

海中展望施設の開発について、

日立造船株式会社 海洋開発部 副参事 岡本章三

1. はじめに

海中景観のすばらしい地域を海中公園に指定し、自然景観を保護すると共に、これを利用しようとする動きが活発になってきたことは、周知のとおりであり、海中公園の利用施設として、海中展望のためのいろいろな計画が、各所でなされている。

海中展望塔は、その一つの施設として、すでに、和歌山県 白浜、沖縄西海岸 那覇名岬、そして、和歌山県 串本、にそれぞれ建設された。

しかし、海中展望施設の構想は、全く人工的なものまで含めて、直ちに実施可能なものから、また空想の域を脱しないものまで、いろいろ考えられるが、これらの施設は、自然保護の面からも、計画される地域の自然条件に最大限に合致したものを選ぶべきであって、しかも陸上施設に比べ、多額の資金を必要とし、さらに海中工事のむずかしさを考えた場合、海中展望施設の開発には、多くの問題を含んでいる。

そこで、海中展望施設として、すでに建設された海中展望塔について、その概要を紹介し、今後に期待される海中展望施設の開発について、二、三の私見を述べたい。

2. 海中展望塔開発の経緯

海中公園の指定に先がけて、いままでに各所で見られる水族館などの、人工的なものとは別に、自然の海中景観を見せる施設を開発しようと言う目的から、昭和40年6月、わが国で初めての試みであった海中公園展に、海中展望塔の構想を发表した。

その後、外海に建設される海中展望塔が、わが国の苛酷な気象条件に耐え得る安全なものとするため、模型による水槽実験をはじめ、いろいろの角度からの技術検討を行なったが、昭和42年、白浜に建設することになった海中展望塔第1号を受注するに到り、現地での調査工事をはじめとした実施設計に入った。しかし、初めてのものであったため、建設省、県などの指導方針が、未だ確立されていなかったため、構造上の安全性の審査、公有水面使用上の許可など、建設認可に、予想外の期間を費す結果となり、昭和45年1月に、ようやく、第1号が完成した。その間、第2号である、沖縄海中展望塔を受注し、約1年に亘る現地工事の末、昭和45年8月に完成し、続いて、昭和46年1月には、串本海中展望塔が完成した。

3. 海中展望塔の構造

海中展望塔は、わが国の気象条件から、猛台風にも安全なものとするため、塔形式とし、波力、風力などの外力の影響を、できるだけ小さくしている。

塔体は、海上展望室と、海中展望室からなる鋼製全溶接円筒殻構造で、塔体には、上り、下り、と二重に設けられたうねり階段があり、海上展望室と海中展望室が連絡されている。海中展望室には、周囲に展望窓があり、ここから、海中景観を眺望することが出来る。

塔体は、海岸から、100m～150m沖合の、水深5～10mの地盤に設置されるのが望ましく、

陸上とは、海上展望室から、栈橋あるいはモノレールなどで連絡される。塔体、栈橋ともに、風波に耐え得る堅牢な構造になっているが、特に、栈橋は、波の影響を受けないう、海面より高くしている。塔内は、換気、冷房が整備されており、室内照明は勿論、海中照明も備えている。また、耐久性にも注意が払われ、すべて、特殊マリン塗料を使用し、海中部分は、電気防食を施している。

塔の大きさは、海中展望室が、直径5.0m～10.0mで、海上展望室も、テント張りの展望台形式のものから、2階建の展望室を設けたものまで、幅広い設計となっており、収容人員は、海上、海中の部屋を合せて、60人～150人である。

海中展望室は、直径3.0mで、強化ガラス2枚張り合せとし、ガラスの強度は、耐圧テストにより確認されているが、さらに、万一の場合に備えて、2重窓とし、荒天時に内側から閉塞できるアルミ製内蓋を具備している。また、最良は、視界を広げるため、展望室を大きくしたり、方形の窓を採用するなど、開発が進められている。

