

極浅海用音響測深機による 深淺測量について

(苫小牧港漂砂の調査資料より)

正員 室蘭開發建設部總理府技官 白石 直 文

緒 言

音響測深機は軍用、航海用、漁群探知用として戦時戦後を通じて発達した。戦後わが国では港湾工事に必要な深淺測量に試験的に使用した例が少なくないが、いずれも2~20 m程度の深さではあまりにも誤差が大きく、また機械も不安定であつたが、最近になって漸やく実用的な段階に入つて各種商品が広く利用され著しい効果をあげている。

本文の測深機による測量は、今日まで港湾技術者が夢みていた限度の性能、すなわち、現在まで十年一日の如く行われているハンドレッド (Hand lead) 法に比べて所要の精度で極めて速く、機械の原価償却費、維持費を算入しても安価であり、機械の安定性も良好であるから、充分実用の域に達しているものとみてよい。また海底の起伏の状態が連続した形で明確に分る利点がある。

当部で築設中の苫小牧港は、図のような沿岸流のために、襟裳岬方面から無限の砂量が海岸線に沿つて北上することが考えられ、以前から漂砂による埋没を危ぶまれていたのであるが、数多くの調査によつて築港可能の見通しがつき最近苫小牧大工業港築造の緒についたばかりである。しかし、埋没の問題が全く氷解された訳でなく防波堤 (主として防砂堤の働きをする) の合理的な形をいかにするかなど多問題が残されている。それら問題の解決の基本的な調査として、沖合第一防波線を含む非

常に広い海面 (約300 m²) を時化の前後それぞれ10日間ほどで連続してしかも同じ海面をくりかえし測量する必要があつた。幸い機械の固有誤差が水深15 mで、±5 cm程度の極浅海用音響測深機が国産品で得られるようになったので苫小牧市当局の積極的な御支援を得て、測量を実施中である。

この測量の内容及び方法については、下記各節の中に折込んで説明する。

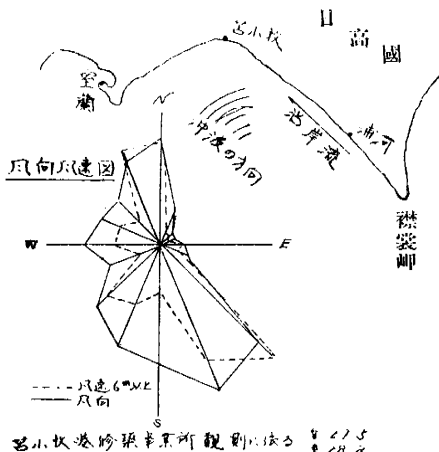
第一節 國産音響測深機

音響測深機の外製製品は資料を持たないので説明できない。国産品は、日本電気株式会社、日本無線株式会社、日東電気株式会社、沖電気株式会社、清水産業開発株式会社、東京計器株式会社などの製品があつて、用途により航路保安計器、魚群探知器などがある。これまで主として用いられ現在も非常によく利用されているものは、前記の航海計器あるいはまた魚群探知器であつて、船舶の装備品には欠くべからざる重要なものとなつてゐる。それにも拘らず、これが海面の作成、港湾、河川湖水などの水底の測量に関する分野にあまり用いられなかつた理由の主たるものは、従来の鉛錘とロープによる測深、いわゆるハンドレッド法が簡易であり、読取精度も数cmまで確実であつて、一方音響測深機のように複雑な装置では測定精度に信頼がおけないということ、機械の価額が相当なものであること、機械を扱うのに専任の熟練者を要することなどの先入主があつて、その結果、作業能率からいつて遙かに便利であるにかかわらず、容易にレッド法に取つて替るまでに至らなかつた。しかし、戦後の国産品にも大いに責任があるわけで、浅海とはいひながら、その固定誤差は2~5%以上あり、機械の不安定、記録の保存の永続性のないことなどが災いをしていたようである。

こういった欠点を改良して新たに製作された極浅海用音響測深機は次のような性能がある。(日本電気のカatalogによる)

