

海底測量

丸 安 隆 和

(1) まなび

海洋開発がビッグサイエンスの一つとして各方面の関心を高めている。資源開発、海洋空間の利用など多くの問題があつて、どの国でも、いまその開発研究に極めて積極的である。

わが国の海洋開発がどんな形で進められて行くか、また進められようとしているかは、十分な資料を持つていないが、少なくとも土木工事の中で海と関係をもつものが最近非常に多くなつてきた。本四連絡橋をはじめ、沈埋トンネル、その他の海水構造物がますます多くなるであろう。この場合、まず問題になるのは、位置ずれであり、構築地点の地形のデータであり、施工管理と構築物の点検確認である。

海底地形については、既に海上保安庁水路部で海底基本図の作成が始まつているが、直接海底工事に必要な資料については、現在どのような方法が利用できるのかの見当さえついていない。もし、海洋開発が色々な形で進められるとき、このような初歩の段階でトラブルが起るようでは、われわれとしても誠に腑甲斐まいと言わねばならない。

このような点から、少なくとも土木工事が行われる深さのところで、十分な精度の地図をつくる方法を検討しようという気分が高まり、よりより検討会を持つことになつた。しかし、調べて行くにつれて、海の、しかも精度の高い地形データを得ることは極めて困難な作業であることがわかつてきた。この中で、従来から採用されてきた海の測量についての種々の方法とその問題点を拾い出してまとめることにした。

(2) 写真を用いる測量の可能性

2-1 水中写真の撮影方法

水中で写真撮影するには、所望の深さにカメラを保持することが必要である。これには次の4つの方法がある

- (a) Trigger方式： シヤッタースイッチをカメラの下方に吊り下げ、全体を海底にあらしめて、ある深さまでおろしたときシヤッターがきれるようにしてある
- (b) Pinger方式： カメラについたピンガーから一定時間ごとに発する音波は、直接上方に向つて船に到達するもの、もう一つ海底に反射したのち船に到達するものと2つをつかい、その時間差からカメラ位置を定め、所定の深さになつたときシヤッターをきる
- (c) Sled方式： Jacques Cousteau が発案した方式。トロイカとよばれるリリ状の装置にカメラとストロボを装着し、これを船で曳航して海底撮影を行う
- (d) Captive Vehicle方式： 母船にケーブルでつながれた潜水艇にTVカメラをつきこみ、母船のモニタースクリーンを見ながら写真をとる。この方式は1961年 Newfoundland 沖の海底ケーブルをしるすために利用された。

2-2 水中カラー写真

海の中でカラー写真を撮るとするのは普通写真にくらべて一層きびしい条件と克服しなければならない。
水中カラー写真は次の七つの要素に大きい影響を受ける。

1. 水深および距離
2. フィルム
3. 透過作用
4. レンズ
5. 照明
6. 接写角度
7. 被写体の質

あんだ海で撮影されたカラー写真は一般に青色は優勢である。プランクトンやシルトの海では主体の色調は緑色や茶色になりがちである。6mの距離で赤色が消える、次にオレンジ、黄色の順に消える。22mも離れると血の色は緑色になる。

照明もまた色彩に関与する重要な道具である。閃光電球、写真用投光球など上手に使えば優れた光源である。被写体に近づけて青いフラッシュ電球と電子フラッシュを用いると太陽光線の色温度に近づく。照明を被写体から2m程度に近づけるのが理想的であるとされている。

2-3 水中カメラレンズ

水中で使用するカメラには、防水、水の吸収、散乱、透明度など機械的、光学的な考慮が必要である。一般に水中カメラは水密性を保つようになつており、カメラ内部が空気が満たされているのでレンズと空気、水の境界面で屈折する。オートの問題点はデストレーションを起し、点と像の対応点が乱れること、オートの点は光の散乱により対象物の像の周辺に可視外辺(color fringe)が生ずること、オートの点は水の屈折により視野が著しく狭くなることなどが問題点となる。

水中カメラレンズの屈折 一般に水中で使用するレンズは前面にガラス窓がついている。したがって光は、水、ガラス、空気の順に屈折する。この場合、水中写真の像に色収差が起る。また大きさも屈折の影響を受け、ゆがんでくる。これを打消すにはレンズの組合せを考えるか、ゆがみと生じない窓ガラスを考えなければならぬ。

2-4 C d G S の海底写真測量

1961年 Coast & Geodetic Survey U.S. では、大陸棚までの水流、深海生物などの総合海洋サーゲ収集の一環として海底地形図の作成に関する研究を始めた。海底地形作成に写真測量を用いるためには次のような問題を解決しなければならない。