基礎の構造は、その部屋、建設地元の海底地盤に適した形式を採用しているが、現在までに建設したものは、大別して、アンカー基礎と、重力基礎である。アンカー基礎は、海底地盤が良質の岩盤である場合には、岩盤をボーリングして、所定のアンカーボルトを埋込み、転倒に対するモーメントとせん断力に抵抗させるものであり、重力基礎は、鉄骨コンクリートのフーチングを海底に設け、その上に塔体而建て、転倒に対し、基礎の重量とフーチングを通じて、海底地盤の地耐力により抵抗させるものであるが、前者が、白浜海中展望塔の基礎の構造で、後者が、沖縄海中展望塔の場合である。

4. 海中展望塔の設計

1) 模型実験

設計に必要な、波高、波長、周期、風圧、波力、などの外力を的確にとらえるため、実物の $1/25$ 縮尺模型による水理実験を行なった。実験条件としては、波力測定に際しては、Franséの相似則にしたがって、周期は0.8～1.3 sec(実際に換算して4～6.5 sec)、波高は10～20 cm(実際に換算して2.5～5 m)とし、波高一定で周期を変化させる場合、周期一定で波高を変化させる場合など、また、風荷重については、定常風と、突風の場合を考慮して、風速は8～30 m/sec、突風周期として、5.5～9.0 secを選んで、塔体に働く外力の大きさを実験的に把握した。

2) 設計

海中展望塔の設計には、建設地元の気象条件と、海底地盤の状態を的確につかむ事が必要であることは言うまでもなく、そのために、かなりの予備調査が必要となる。

気象条件については、気象データによる推定と、付近の海域を詳細に測量して、海底の起伏状態、海底勾配、などを知り、海岸に押寄せる波浪の大きさを推定する。

海底地盤の良否は、ボーリングとそれに付随した各種の物理試験によって判断し、確認のためは、現地でボルトの引抜テストを行なっている。

塔体の設計は、「港湾構造物設計基準」及び「鋼構造物設計規準」により設計しているが、さらに、安全性の確認のため、建設省の指示により、構造設計については、財団法人日本建築センターに審査を依頼し、建築構造審査会、鉄鋼系委員会の数回にわたる審査の結果、構造耐力上、支障のないものとして、認可されている。

5. 海中展望塔の建設工事

1) 塔体の製作、運搬

塔体の製作は、原則として、工場で一体に製作し、一部の現地組立部を除いて、内装まで完成する。しかし、今後に期待される大型の海中展望塔の場合は、運搬、組立機材などの能力から、現場搭合や現場組立を考慮する必要があることになり、海上、海中の搭合、組立は、極力避けるべきであることは、言うまでもない。

製作に当っては、リブの取付など、溶接工事が多く、接合部の水密性は、特に重要で、水張テストなどの水密テストを行っており、X-Ray 検査も100%近く実施している。

工場で一体に製作した塔体は、クレーン船で直接吊下げた状態で、現地まで運搬したり、バージに搭載して曳航する。前者が白浜、後者が沖縄の場合である。

2) 基礎工事

前述のとおり、基礎の構造が異なると、基礎工事の方法も変わってくるが、実施例として、白浜、沖縄海中展望塔の基礎工事にについて概要をのべる。

i) アンカー基礎(白浜海中展望塔)

径 70mm × 20 本のアンカーボルトを直接岩盤に埋設するため、海上に作業足場を設置し、この上から、あらかじめ、海底に設置した定規板を基準に、 20 本の径 20mm ×長さ 6.0m のボーリングを行ない、この中に、アンカーボルトを挿入して、所定の寸法に調整の上、モルタルを注入して固定した。白浜の場合、海底地盤は、一部、粘土層を挟んだ軟質の砂岩で、各々のアンカーボルトは、海中でモルタル注入の施工管理を厳重にしたため、十分な強度をもつて、岩盤にアンカーされていることが、ボルト引抜きテストで確認されているが、さらに、一体の岩盤基礎として、十分な強度を期待するため、必要範囲に、多数のボーリングを行ない、鉄筋を挿入し、モルタルで固めて、岩の節理を縫合させた構造に補強した。

ii) 重力基礎(沖縄海中展望塔)

沖縄海中展望塔は、海岸より約 150m 沖合に張出したサンゴ礁の先端より、さらに約 20m 沖合に建設したが、建設地奥の海底は、サンゴ礁と砂の堆積層で、基礎地盤としての強度は低く、特に、引張力に対しては、殆んど期待が出来なかった。従って、地盤の耐力力と基礎の重量によって転倒に抵抗する、所謂、重力基礎を採用した。