要 目 表

1. 測深範囲
0~20 m, 15~35 m (シフト), 0~60 m, 75~175 m (シフト) 45~105 m
2. 測深誤差 15 m ± 10 cm 以内。
3. 最浅不測深度 30 cm
4. 最深可測深度 175 m
5. 記録方式 円弧 60°, 乾式記録紙 (幅 150 mm), 紙送速度 毎分 60 cm または 20 cm
6. 構成及び重量



名 称	重 量 (kg)	寸 法 (cm)	真 空 管
記 録 器	55	55×29.5×30	
発 振 器	18	35×24×37	
同期発振器	17	41.5×21.5×22	6SJ7-GT×1, 6V6-GT×3 5Y3-GT×1
増 幅 器	20	49×24×23.5	6SJ7-GT×1, 6SA7-GT×1 6V6-GT×3, 5Y3-GT×1
送受波器	8	50×16.5×8	
補用品箱	3	28×19.5×17	
計	121		

つ。このため本器の回転誤差は交流の周波数だけによることになり、3/10,000 程度の誤差である。ストロボスコープによって同期回転を監視する。記録ペンには回転ドラムを附帯し、ドラムの下から発振接点、分時計号接点、基準線接点及びペン回路接点がつき、回転数は 375 r.p.m (深度範囲 0~35 m), 125 r.p.m

(深度範囲 0~105 m) と二段に切替えられる。

2. 増 幅 器 増幅回路は高周波一段増幅のヘテロダイイン受信方式であつて、150 db, 出力は約 13 Watt である。増幅度の調整は 0 db~60 db の範囲で可能である。

3. 同期発信器 本器は記録器の電動機の回転を常に 1800 回転に保つための同期電源であつて、発信方式は音叉の振動を利用し、周囲温度 $15^{\circ}\pm 15^{\circ}\text{C}$ の範囲では周波数は 300 ± 0.09 の範囲に入る。

4. 発 振 器 本器は送波器にインパルス電流を送ると共に、増幅器、同期発振器に交流を送る装置である。発電動機により D. C 24 V を A. C 60~100 V に変えて増幅器及び同期発振器に交流電圧を送る。発振機構は、この交流電圧をトランスで 600 V にあげ金属整流器で整流して発振蓄電器を充電しこの電気量を記録器の発振接点を通して送波器に放電する。

5. 送受波器 送受波器はニッケル板を磁歪材料として使用し、インパルスの幅を短かくして波の立上りの誤差を少なくするために、その共振周波は 70 kc 数にしてある。指向性については、送受波器とも前後左右の指向角が 8 度になっている。

第二節 測 深 誤 差

測深誤差には、大別して次の 3 種の誤差が考えられる。

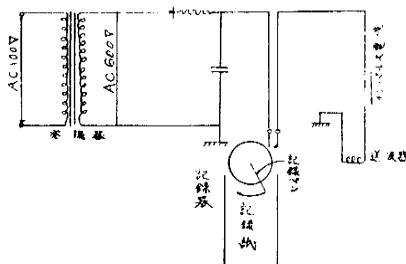
1. 機械による固有誤差
2. 水の状態による誤差
3. 位置による誤差

④ 標準誤差について

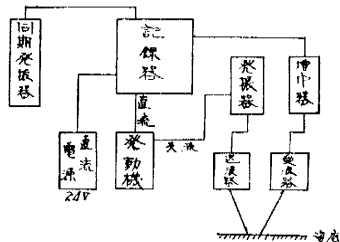
機械は自動的に各地点の水の中音波速度に合つて作動することはできないから、機械を設計する場合には音波の速度がある一定の値であるとしてある。(外国製品にはオートマチックに調節できるものがある)たとえば、この機械では水中音波の速度は 1500 m/sec. であるとして記録ペンの速度を定めてある。従つて、記録ペンが標準より速く回転すれば水深は深く出るし、遅ければ浅く見える。

音響測深機の誤差は、音波の波頭の崩れによるもの、すなわち、増幅器や送受波器の電気的並びに機械的な過渡現象によるものを初めとして、回転部の回転の瞬時変

発振機構図



系 統 図



測深機機構説明図

構造を簡単に図示してその原理を説明する。

24 V, 300 W の直流電源によつて発振器を作動し、インパルス電流を記録器の発振接点を通して送波器に毎分 375 回または 125 回放電する。送波器はニッケル板を磁歪材料としているが、放電と共に超音波を海底に向け発射し、その反射波が受波器に到達して起る微弱電流を増幅器により増幅し、記録器に送り記録される。記録ペンが等速度で回転し、発信が正確に行われ、増幅が極めて短時間に行われるならば、超音波の発受信の記録の差のあるスケール水中音波速度を 1500m/sec. として定めたもの)で読みとれば、実際の水深に極めて近い値の測定ができるわけである。