- (1) カメラを防水とすること
- (2) カメラを水压からまもること
- (3) 海中でカメラの操作が可能であること
- (4) カメラを正確な位置に据えること
- (5) 写真測量に必要な基準点と投光器のこと

これらのうち (4) か (5) が今後解決しなければならない問題として残っている。この作業に使われたカメラは、レンズが f/11 Hopkins 基線長 24", 24"×36" 500枚ビリで、海底から10呎の距離で撮影することと立て前といている。1961年マレーランド沖 215呎の深さで撮影した写真を Kelsh Plotter および Multiplex を用いて、1/4"等高線地形図を完成したが、写真は1メートルにけり約400ft²に過ぎなかった。

水中写真撮影のむづかしさは、地形起伏に応じて上下すること、得られた写真から縮尺と統一し

正確な寸法と判り出すことなどである。

(3) ソナーの利用による海底の地形測量

海の中で地上と比較して最も著しく異なるものの一つに、海の中では電波および光がほとんど通らないことがあげられる。現在の文明の発達に絶えず大きな貢献としてきた電波は海の水と媒質とするかぎり何の役にも立たない。水の中では音による通信が有効であることは前から知られていた。音をよく利用することによって、数多くの海の中の様子とさぐることができ、超音波の利用が必要であることはいうまでもない。

ソナーとは Sound Navigation And Ranging (音による航海と距離測定) の頭文字をとっている。最近では、水中の観測のために音のエネルギーを利用するシステムを総称している。ヨーロッパでは ASDIC といっている。

3.1 ソナーの種類とその利用

ソナーは使用する目的、観測する対象、測量する距離や範囲、音波を送受信する方向により、利用する音波の特性や周波数、利用方法が異なる。現在までに使用されたソナーを分類すると表-3-1 のようになる。

分類方法	ソナーの種類	
送受信の形態	Active Sonar	Passive Sonar
送受信の方向	垂直ソナー	水平ソナー
超音波ビームの使用方法	単ビーム方式 走査方式 (ボトム ソナー サイドスキャンソナー サイドルッキングソナー DPES ソナー)	複ビーム方式
探査目的	1 魚群探知機 2 深海用ソナー 3 ヘッドロブ探知機 4 海底構造探査ソナー 5 障害物探知ソナー 6 航海用ソナー (ドップラーソナー) 7 観測用装置 (音響ファイベーター)	

垂直方向に出すものは、いわゆる測深機とよばれ、海底からの反射音を受信する。垂直方向の音波は、海面付近の温度変化による屈折等の影響が小さい上に、海底からの反射が大きいので伝播特性がよい。10キロヘルツ～200キロヘルツぐらいの超音波が利用される。

単ビーム方式は、指向性のある音波を用いて線状に探知する方式。船が航行しながら、この方式を用いれば、線状に断面図が得られる。

複ビーム方式は、一列に多数の配置して、目標物を帯状に探知する方法である。従って海底測量する場合にも複射測量が可能である。この方法を掃海音響測量という。

走査方式によるソナーは、船の進行方向に対して存在する海底の形状を二次元的に連続して探知する方法と垂直方向のまわりに円形として円形状の範囲を探知する方法とある。他の方式と比較して、はるかに広い面積を扱うことが可能である。ソナーで得られた情報はブラウン管に映し出され、記録紙上に明暗のコントラスト模様になってあらわれる。高周波の音波は鋭いビームを作り出すので、それだけ吸収され易いので、海底近くに受信器を置かなくてはならない。150キロヘルツ前後の超音波

が用いられるが、この周波数では 海底から 10 m の厚さで 30 cm の映像長が得られる。目標までの距離が長くなると、目標物の形はぼつかりしよくなる。受信状態が良好な場合、目標物の形の識別できる距離は次のようである。

長さ	300 m	沈没した大型艦	300 m
海底の一般地形、縦走航の残骸			150 m
海底電線、沈んだパイ			75 m

3-2 リーナーを利用した海底測量の現状と問題点

測量とは 空間内の対象の三次元座標を決定することである。したがって、海底測量とは 連続した空間曲面としての海底の構成を定めることである。海の中の平面位置と深さを求めることは、陸上での測量と比べて厳しい制約が課せられている。

日本においては、海底測量は主に港内内の水深測量を中心に行われてきた。昭和30年ごろ 音響測深機が 30 m 以下の浅海でも使用される前は、海底測量はもっぱら錐りと吊して測深が行われた。また、平面位置の決定は沿岸の目標が見えるところでは三角法が、沿岸が見えないときは天測法によっていた。測深も 60 m 置きに測られていたから、非常に粗い点としての測量が行われていたといえる。三角法で位置を出しながら操船できる最大の間隔の精度は 60 m であつたというから、平面位置の精度もこの程度であつたとみてさしつかえなし。

