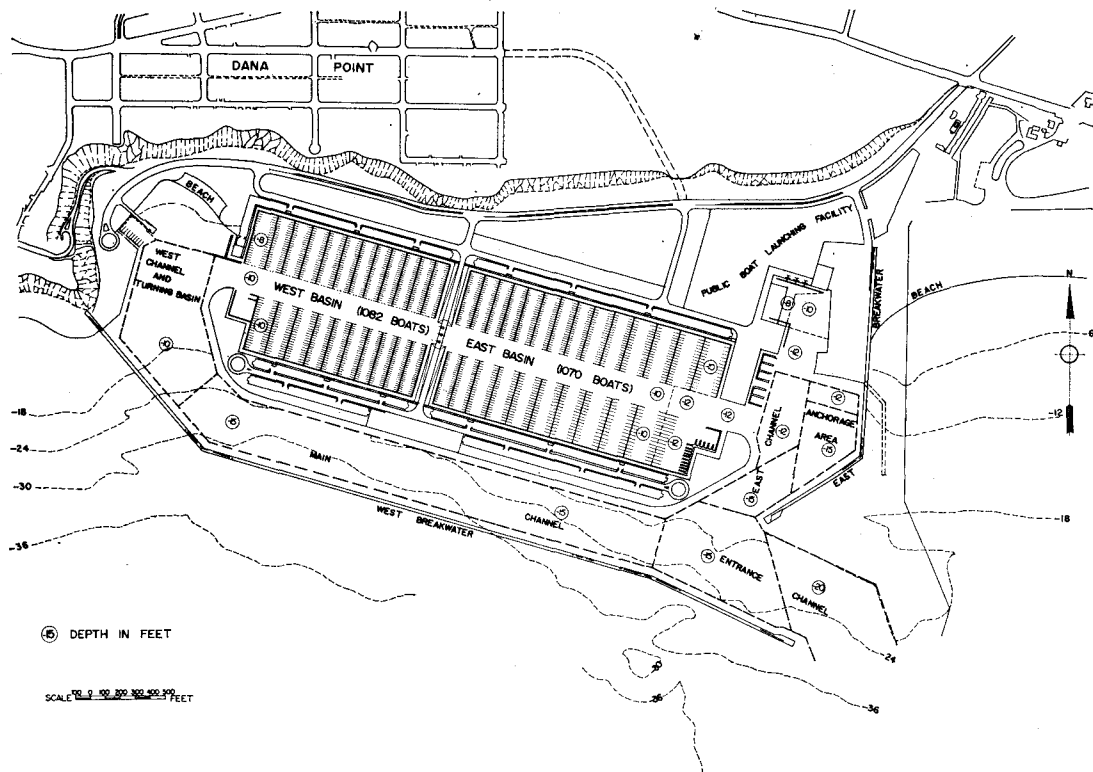


図-6 Dana Point Harbor

埋立地の堤防は天端高 +14 ft とし、主航路の静穏度を保つため捨石構造とする。

(b) 西防波堤の先端部 1100 ft の区間を南に曲げ、港口航路の幅を拡げて、航行しやすくする。

(c) 泊地入口を2か所とし、泊地内汚染を緩和する。

5. 海岸工学的諸問題

マリーナの計画設計上特に重要な問題は、港域を防護し、安全で便利な航路を維持し、最小限の建設費と維持費で波や流れに耐えるように、港内外の施設を設計することである。そして、いずれの構造物も、利用するスモールクラフトの要求を十分満足するものであり、また、クラフトの操作や航行に障害を与えるようなものではない。ここでは、マリーナ計画設計上の海岸工学的基準または問題点について検討してみよう。

(1) 港口位置の選定

港口は、波が集中しないような位置、うねり等の影響を受けないような方向を選ぶ。また、入港するクラフトが横波を受けないようにできるだけ波向と一致させる。Dana Point Harbor は、2000 隻を対象とした場合、港口幅は 400~500 ft でよいが、横波を受けるような場合には 500~600 ft がよいとされている。King Harbor の港口幅が 500 ft であるのはこのような理由による。

港口部の水深は、碎波の影響を避けるためできるだけ深くする。Ventura Marina では、3~5 ft の通常の波が港口部で碎波し、危険であった。セーリングは、図-7に示すように、45° 方向の風上に直進することはできない。そのため、セールボートの出入港が安全でできるように、港口の方向はセーリングに必要な卓越風(最