次に、この機械の各部、すなわち、記録器、増幅器、同期発振器、発振器送受波器の機能を簡単に説明する。

1. 記 録 器 記録ペンを駆動する同期電動機は直流により回転 (1800 r.p.m.) し、交流によつて一定速度を保

動やペンの振れなどによるもので、これらになるべく下げられるように設計されねばならない。

測深機の主たる単独誤差は下記のものである。

δl ——回転数の変化による誤差。

δr ——回転の瞬時変動による誤差。

δf ——波頭の立上りの遅れによる誤差。

δt ——発振時の時刻の不整による誤差。

δp ——記録点の乱れ。すなわち、ペン先のおどりと記録紙表面の凹凸などによる誤差。

上記の機械の機能によつて、(簡単のため機械各部の誤差起因の説明を省略する) 15 m の水深では、これらの誤差はそれぞれ次の値以下となっている。

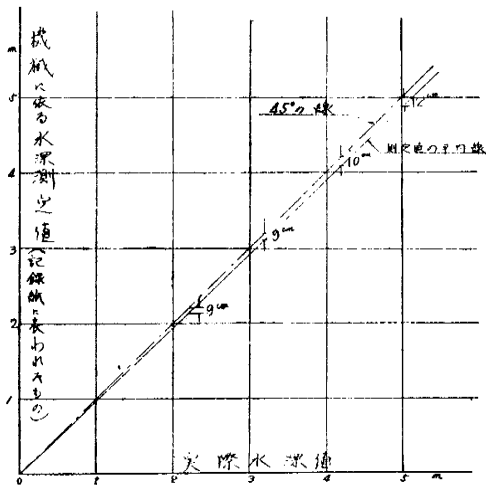
$\delta l \leq \pm 0.6 \text{ cm}$, $\delta r \leq \pm 3 \text{ cm}$, $\delta f \leq \pm 4 \text{ cm}$,

$\delta t \leq \pm 3 \text{ cm}$, $\delta p \leq \pm 3 \text{ cm}$

従つて、理論的に標準誤差 δS を求めると、15 m の水深に対しては、

$$\delta S \leq \sqrt{0.6^2 + 3^2 + 4^2 + 3^2 + 3^2} = 6.6 \text{ cm}$$

となる。因みに、苫小牧港で使用されている本機のパーチェックによる精度試験は図のようなものである。但しこの測定数値は記録値そのままであつて、水中音波速度の修正(海水の水温、塩分、密度測定による)をしていない。(パーチェックは、2本の径2吋長1m位の鉄棒



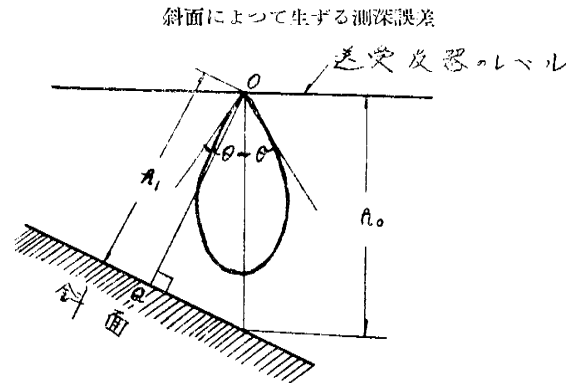
パーチェックによる精度試験の一例

(バー)を取付附近で2本にわけたロープで吊り下げバーが水平になるようにして水中に沈め、送受波器よりバーまでの距離が精確にわかるようにしてある。バーに向つて音波を発射しバーからの反射波を測深機に記録して、前記の実際の距離とを比較する方法である)。