直径 1m 、高さ 2.5m の円形の基礎鉄骨は、現地に近い陸上で一体に組立て、一方、海底の基礎工事は、表層の堆積サンゴ礁の掘削、ならしを行ない、基礎鉄骨を据付けベース造りを行なった。

陸上で組立て完了した基礎鉄骨は、海底基礎工事の工程に合わせて、クレーン船で吊出し、海底ベースの上に据付けた。基礎鉄骨には、塔体をアンカーする 20 本のアンカーボルトが、一体に取付けられているため、塔体を正確な位置に、垂直に束縛するためには、この基礎鉄骨を正確に据付けが必要であった。

海中コンクリートの打設は、沖縄の技術能力の面からも検討する必要があり、当初は、プレバクトコンクリートを考えたが、結局、陸地からのポンプ車によるコンクリート仕込工法を採用した。

しかし、陸岸まで車を搬入する道路はなく、山上にポンプ車を置いて、斜面を下って海岸まで配管

し、海岸には、中継用のポンプを置いて中継し、海上配管により、塔体基礎まで、全長約350mを圧送する難工事であった。基礎鉄骨の中に打設するコンクリートの量は、約600m³で、1本の配管で、鉄骨の入りまじり直径17mmの円形の範囲に、均等にコンクリートを打設する工夫があり、基礎鉄骨の上、海上まで足場を組み、配管を逐次切替えていく方法で、30時間の連続作業で打設した。コンクリートの材質は、特に、セメント量を多くし、海中での流動をよくするため、スランフローを大きくしたので、予想外に広がり、海中の漏りは全くなかった。

基礎コンクリートの圧縮試験結果は、次の通りである。

$$\sigma_7 = 193 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{28} = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_7' = 164 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{14}' = 164 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{28}' = 215 \text{ kg/cm}^2$$

σ : 陸上で採取した供試体の圧縮強度、 σ' : 海中で採取した供試体の圧縮強度

3) 塔体の据付

i) 塔体ウエイトの充填

直径6.0m中の海中展望塔をもった塔体を、海中に6.0m沈めるためには、約120tの浮力を受けるが、通常は、自重が浮力より小さいので、塔体下部に、コンクリートのウエイトを充填する。コンクリートウエイトの充填は、運搬、据付時の、クレーン船の能力に関係し、工場製作時に、ウエイトの充填が完了したり、また、現地で、据付前に充填することもある。

ii) 塔体据付

塔体の据付は、塔体底板のボルト穴に、基礎のアンカーボルトをはめ込み、ナットを締めて固定することであり、必要に応じて、所定の tension を与えることもある。底板のボルト穴の径は、アンカーボルトの径より30mm大きくし、4か所にガイドパイプを設けるなど、アンカーボルトにはめ込みやすくしているが、クレーン船で吊られた塔体は、風の日を選んで、50cm前後上下するので、20本のアンカーボルトに、同時にはめ込むことは、むずかしい作業である。塔体がアンカーボルトにはめ込まれると、続いて、ナットを海中で潜水夫が仮締し、或期間置いて本締し、海中溶接によって、完全に、回り止めをすることに作る。

沖縄では、冬季に塔体を据付けたため、西海岸は、季節風による時化が多く、この日も、早朝から塔体にかかったが、午後から海は時化はじめ、20本のナットを仮締するのが精一杯で、その後2日間、塔体は仮締の状態で、初めての時化にあった。

iii) 塔体下部の根固め

塔体下部のアンカーボルト取付部を保護し、外力に対する塔体の強度を増すため、塔体底部の空隙は、グラウトによって完全に充填し、アンカーボルトは、根差コンクリートによって保護する。根差コンクリートは、白浜の場合は、プレバフトコンクリート、沖縄は、コンクリートポンプ圧送工法により打設したが、いずれも、陸上のコンクリートと殆んど変りないコンクリートを打設することになった。

4) 栈橋工事

単施例として、白浜、沖縄協中展望塔の場合の概要をのべる。

i) 白浜海中展望塔モノレール橋

白浜海中展望塔は、陸岸から約100m程、モノレールで連絡されているが、海中に、夫々1本の鋼管から成る2基の橋脚を設け、その間に、モノレール用の鋼桁を架設している。