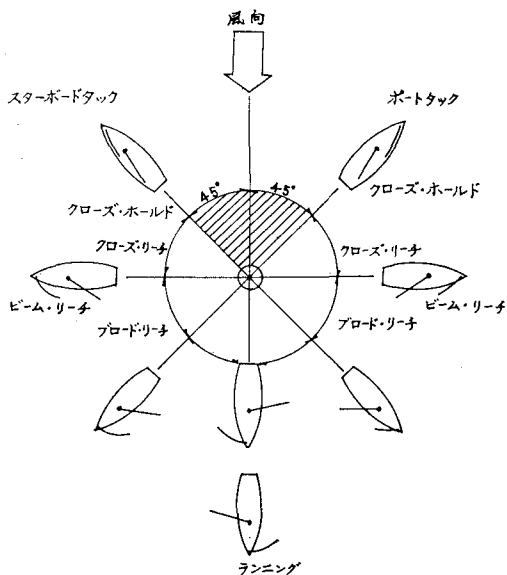


図-7 風向とセーリング

大 10~12 m/sec の風) との関係を十分考慮する必要がある。

(2) 航路の設計

航路はできるだけ直線が望ましい。港口および航路幅は、往復航行できる広さとし、クラフトの大きさ、数によって決定される。最小は 50 ft、または、船幅の 5 倍程度としている。50 ft 以下のクラフトで、泊地面積の狭い場合には 100 ft、500 隻以上を収容する場合には 200 ft 以上が望ましいとされている。港口幅は、航行の必要性から決められるが、同時に、港内の汚染防止、漂砂による港口および航路の埋没を防止するため、できるだけ Tidal flush を生じるように考慮する。Dana Point Harbor では、泊地の入口を 2 か所とし、泊地内の汚染をできるだけ軽減するように計画されている。

(3) 許容限界波高

ヨットやモーターボートはきわめて高価なものであり、破損や沈没は許されない。また、操船や航行時、波の作用を受けやすい。どの程度の波高まで許容できるかは、操船や航行の可能性、クラフトや港内各施設に対して予想される被害の程度とその発生頻度等を考慮して決められている。Dana Point Harbor では、港内の限界波高は表一に示す値が採用された。ここでの波の状況

表一 港内各施設に対する許容限界波高
(Dana Point Harbor)

港内施設	防波堤付近の 入射波高	通常の波 $H_s=7\text{ft}$	厳しい波 $H_s=12\sim16\text{ft}$ 5~30年確率	最大波高 $H_s=27\text{ft}$ 100年確率
		$H_s=7\text{ft}$	$H_s=12\sim16\text{ft}$	$H_s=27\text{ft}$
港 口	部*	2.0~4.0 ft	4.0~8.0 ft	—
航 路		2.0~4.0	4.0~8.0	
泊 地		0.5~1.0	1.5~3.0	4.0
スポーツフィッシングドック		1.0~2.0	3.0~6.0	6.0
ランチング エリア		0.5~1.0	2.5~5.0	5.0
アンカーリッジ エリア		1.5~3.0	3.0~6.0	8.0
給 油 施 設		1.0~2.0	3.0~6.0	6.0

* 西防波堤の背後

は、前述したように、通常の波は 7 ft 以下、厳しい波は 12~14 ft、最大の波は 27 ft とされている。表一 の値を採用した理由は次のとおりである。

a) 港口：クラフトのタイプ、セイラーの能力、港口の幅や波の方向などによっても異なる。2.0~4.0 ft の波は、横波を受けても航行できる大きさである。12~16 ft のような厳しい波の条件では、前もって、天気予報等で予想がつくため、スモールクラフトは外海を航行することはない。どうしても入港するというような場合、大型船は 4.0~8.0 ft 程度の波であれば、状況判断に基づいて、横波を受けても入港できる。小型船は危険であり、小さい波 (平均 3 ft 程度) になるまで入港を待つ必要がある。最大波高のときは、砕波が起こり、航行は危