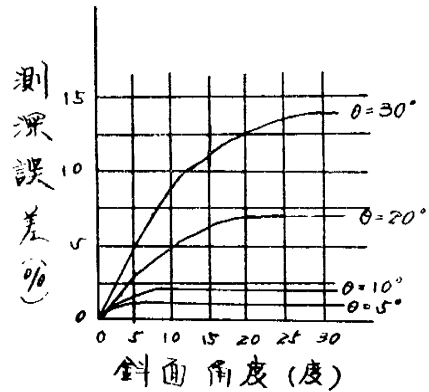
⑤ 海底の傾斜した場合の測深誤差

音響測深機の送受波器から発する音波は必ず一定の拡りを以て分散するため、この拡がった円錐中にある反射

物からの最短距離のものが先ず最初の反響記録として表われる。従つて、送受波器の指向性が鈍であるほど、ま



各種斜面の角度に對する測深誤差



た海底に凹凸斜面の急なものがあるほど、図のように、この誤差が大きく現われる。この図でOに送受波器があるとすると、 h_0 が直下の深度であるが、角度幅 θ の立体角の中、斜面に至る距離の最短距離がQ上にくると、OQの長さ h_1 が始めに記録されるので、 $h_0 - h_1 = e$ が誤差となる。今海底の傾斜角度と指向性の種々な場合について誤差の比率を求めると図の如くなる。本機では指向角が 8° となつてゐるから図表より誤差は2%以下であつて、実用にはほとんど修正する必要がない。

2. 水の状態による誤差

この誤差は、海水の物理的状态、すなわち温度、塩分及び壓力によつて起る誤差であつて、これは1500 m/secという音波の速度を標準として測つた水深に対しては修正することができる。しかしながら、これらの物理的要素をいちいち調べて修正することは大変面倒であるから前記のパーチェックによつて修正する方が早くて實際的である。この他、海においてはウネリ、潮汐の現象もある。潮汐に対しては、潮汐表及び検潮機の記録によつて修正できるが、ウネリの方は大変むづかしい問題であ

る。しかも浅海ではウネリの波高が増大してこの影響が大きい。これに対しては波の静かな日を選ぶか、測量船を大型にして上下動を少なくする方法しかない。

3. 位置による誤差

海上の測量船の位置を測る場合陸からトランシットなどで測るのが普通である。通常海上で角度を測るものは一応3'位の精度を持つていとみてよいようである。これは大体1/1000程度のものである。すなわち、1000 m離れた目標であると、角度を3'誤まれば約1 m位の位置の誤差を生ずる。従つて海底勾配が1/10であれば水深は10 cm 変つてくる。

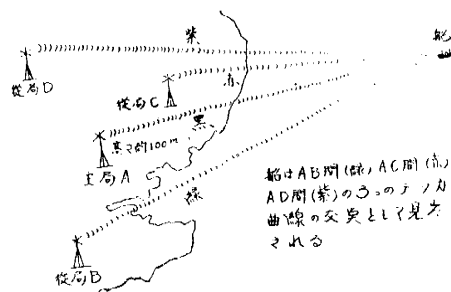
第三節 音響測深機による深淺測量の方法

海上で音響測深機による深淺測量を行うに当つて、一番問題になるのは、測深船の位置を正確におさえることである。このために色々工夫されているが、現在行われている理想的な方法から順を追つて説明する。

1. 電波による船位測定（水路測量に必要な精度を有するもの）

この方法は日本ではまだ試みすら行われていないが、欧米では実用化されているようである。海上保安庁須田氏の紹介文（港湾，1952，No. 9. 「デツカ」と「ローラク」）より要約してその原理を説明する。

デツカ航海計器が最新のものの一つであるが、この原理は、1対の発信所から発する2つの電波が測深船上の受信器に達するまでの時間差を計ることによつて、船位を決定するものである。この時間差のしとしい所を連ねると2つの発信所を焦点とする双曲線群になる。主発信所から約60哩離れた所で、主発信所に対し大約120°の



デツカの原理

間隔を有する所に、赤、緑、紫の3つの従属発信所を設けて主発信所を共用することにより、3対の発信所が得られ、従つて3組の双曲線群が求められるから、3つの双曲線の交点として船位が決定される。これら双曲線は位置線であつて、普通、測量を実施しようとする地図または海図上にあらかじめ双曲線群（発信所別に赤緑紫の色で色別する）を描いておいたものをデツカ図という。この曲線は電波の位相差が180°異なる毎に1本を画くのが普通である。測深船や、航空測量を行う航空機は普通

