

小型音速度計の研究開発

岡田 貢・測量課
佐藤 弘・日油技研工業㈱

Study on the Compact Sound Velocity Meter

By

Mitsugu Okada: Surveying Division

Hiroshi Sato: Nichiyu Giken Kogyo Co. Ltd.

1. まえがき

音響測深を実施する上で音速度の把握は不可欠であり、かつ音速度の正確さが測深の精度に大きく影響を与える。

元来、音響測深機は水深を測定する機械であるというよりも、むしろ時間差測定機(ストップウォッチ)と言ってもよい。すなわち、音響測深機は水面直下で音波信号を発射してから海底で反射され発射点に戻ってくるまでの往復所要時間を計測し記録する機能を有し、水深は(1)式に従って人手または計算機によって求める。

$$D = T \times (1/2) \times V \dots\dots\dots (1)$$

但し D ; 水深 T ; 音響測深機の時間計測値 V ; 音速度

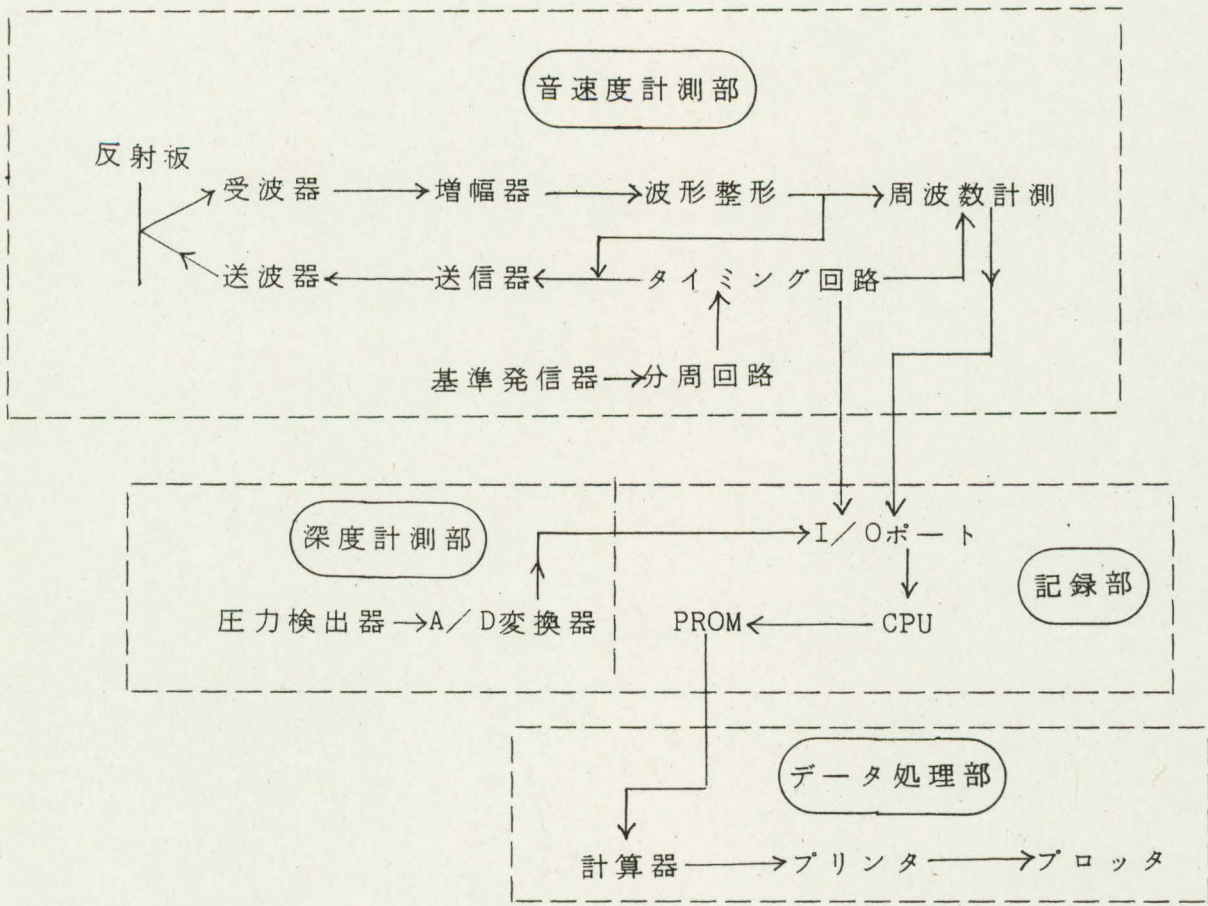
海洋における測深では、水中の音速度として1,500 m/秒を仮に与え、これに基づいて目盛りされた読取スケールを用い仮の水深(以下、測得水深と言う)を読み取る。次に同一季節の当該海域近傍における過去の海洋観測データ(水温、塩分、深度)から計算により測得水深に対する水深補正値を得て最も確かな水深を求める。(1)式でTの精度は 10^{-3} 程度まで可能であるが、計算法による音速度は測深時のそれと必ずしも一致しない場合があるので水深補正値の精度評価は困難であった。