音響測深機が導入されると点の測量から線の測量になった。線方向に対する測深の能率は革新的に飛躍した。しかし、線と線の間隔は錐測時代と大差はなかった。これは船位決定と操船技術が進歩しなかったからである。したがって 60 m と 60 m の間にあつた高さ 2 m ほどの大きな岩の突起が 10 年から昭和 36 年まで発見されなかったということもあった。

音響測深機の性能に応じて、船位決定法と操船方法は直線誘導法、または円弧誘導法にきりかえられた。直線誘導法では ± 1.5 m で航行させることは比較的容易であり、円弧法では ± 5 m 以内と考えられている。

次に、線としての欠点をなくするものの為、従来の音響測深機とある間隔に一列に列へ、幅をもたせて測深していく方法が考え出された。この方法が音響掃海測量である。このようにして、線の測量から面の測量が可能になつたが、このような測量は必然的に作業量の増加を伴つた。内、外業とも従来の4倍以上の作業量となつたという。

音響掃海測量がいかに discrete な多数の線で構成された面であるのに対し、走査方式の Sidescanning Sonar は連続面としての測量を可能にした。

船位決定はエレクトロニクス発達により、陸上の既知点との距離が自動的に読みとられ、船内のコンピュータがこれらの値から船の位置と直ちに計算するようになった。これらの条件がより快は、メートル単位の平面位置が即刻におさめようになつたといわれている。

(4) 精密海底地形測量を行う場合の問題点

主として港内航行の安全と確保する為に行われてきた海底測量は、ほぼその目的を達するまでに発展した。しかし、本四連絡第橋を橋脚基礎の設計等海中につくられる土木構造物の設計を行うには、陸上で行われる土木工事で用いられる地形図に匹敵する精度の海底地形図が要求される。つまり、海中構造物の設計のためには約50m程度の深さで±0.5mぐらいの精度の地形図が必要とせらう。

このような精密海底地形図を得るには、従来の方法では少なからず問題がある。これを列挙すると

(1) 測深精度

音響測深機を用いて測深する場合の誤差として

(a) 反射波によるもの：音響測深機に用いる超音波の周波数と海底の地質によって反射する^波が異なる。従って記録されたものが海底のこの部分を示しているが不確定の場合がある。また反射波は海底の面積から反射である場合が多いので、海底の形と記録像とが対応づけられない場合があること。航行中のローリングやピッチングによって反射音波が垂直方向でない場合には、斜め方向の水深をはかることになることなど誤差の原因となる。

(b) 設計音速によるもの：ほとんどの音響測深機は音速を 1500 m/sec と設計値として測深が行われるようになっていた。しかし、水温、密度、圧力によって音速は異なるから、測定された値にこれによる誤差が生ずる。

(c) 航行時のピッチングまたは潮汐によるもの：水路部では水深0mを略最低低潮面と定義している。海抜0mは東京湾平均海面とされている。さらに海岸線は水路部では最高高潮痕とされている。これら三者はいずれも標高の値が一定の基準ではない。ソナーで測深される水深は送信信号と海底との距離を示しているに過ぎない。従って航行中のピッチングや潮汐による誤差を補正することには、一定の基準面からの深さに統一することが必要である。

(d) 超音波の屈折によるもの：超音波を発射する方向、水温、密度などにより超音波は屈折する。このため測距離に誤差が生じる。

(2) 解像度

ソナーから得られる海底地形の像の解像度は、われわれが普通用いている写真にくらべ一般に悪くわめて悪い。そのための像のパターンの読みとりの技術が必要となる。解像度をあげるためには高周波にすればよいが、前述したように超音波は吸収減衰がはげしいので距離が短くなければ有効でない。また反射音が海中の騒音や雑音に打ち消されない程度に感度をあげる必要がある。

また、海底の地質や地形によって反射され方がちがう。乱反射のはげしい像は鮮明にならない。

(3) 位置決めと水深測量との連動

土木設計に用いる地形図をつくるためには、平面位置と測深とが明確に関連づけられなければならない。ソナーで測深したときと同時にその平面位置を知るため、リアルタイムで陸上の基地からの距離または方位をコンピュータで処理することを考えなければならぬ。少なくとも1m以内の位置誤差が収まるようにしたいが、これは非常にむづかしいことである。