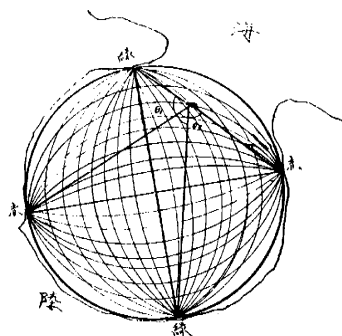
このデツカ曲線に沿つて作業を行う。この赤緑紫の組の曲線群の中にある受信器には赤緑紫色の3つのデコメーター（位相計）の指針によつて相当位置の曲線番号を知ることができるので3曲線の交点ないしその附近に船位を決定することができる。この誤差は発信所より150哩位沖合で±5 m 位であるとのことである。

デツカを改良したものにローラクがあつて、これはアメリカではまだ試験段階にある。一定波長の電波を一定の位相差を、保持して発信するのは非常に困難であるから、デツカは不安定という欠点があるが、ローラクではハムの現象を巧みに利用し、この変調を2二つのハムがお互に打消すようになっている。これは哩沖合で±5 m の精度のようである。

2. セキスタントによる船位測定

前項デツカの説明の中にあるデツカ図にそつて船を航行させる方法にやや似たものである。

図のように、測量しようとする海面に、1対の陸上点を通る円弧線群を画き、その曲線群にほぼ直交するようなもう1対の円弧線群を画いた船位海図を先ず作成す



船位海図（円弧図）

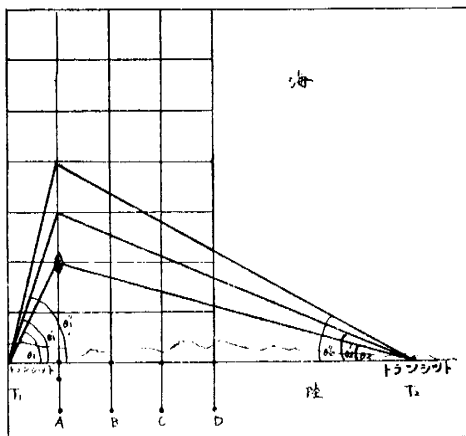
る。前者を赤線、後者を緑線にしてそれぞれの線に度数を書入れておくとわかりやすい。陸上標識はセキスタントで明らかに観えるものを設置する。測量船に測深機六分儀3台及びこの船位海図を携込む。船はたとえば、 θ_2 角の緑円弧線上にそつて一定速度で航行するために緑の陸上標をにらむ六分儀が θ_2 角になるように船の操縦者に対して船の進路を指示する。しかしながらある程度のジグザグコースをとるのが普通なので、それを六分儀で視測する者が別にて、時計系の合図と共にこの測値（ θ_2 に近い）を船位海図係（チャート係）に報告する。 θ_1 角を測値するものも同時にチャート係に測値を報告すればチャート係は合図の時刻の船位をチャート上に記すことができる。この時測深機係も同時に読取りチャート係に報告すると、1つの船位点上にその場所の水深を記入することができる。このようにして船を緑線群全長にわたつて航走させれば、赤線の線群が包絡する海域の深

浅図（潮位及び水中音波速度の修正をしていないが）がたちまちに得られることになる。また測深機は記録紙に時刻を自動的に記入するようになっていてから、船位の時刻がわかつていれば、同時に水深を読取らなくても内業で深淺図を作ることができる。

この測量方法は、試験的に、室蘭港内において昨年夏に行われたが、当初は全員の不馴れから上記の理窟通りにはいかなかった。しかしながら、回を重ねる毎に、極めて短時間に要領がわかり、室蘭港の如き湾内ではこの方法が一番手取り早く、かつ、かなりの精度が得られる見通しがついた。この方法はレッド測深の場合に用いて甚だ便利である。