本研究では、56年度の運輸省試験研究補助金を受け、より正しい水深を得るために計算法に代えて実際の測深海域で簡便にして直接的に音速度が測定できる小型音速度計を開発し、海上における評価試験を実施したのでここに紹介する。

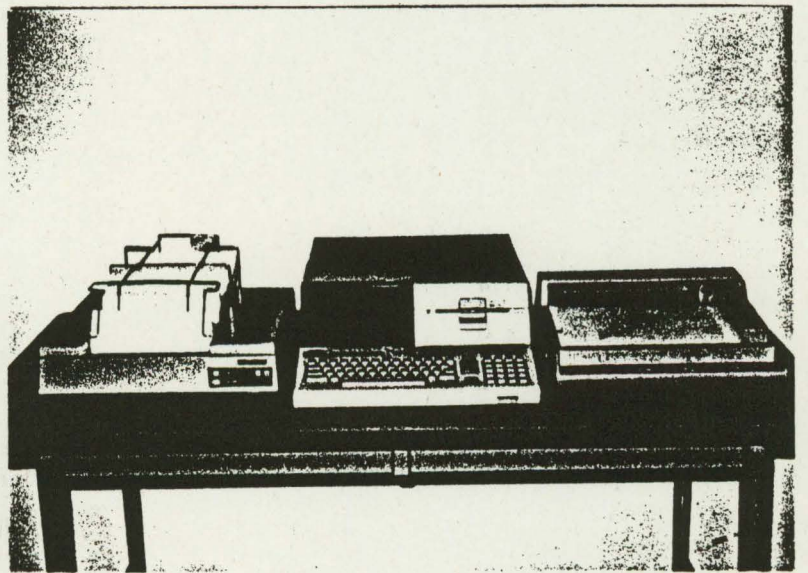
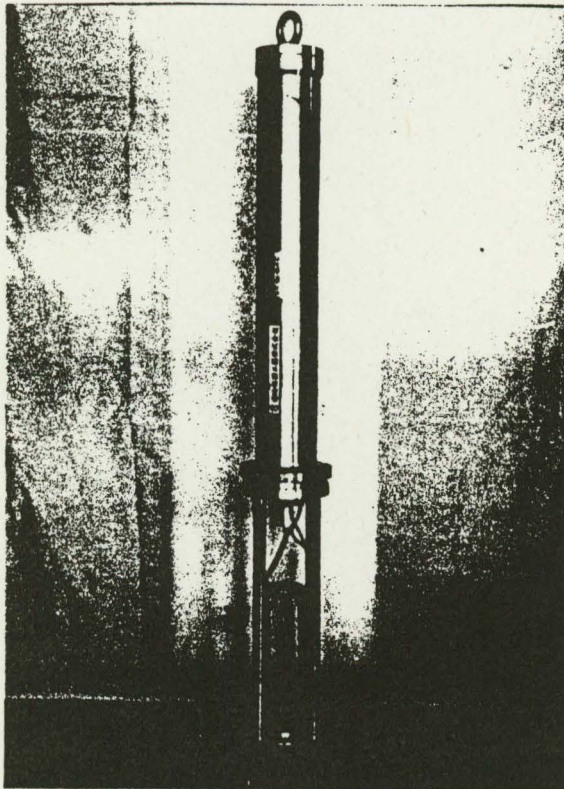
2. 本機の概要