橋脚の基礎は、岩盤上に、コンクリートフーチングを設け、橋脚は、フーチングに埋め込まれたアンカーボルトで固定している。

架設に当たっては、橋脚、モノレール桁など、すべて海上から搬入することになったが、海岸線は岩礁が多く、特に、この場所は波が荒く、小規模の工事ではあるが、架設にはいろいろむづかしさがあった。

ii) 沖繩海中展望塔橋

全長165mの栈橋には、No.1よりNo.7までの7基の橋脚があり、1基の橋脚は、2本のパイプ脚から成っている。それぞれの橋脚は、平均水深1.0m～1.5mの浅瀬となって沖合にのび、一帯のサンゴ礁岩に埋め込まれている。

基礎の構造としては、各橋脚に作用する外力の大きさによって決定した掘削方法は、サンゴ礁岩を掘削し、橋脚を入れて、海中コンクリートで固めたものである。

基礎の掘削は、水深が浅いことと、沖合にサンゴがあるため、効率の良い機械力を使うことが出来ず、殆んど、潜水夫の人力と、エアーリフトの併用であったため、掘削工事に手間取った。

橋脚の建ちは、水深が浅いため、小型クレーン船で、満潮時を狙って行ない、ポンプ圧送により、海中コンクリートを打設した。

橋桁の架設も、同様にして、小型クレーン船しか使用出来ず、長さ30mの橋桁一連と、長さ22mの橋桁5連の架設も、極めて難工事であった。

6. 海中公園と海中展望塔

1) 海中公園の設定

海中公園設定の狙いは、言うまでもなく、海中資源の枯渇、海水汚染に対処して、海中景観を保護し、あるいは復元して、学術的研究の場に供すると共に、人々の海中に対する興味の対象として、国民大衆のレクリエーションと、観光の用に充てることであり、海中公園は、海中景観の保護と利用につき、一定の区域を区切り、管理経営するものである。最近、厚生省は、国立、国定公園に包括して、海中公園の第1次、第2次指定を行なったが、今後、逐次、指定箇所をふやしていく計画である。参考までに、海中公園指定地域を挙げると、次の通りである。

海中公園第1次指定海域10地区 (昭和45年7月1日付)

- | | |
|-----------------|------------------|
| ① 串本海中公園 (和歌山県) | ② 富岡海中公園 (熊本県) |
| ③ 天草海中公園 (熊本県) | ④ 牛深海中公園 (熊本県) |
| ⑤ 桜島海中公園 (鹿児島県) | ⑥ 佐多岬海中公園 (鹿児島県) |
| ⑦ 足摺海中公園 (高知県) | ⑧ 宇和海海中公園 (愛媛県) |
| ⑨ 玄海海中公園 (佐賀県) | ⑩ 日南海中公園 (宮崎県) |

海中公園第2次指定海域12地区 (昭和46年1月22日付)

- | | |
|-----------------|----------------|
| ① 気仙沼海中公園 (宮城県) | ② 豊岡海中公園 (兵庫県) |
| ③ 竹野海中公園 (兵庫県) | ④ 浜坂海中公園 (兵庫県) |

⑤ 浦富海中公園 (鳥取県)

⑥ 外海府海中公園 (新潟県)

⑦ 相川海中公園 (新潟県)

⑧ 小木海中公園 (新潟県)

⑨ 木の浦海中公園 (石川県)

⑩ 九十九湾海中公園 (石川県)

⑪ 三方海中公園 (福井県)

⑫ 阿波大島海中公園 (徳島県)

2) 海中公園の利用施設

海中公園は、海底の景観の保護と利用のため、陸上の自然公園に包括して、一定の区域を区切って管理経営するものであるから、海中公園の利用施設としては、自然を破壊しないものであることと、陸上施設との関連が大きなポイントになる。いま、海中公園の調査を主体に手をつけている、財団法人海中公園センターが考えている利用施設は、ホテル、旅館、モーター、レストラン、国民宿舎、レストハウス、展望台、水族館、博物館、展示室、屋外水族館などの、従来の陸上施設に、グラスボート、海中展望塔、釣場、ヨットボート、サーフィン、シュノーケルリングなどの、海上又は海中施設を組み合わせた一連のものである。

