

マイクロプロセッサ応用によるステップ式 波高計の改良について

高橋 智晴*・佐々木 弘**・清水 康男***

1. ま え が き

水面変動を検出器で直接、量子化して測定するステップ式波高計は、表面波形を直接測定でき、測定回路方式によっては越波の測定も可能であるといった特長を有している。現地観測用としては階段抵抗型^{1),2)}を始めとして、その改良型であるリレー型³⁾、パルス型^{4),5)}に至るまで各種方式のものが観測に供されてきた。

しかしながら、これまでの方式では波高測定桿（以下、測定桿という）に海洋生物、浮遊汚染物質等が付着して電極部が汚染されると、水位検出系に電気的な測定障害が発生して記録が不正になるという測定上の欠陥があり、その改善は実用上の課題とされてきた。

測定障害を引き起こす汚染の程度は測定方式や汚染内容によって異なり、また、汚染の進行状況も場所や季節によって様々であるが、実測によると汚染は一般に短時間で進行し、甚だしい場合には1ヶ月に満たずして測定障害を生ずることがある。従来、この測定障害を防除するには、測定桿の清掃を頻繁に行うことが唯一の方法であるとされてきたが、海中作業であるため清掃が満足に施されることは希となり、測得率とデータの信頼性の低下を招いていた。

このようなところから、既存の測定回路方式がもつ欠陥を改善し、測定桿を長期間にわたって無清掃で使用可能とする汎用性の高い測定方式の実現を意図して改良手法の検討を行った。その結果、測定操作の一部をソフトウェアに置き換える方法について研究を進め、新たな信号処理方法を考案し、マイクロプロセッサを組込んだステップ式波高計を試作、開発した。室内および現地実験ならびに長期間にわたる現地観測を通じて性能的に初期改善目標を満足できる結果を得たので、その概要について報告する。

2. 既往測定方式と測定障害の原因

ステップ式波高計は、多数の水位検出電極（以下、電

極と言う）を一定の量子化間隔で植え込んだポールと、この電極群と電気回路的に対をなす共通電極からなる測定桿を海面に立て、海面の変動に応じて電極が海面に接したり離れたることによって得られる電極と共通電極間の電気的な on（オン）、off（オフ）作用を利用して、海面波形を測定するものである。

既往方式において、電極が海水に浸っているか否かを検知する方法としてリレー型は電磁リレーを、パルス型は論理回路を用い、いずれも電極回路に流れる電流の大きさを一定のレベルで検出して弁別することにより on, off を判別している。また、得られた電極の状態情報から水位出力を得る変換回路にはリレー型、パルス型それぞれに2種類の構成がある。しかし、その変換方法の基本は、水没電極の中の最上位電極位置に対応した出力を得る方式と、水没電極の総数に比例した出力を得る方法の2種類である。

各方式は、測定上それぞれの方法に応じた得失を有し、また測定障害を生ずることもある。しかし、いずれの方式も on, off の弁別を電極回路の電流を検出して行うという同じ方法をとっているため、測定桿の汚染に起因する測定障害については共通の欠陥を有している。この測定障害は、汚染による電極表皮抵抗の増大にともなう電極水没時 on の電流の減少、海草・藻等の付着による水切れの劣化にともなう空中露出電極すなわち off 時のリーク電流の増大と off 抵抗の上昇回復の遅れ、およびこれに対する on, off 検出回路の特性と弁別レベルの設定条件などに原因し、これらが相乗的に関係して発生する。

通常、汚染がない状態では、on 抵抗は小さく off 抵抗は大きいので on 電流と off 時のリーク電流にはかなりの差がある。また、リーク電流は電極が水中から空中に露出した直後は水濡れのため比較的大きいけれども、水切れが良い場合には off 抵抗の回復は早く、on, off のスイッチングは明確に得られる。しかしながら、汚染が進むと電極抵抗の増大により on 電流が減少し、また、水切れの劣化や水垂れによってリーク電流の増大と off 抵抗の回復に遅れを生ずることから、on, off のスイッチングは時日の経過とともに不明確となり、ついには on off の弁別を誤ることになる。

* 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部海象観測研究室長

** 運輸省港湾技術研究所水工部主任研究官

*** 協和商工株式会社技術課長

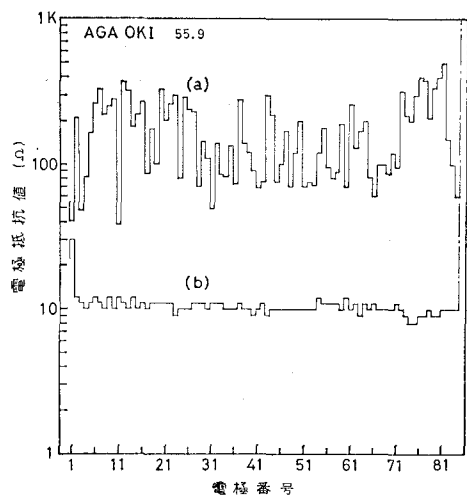


図-1 電極抵抗値の実測例 ((a) 汚染状態 (b) 清掃後)