第1図は本機のブロックダイアグラムであり、音速度計測部・深度計測部・記録部・データ処理部から構成されている。第2図は音速度計測部・深度計測部・記録部が収納された耐圧容器(上部)及び音速度計測部の一部である送波器、受波器及び反射板(下部)を示す海中部分である。第3図はデータ処理部の写真である。

音速度計測部は原理的にはシングアラウンド(Sing Around)方式を採用している。第1図において、超音波送波器と受波器を水中に露出させ一定の間隔S(以下スパンと呼ぶ)を持たせて対向させる。(本機では反射板を利用しているので水中部の長さは $S/2$ となり小型化に寄与している。)タイミング回路からの初期駆動パルスによって送信器を瞬時的に作動させ、このエネルギーを送波器に入力する。送波器からは立上りの鋭い超音波パ



第1図 小型音速度計のブロックダイアグラム



↑ 第3図 データ処理部

← 第2図 本機の海中部

ルスが発射され、スパンSを伝搬して受波器に達し電気信号に変換される。この信号は増幅された後、波形整形回路を経て送信器の駆動パルスとなる。このパルスは上で述べた初期駆動パルスと同様に送信器を瞬時的に作動

させることができる。以下、この動作が繰り返されるので水中のスパンを含めて一種の発振回路を形成する。回路の発振周波数 F は、水中を伝搬する音速度を V とし電子回路系の信号の遅延時間を Δt とすると (2) 式で表わされる。

$$F = 1/T \quad \text{但し} \quad T = S/V + \Delta t \quad \dots\dots (2)$$

Δt と S を既知とすると F を計測することにより音速度 V を計算することができる。 Δt は実験水槽内でスパン S を変えて周波数 F をそれぞれ計測することにより決定する。タイミング回路は上記の初期駆動パルスを作るほか、カウンタへの時計信号を作り、データ収録のサンプリング制御等の機能も有している。

深度計測部は、音速度データのために不可欠な深度データを出力する。深度検出には小型で高精度をシリコンダイヤフラム式圧力素子を採用し、アナログの形で得られる水圧に比例した電圧をデジタルに変換する。

記録部は音速度と深度を一組とし指定サンプリング間隔に従い PROM (不揮発性 IC メモリ) に収録する。

データ処理部は船上または陸上に設置し、記録部から回収した PROM 内のデータを読み出し計算処理して成果としての水深補正值を印字出力する。

仕様

本機の開発仕様は次のとおりである。

最大使用深度	1,000 m
音速度計測精度	±0.1% (約±1.5 m/秒) 以内
深度計測精度	±1%
スパン	0.5 m
データ収録間隔	2秒または4秒のいずれかに設定可能
超音波周波数	3 MHz
最大収録可能時間	30分 (サンプリング間隔2秒において)
使用電源	アルカリマンガン電池 単一形 1.5 V × 7個

3. 海上試験

海上試験は以下に示すとおり実施した。

場所 伊豆大島北方約5マイル、水深1,550メートルの下記の地点

北緯 34°44'

東経 140°40'

期日 57年2月22日

実施船名 測量船 昭洋

- 方法 (1) 巻揚機の先端に取付けた本機の水中部を水深1,000 mまで降下し約1分停止の後、引揚げた。往復共にワイヤの速度を秒速1.5 mとし、この間、データ収録間隔を2秒に設定して音速度計を作動させデータを収録した。
- (2) この地点で10個のナンセン式採水測温器を使用して水深1,000 mまでの各層観測(25, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1,000 mの各深度)を実施した。