このように、海中公園は、多彩な陸上関連施設を必要とする反面、海中公園にふさわしい施設としては、殆どが、海上施設であつて、海中を見せる施設としては、現在のところ、グラスボートと、海中展望塔ぐらいである。そして、海中景観は、普通、比較的広範囲に亘っているため、海中展望塔のような固定式のものと、グラスボートのような移動性をもったものの組み合わせは、不可欠な要素となる。

海中公園センターでは、すでに、40箇所の学術調査が完了し、現在、海中公園の指定と前後して、引続き、施設調査が行なわれている。これらの調査は、府県からの依頼によるものであるが、その目的は、主として、府県が、観光開発事業の一環として、総合的な海中公園施設のマスタープランを作成して、海中公園のための基盤整備を行ない、地元市町村、漁業組合、あるいは民間資本による個々の計画を総括的な立場から、行政指導を行なうことである。

すでに、マスタープランの作成を終えた府県は、道路整備、上下水道の完備、駐車場の建設など、基盤整備を手掛けており、併せて、海中施設のいろいろな構想がわねられている。

3) 海中公園の施設としての海中展望塔

海中公園の施設の計画と、それに基づく基盤整備が各所で進められ、海中施設の構想も、いろいろユニークなものも考えられている現在、海中施設についての考え方を、海中展望塔と関連して、整理してみる必要があると思われる。

海中公園の施設は、前述のとおり、陸上施設と、海上、海中施設の組み合わせであるが、そのうち、海中施設については、特に、次のような考え方に、立脚しなければならない。すなわち、いろいろな海中施設の構想を実現させるためには、それに要する投資と、完成された施設の価値判断と、従来の陸上施設とは別の観点から判断しなければならない。言換えるならば、海中施設は、陸上施設に比して、多額の資金を必要とするから、資金との兼ねあつて、施設の規模には、大きな制約を受けることになる。

そこで、これらの制約にかたうものとして、海中展望塔が、技術的にも、資金面からも、取り組みやすい海中公園の唯一の施設として建設された。しかし、近年、数多くの海中公園の指定を受け、

海に対する関心は、年毎に高まり、さらに、レジャーに対する要求も、段々、デラックス化してくるにつれ、海中施設の価値判断も変りつつあり、そのため、海中展望塔は、大型のものが要求されるようになり、また別に、一歩前進した、ユニークな施設の実現が期待されようとしている。

7. 将来の海中展望施設

将来の海中展望施設の計画で、まず念頭に置かなければならないことは、自然の環境に最適のものであり、技術的に可能であり、その上、資金条件を満足するものであることは言うまでもない。

海中展望施設の計画には、多方面に亘る予備調査が必要になるが、調査の結果から、上記の基本条件を満足する範囲は、陸上施設に比して、極めて狭い範囲であるのが普通である。そのため、計画は大きくとも、実施の段階になって、いろいろな問題が生じてくることになる。さらに、安全基準、建設認可など、法規上の諸項目についても、今後解決をみなければならぬものが多く、新しいものへの憧れ、ユニークなものへの要求は強いが、その反面、海中展望施設の開発は、海中構造物としては、比較的取り組みやすいとはいえ、実現可能なものから、一つ一つ積み重ねていく心構えが必要となる。

ちなみに、海中公園の計画で考えられる将来の施設を挙げると、次のようなものがある。

○浮遊式海中展望塔

海中展望塔とともに構想を發表したもので、円形の浮体の底部展望室から海中を展望することができ、アンカーによって、所定の場所に係留する。

○海中遊歩道

海中にパイプを通して、側面の窓から海中を展望する。

○海中モノレール

海中にモノレールを走らせ、入江や岩礁の状況も、車内から眺望するもの。

○海中ケーブルカー

陸上と海中の間にケーブルカーを通して、海中を見せるもの。

○海中エレベーター

海上に張出したビルから、海底に通じるエレベーターを造ろうというもの。

○海中遊覧船

遊覧用の潜水艇を、一定の航路をきめて、運航させる。

(終)