険である。

b) 航路：港口の場合と同様である。方向が変わるような航路では、限界波高はさらに小さくなる。

c) 泊地：ボートに長期間滞在するような例は少なく、また、一般にセーリング期間も短い。したがって、暴風時大部分のクラフトは無人であるので、被害を受けないためには、十分な静穏度が要求される。0.5~1.0 ft 程度の波では、ボートやパースは何ら被害を受けない。1.5~3.0 ft の波高では、十分に管理されたパースは被害を受けないが、一方、ロープが切れたり、ロープ止めが破損したりして、クラフトが沈没する可能性がわずかにある。4 ft を越えれば、パースやボートに甚大な被害を生ずるのであろう。

d) アンカーリッジエリア：大きな船が、前後にアンカーを打ち、波に耐える。1.5~3.0 ft の波では、停泊中も安全で被害を受けない。3.0~6.0 ft の波では、大型船は被害を受けない。8.0 ft の波では、他に避難しなければ、10% 程度の船は被害を受けるだろう。

これらの限界波高は、水域面積も広く、クラフトを水上保管するような場合の値である。日本の場合は、水域面積も狭く、繫留方法も異なることが予想される。したがって、ここに示した値は一応の目安であり、日本におけるマリーナの規模、波の特性等を考慮した限界波高について検討する必要がある。

(4) 港内反射波の防止

港内で発生する反射波による三弁波は、平底のきつ水の浅いヨットなどの船底を打ち、船体を動揺させ、時には岸壁に衝突して被害を生じる。また、Marina Del Rey のように、長周期の波に対して、泊地の形状によっては、副振動が起こり、波高が増大し、クラフトはロープを切って、岸壁に衝突したりする。そのため、泊地は、副振動の起こらないような形状とし、泊地内は、波浪エネルギーを吸収するような構造を採用する。

(5) 防波堤構造と天端高

港口付近の防波堤は、できるだけ、反射波の生じないような構造とする。港口部での反射波は、スモールクラフトの入港にとって危険であり、Oceanside Harbor では、突堤からの反射波が航行の障害となり、その対策として、捨石による消波工が設置されている。また、King Harbor や、Dana Point Harbor では、防波堤を捨石構造とすることによって、反射波を消し、航路の静穏度を高めている。防波堤の天端高は、越波や透過率を減少させるためには、できるだけ高い方がよいが、セーリングにはできるだけ低い方がよい。防波堤が高すぎると、入港してきたヨットが防波堤内に入った時、風を受けられなくなり、航行できなくなることがある。また、狭い水域が高い防波堤で囲まれている場合には、風が不規則となり、セーリングがむずかしくなる。

6. む す び

今後、日本でも、海洋レクリエーションが増大するにつれて、マリーナの計画も多くなることが予想される。まだ日本では、本格的なマリーナの実例は少なく、マリーナ計画設計上の問題点も十分解明されていない状態である。マリーナは、港としての広い機能を十分発揮するためには、地域の特性に合致した計画と、海岸工学的な問題点を十分考慮した設計がなされる必要があろう。このような観点から、本論文が、実際にマリーナの設計計画に関係している方々の参考となれば幸いである。続いて、日本における気象、海象条件、社会的条件等を考慮し、それぞれの条件に合った設計基準について、検討していく予定である。

参 考 文 献

- 1) Timme, R.C. : Oceanographic Criteria for Design of Small Craft Harbor, Proc. of 10th Conf. on Coastal Eng., 1966.
- 2) Lee, C.E. : On the Design of Small Craft Harbors, Proc. 9th Conf. on Coastal Eng., 1965.
- 3) Lee, C.E. : Small Craft Harbor Problem, Journal of the Waterway and Harbors Division, A.S.C.E., WW 3, 1964.
- 4) Lewis, R.L. : Sea Guide, Volume One, George Rice & Sons, 1966.
- 5) The TASK Committee on Small Craft Harbors : Report on Small Craft Harbors, A.S.C.E., Manuals and Reports on Eng. Practice, No. 50, 1969.
- 6) U.S. Army Eng. District, Los Angeles Corps of Eng. General Design for Dana Point Harbor, Dana Point, California, Design Memo. No. 1, 1965.
- 7) U.S. Army Eng. District, Los Angeles Corps of Eng. General Design for Ventura Marina, Ventura County, California, Design Memo. No. 1, 1970.