4. データ処理

- (1) データ処理には HP 9826A コンピュータ、計算結果の出力には付属のプリンタとプロッタ

を使用した。

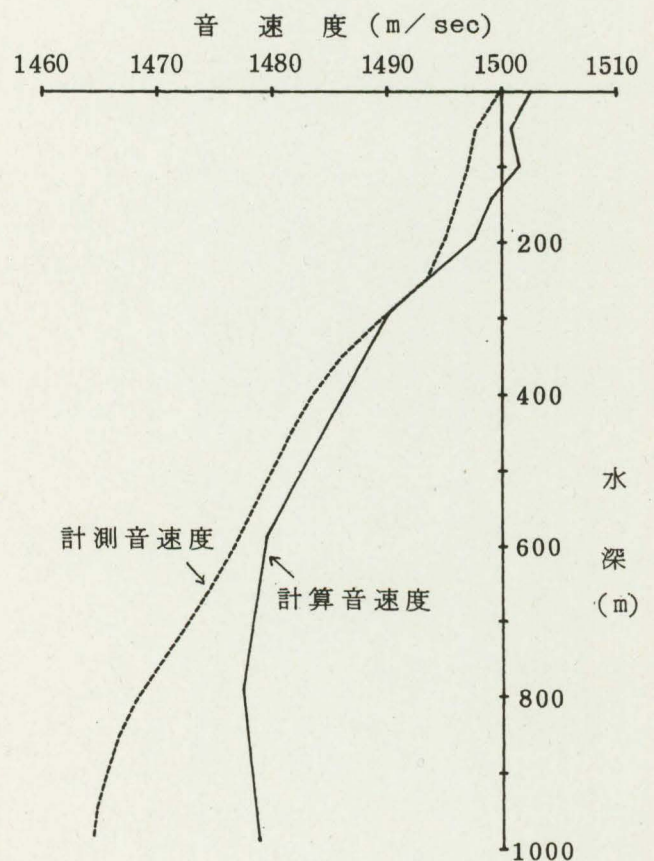
- (2) PROMに収録したデータを印字出力した結果、降下時にはデータ収録に成功したが引揚の途中の770mから水面までの音速度データが欠測となっていることが判明した。
- (3) 第1表は降下時に収録したデータに基づきデータ処理部で処理し印字出力した水深補正表である。→→を挟んだ両側の数字は引数としての測得水深の範囲を示し、CORR. 欄はこの範囲の測得水深に対する水深補正值を示している。計算方法としては、50m毎に層を設定し収録データから各層内の平均音速度を計算し、これ等に基づいて水深補正值を算出する過程は桑原方式と同様である。次に、これ等のデータを使用してラグランジェの4点補間法により100m未満は0.2m毎、100m以深は1m毎の水深補正值に対して適用できる測得水深の範囲を計算した。

第1表 本機により作成した水深補正表

DEPTH	CORRECTION	TABLE
DEPTH FROM 0.0	TO 85.4	CORR. 0.0
85.6	→→ 100.0	-0.2
100	→→ 223	0
224	→→ 364	-1
365	→→ 452	-2
453	→→ 524	-3
525	→→ 589	-4
590	→→ 651	-5
652	→→ 709	-6
710	→→ 762	-7
763	→→ 812	-8
813	→→ 859	-9
860	→→ 897	-10
END		

5. 評価

本機の計測値の評価は、採水測温を同時に実施しその取得データから従来方法である桑原表に従い計算した音速度を基準とし、本機によるものと比較する方法をとった。第4図は音速度の比較図で、実線は計算法による音速度、点線は本機により計測された音速度である。横軸に音速度を縦軸には水深が目盛つてある。水深が650m以浅での両者の差は最大値で4m(0.27%となり水深補正值に及ぼす影響は1.7m)となり開発目標に今少し及ばないものの実際面ではこのような海域で使用される中深海用音響測深機の水深の最小読取単位である2mより小さい。水深が650mより深くなるにつれ両者の音速度の差が大きくなり最大計測深度である水深1,000m付近では14m/秒(ほぼ1%に相当しこれが水深補正值に及ぼす影響は約10m)にも達する。一方、水深1,000m付近の音速度計の音速度の計測値である1,464mを桑原表によって水温に逆算すると0.7℃となり不自然な水温となる。従って、計測した音速度には、なんらかの誤