3. トランシットによる船位測定

この方法は、前項と類似の方法であつて、また現在行われているハンドレッド法に近い。いわゆる縦横の基盤目の直交直線図の各交点について、 $\theta_1' \theta_1'' \theta_1''' \dots\dots$, $\theta_2' \theta_2'' \theta_2''' \dots\dots$, を、A B C D $\dots\dots$ 線についてそれぞれ作成しておく。船はA線上を岸より沖に向つて海岸線にはば直角に設けた航路標識見の透線上をなるべく一定速度で航走する。陸上のトランシット T_1, T_2 は、船の位置によつていずれか一方が交互に補助的な立場をとる。たとえば、図のような関係位置では、A線上の船が岸に近い場合は T_1 が主測して、沖に出た場合は T_2 が主測す



トランシットに依る船位圖

る。トランシット係はあらかじめ作つておいた角度表によつて、トランシットを船の前方に合わせておき、船がクロスヘアに入つた時旗を振り船に向つて合図するとその時船位が決定されるから、その時の水深を読取ればよい。陸上のトランシット係も船上の記録係も機械的に測点を追つてゆくから、お互に時々連絡合つて測点番号を照合しておくことが肝要である。

苫小牧港では、海岸地形が単調であること、船入瀬が現在はまだないために測量船は小型のものしか使用でき

ないなどの条件がある。従つて、海岸線に平行して走ると横波を受ける危険が予想されるのでこの方法をとつてゐる。またこの方法でも、記録紙には時刻とその水深が表われるから、トランシット係の持つ正確な時計を測深機の始動時に合せてやれば、測深中に船と陸上との連絡をとらずに単独に行動し、作業終了後記録をつき合せば、内業によつて深淺図を完成することができる。しかもその方がゆつくりと測深記録を計ることができるので、読取の個人誤差が少なくなるように一見思われるけれども、実際前項の方法と本項の方法を試みると、後者の内業の方が測点を誤まつたり、一部資料の混同などの過ちが起りやすいからよく注意する必要がある。

4. その他の方法による船位測定

前記の他に、カメラを使用して船位を測定する方法があり、運輸技術研究所で試作しているようであるが、その試験結果はまだ聞いていない。

また陸上に距離計とトランシットを据付け測深船航跡をトレースし、測定時刻を海上陸上測定者が一致した時計で計ることにより、船位とその水深を測定することができる。距離計は少なくとも $\pm 1/1000$ 以下の誤差であることが必要である。

第四節 音響測深機による測量の経費

1. 器材費

音響測深機の価格は、予備品、蓄電池共で 1,273,000 円（昭和 27 年 6 月現在）である。苫小牧港での約 1 箇年間の使用実績から年間経費を算定すると次のようになる。

苫小牧港では、20 m 4 角の基盤目に測深しているが、測深点が 20 m 間隔では、1 日の実測時間を平均 4 時間、測深船の平均速度を約 4 ノットとすると、1 日に測深される海面積は 32 万 m^2 位である。苫小牧港の測深海面は全く太平洋にさらされている外海であつて、風浪、ウネリの日が相次いであるために、年間の測深可能日数は甚だ少ないが、仮にこれを年間 100 日稼働とすると、年間延 3,200 万 m^2 の測量が可能である。

④ 音響測深機運転経費

消耗品	記録紙	35 本 @ 750 円	26,250 円 (20m/本)
	バッテリー充電	35 回 @ 1200 円	42,000 円 (2 箇分)
	真空管	7 本 @ 600 円	4,200 円
	雑消耗品		4,500 円
修繕	分解清掃	2 回 @ 2500 円	5,000 円
	部品修理		18,050 円
			計 100,000 円 (年間)

⑤ 測量船運転経費

運	転	燃	料	1900 ㍔ @ 27 円	51,300 円 (10馬力ガソリンエンジン)
修	繕				48,700 円
					計 100,000 円

⑥ 測点設置諸経費

ベースライン杭打費

信号旗、時計類、その他雑品 50,000 円

㊦ 事務用雑費

深淺図作成に必要な事務用品などを年間 4 万円を見込む。

2. 人件費

この測量にたずさわる者が年間を通じて全員深淺測量のみに従事するとし、その平均単価は 1 人 1 日 500 円とする。また内業、検潮、調整に従事する日を年間 300 日とする。

測量指揮者	1 名	} 計 10 名
測深機係	1 名	
トランシット係	4 名	
船の操縦士及び機関士	2 名	
標識係	2 名	

であるから、人件費の年間経費は 150 万円程度である。

(1 人当年間所得 15 万円)