第4図 音速度比較図

差が含まれていると思われる。

深度計測値の評価は、陸上における圧力試験の結果、仕様の±1%を満たしているほか、海上試験では巻揚機付属のワイヤゲージと本機の深度計測値を比較するという方法をとった。ワイヤゲージが最深試験深度である1,000mを指した時、巻揚機を停止し、1分後ワイヤの傾角が 10° であることを確認しているため、これから本機の正しい最深深度は深度修正図表によれば983mとなる。一方、本機による最深の計測深度は982mとなり、極めてよく一致している。従って、深度計測については陸上試験と海上試験を総合すると満足できるものと考えられる。

深度計測が正しいとし、かつ、650m以深の音速度データを無視して、第5図における音速度計による計測曲線を右方に2.5m（即ち、音速度計測値に+2.5m）ずらすと計算による曲線とかなりよく一致することがわかった。第5図はその結果である。2.5mという値は、はからずも水深1mにおける両者の差に等しいが、これは既述の回路遅延量の初期設定が正しくなかったことを示すものであろう。

650m以深における両者の大きな差は、揚収後の検討の結果、送波素子と受波素子の背面にある防振材（約2mm厚）が強い水圧で収縮し、スパンの間隔が大きくなったのが主な原因と推察された。

6. むすび

本機の実用化への改良点として、水圧を直接受けない送受波素子のマウント方法を考える必要がある。一方法として、音波の減衰を考慮の上、送受波素子を耐圧容器内に収納することも有効な手段であろう。

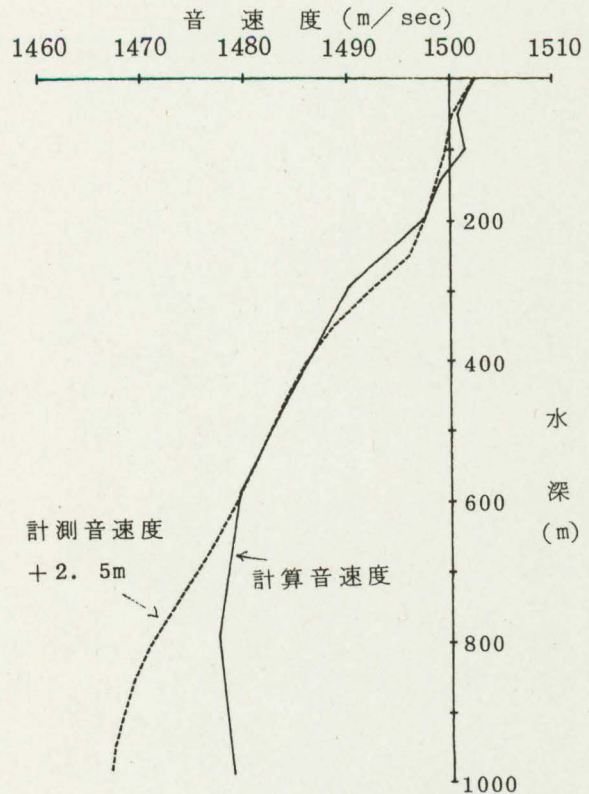
一方、本機の使用目的から考えると計測値のチェック手段を設定することが重要であり、そのための検定方策の確立も重要な課題となる。

最後に音速度の補正に関して、第12回国際水路会議で測深補正表NP139の採用が決定されたが、この補正表を作成した著者も前文の中で注記しているが、より正確な水深を求める場合には、正しい海洋観測を実施し、これ等のデータに基づいて実際に即した水深補正值を求めることが大切である。音速度計による音速度の計測も手段こそ異なるが主旨に異なることはない。

本機の海上試験に際し、多大な御援助をいただいた測量船昭洋の乗組員の方々、ならびに本機によるデータ収録にあたられた第八管区海上保安本部水路部の登崎隆志氏、水路部監理課の平野賢治氏に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 水路測量 1976：日本水路協会、東京、183-190ページ
 超音波技術便覧 1978：日刊工業新聞社、東京、592-594ページ



第5図 本機により計測した音速度に+2.5mの補正を施した後の比較図