3. 総経費

測深機の耐用年数を、大蔵省管財局の「国有財産総合評価要領」によつて 15 年とすると、機械の原価償却費を含めて年間経費はざつと 187 万円となる。但し測深船の償却費は算入していない。従つて、測深海面積 100 万 m^2 当りの深淺図作成までの費用は約 6 万円になる。

因みに、ハンドレッド法による場合と比較するために、苫小牧港南方のある港で深淺測量を請負で実施(昭和 27 年 8 月)した例を挙げると、沖合 400 m、海岸線長 700 m の範囲で、測点間隔 20 m、10 m、水深 0~7 m のハンドレッド法により、その経費は、人件費のみで、98,400 円 (28 万 m^2) であつた。これを 100 万 m^2 にひきなおすと、人件費のみで実に 351,300 円になる。

上記の例はあまり適切ではないが、測深面積が 100 万 m^2 を超え、水深が数 m 以上になる大規模測量では、ハンドレッド法に比べて測深機による測量は確実に安いといふことができる。

(附記) 音響測深機その他の利點

音響測深機の性質として、単に測深のみならず、次に挙げる種々の目的にも応用される。

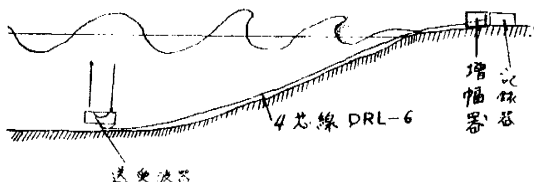
㊦ 海底の起伏が連続した形で記録されるから、浚渫工事の際、掘り残し箇所を発見し、なお浚渫の巧拙の判定にも役立つ。

㊦ 反射音波の強弱によつて、記録器上には濃度の変化ができるので、これによつて海底の底質の推定ができる。先ず海底が岩の場合は、反射が非常にはつきり出てしかも反響の長さが短かいのが特徴である。このような場合には第二反響が出る場合がある。これは反響体が堅いことを意味している。次に海底が砂の場合は、前者と

異なり反響音が弱くなるので、第二反響は割合に出にくくなるが、第一反響は前者よりやや長く尾をひきしかもはつきりと出るのが特徴である。また、海底が泥の場合には、反響音は非常に弱くなり、記録が長くのび、淡くぼけて現われるのが特徴である。その他、岩礁の泥があるような場合とか、藻が生えている時などは、先ず淡い反響が現われた次にはつきりした反響が現われる場合が多い。魚群が中層を泳いでいるのが出たような場合もこれに似ている。

㊦ 海底にある沈船、ワイヤーロープ、投棄物の形、種類が極めて明らかにわかる。

㊦ 波の観測が可能である。図のように、送受波器を海底に上向きに据えて、海底より水面に向け発射された



音響測深機に依る波の測定方法

音波は水表面で反射して海底に戻る。これを受波器に受けて陸上の記録器で記録すれば、波の週期、波長波高は一目瞭然である。但し、送受波器と記録器との距離が 500 m 以上になるとその間の電線費が機械の価格に比して非常に高価となり、また増幅器も更に一組必要となる。

結 言

近時、海岸工学の急速な発達によつて、海岸の地形及び深淺図がわかれば、沖波の記録、測候所記録などから卓越した磯波の状態(波向、波長、週期砕波線など)が推定できるようになり、外国では各地の風浪予報を実施している所さえあるようである。港湾施設、特に防波堤の計画及び工事をする場合には、施設位置にくる波の方向及び大いさの限界を知らなければならない。このために港湾の沖合砕波線までの広い海面にわたつて大規模の深淺図が必要である。この他港内の水深維持及び岸壁工事のための深淺測量などいずれも相当の規模にわたつて測量が行われる。

以上港湾の他に、海上保安、河川改修、海底地形調査などの目的のために大規模な測量が多々あり、特に保安庁水路部では海図を新たに作成するために測深機を大幅に利用している。視覚による船位測定に代り電波による船位測定器の普及と相まつて、極浅海用測深機は今後急速に各方面で使われるであろうが、現在の測量の機械化、能率化を志す方々にとつて本文が参考になれば幸いである。(昭和 28 年 2 月 26 日土木学会北海道支部研究発表会にて講演)