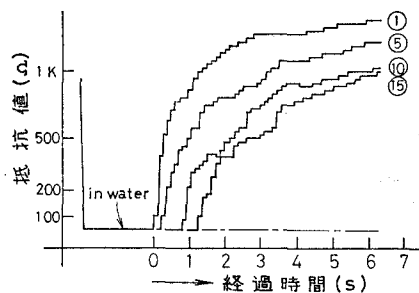
図-1 に現地波高計における水没電極抵抗の実測例を示す。図中 (a) は汚染時の値で、測定桿清掃後約1ヶ月を経過した時点の値、(b) は清掃直後の値である。これによると、水没電極の抵抗値は汚染によって大きく変化し、約1ヶ月で 400~500 オームに達するものもあり、電極ごとのバラツキも大きい。ちなみに、現地用波高計の一般的な on, off 弁別レベルは、電極抵抗値に換算して約 200~300 オームに設定してあり、当然のことながらこの状態では測定障害を生じている。

一方、水面変動にともなう電極スイッチングの確かさは汚染状態とそれによる水切れ、水垂れにより変化する。図-2 は、この間の関係を現地用測定桿を用いて調べた一例で、測定桿を水中に没して立て、これを一気に空中に引き上げたときの電極リーク電流を測定したものである。リーク電流は電圧に変換して測定し、図ではこれを電極抵抗に換算して示した。また、測定桿付着物としては図示の擬似的なものを使用した。

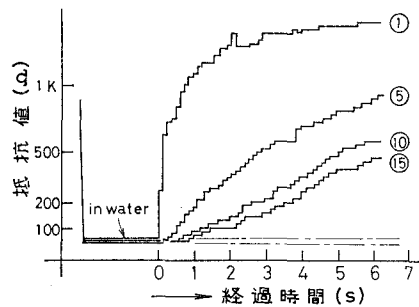
これによると、リーク電流の変化は付着物の有無により大きく異なり、付着物がある場合のスイッチングはかなり不明確なものとなっている。また、off 抵抗の回復は、上方の電極は水垂れが少ないので比較的早い、下方の電極は水切れ、水垂れの影響によりかなり遅く、付着物がある場合には on, off の弁別レベルを 200~300 オームとすると回復までに数秒を要している。なお、図中の経過時間は最上位の電極が空中に出たときを零として示した。それ以下の電極については最初に抵抗変化があった時点が空中に出た時と推察できる。

測定結果から分るように、既往方式では測定桿に汚染がない場合でも水面の検知に 0.2~0.3 秒程度の遅れをもつことがあり、汚染がある場合には正しく海面を検知することは困難であると言える。

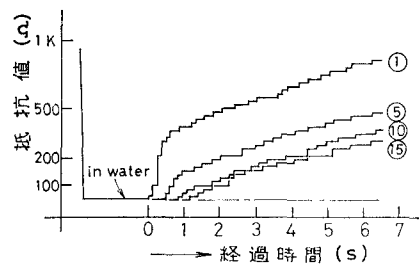
上述の原因からみて、検出部で得られた信号から正し



(a) 付着物なしの状態



(b) マット状エアフィルター付



(c) マット状スポンジ付

図-2 電極抵抗値の回復に及ぼす付着物の影響 (丸の中の数字は電極番号を示す。①が最上段電極)

い海面を求めるには測定の都度、電極の電気的狀態を判断し、その結果において弁別レベルあるいはその後の変換方法を決める必要があると考えられる。しかし、こうした状態判断と、それに基づく測定操作の選択といった知的操作を、従来から用いていた電気回路機能だけで実現することは極めて困難である。そこで測定操作の一部をソフトウェアに置き換えることにし、マイクロプロセッサ応用により実現した。

3. マイクロプロセッサ応用により機能の改良

(1) 改良方式の概要

この改良の基本的な考え方は次の通りである。

電極水没時の on 電流は電極により異なるが、個々の電極については数時間の範囲では概ね一定とみることができる。一方、汚染時には on 電流と空中露出直後のリーク電流の差は小さい。しかし、汚染が顕著であっても電極が海面を出・没したときには電極電流は多少なりとも変化を示す。したがって、この電流変化とその増・減

極性を測定・判別することができれば、電極の置かれている状態を知ることができ、この情報を判別することにより妥当とする海面を決定することができる。

すなわち、海面は現象的にみて水位の上昇過程においては電流変化のあった一番上の電極位置であり、水位の下降においては電流変化のあった一番下の電極の下にある。問題は電流変化が水切れ等により水面電極より上方の電極において発生し、水位上昇過程において海面と誤認することである。この考案では、電極状態の継続性を判断することによってこの影響を除去している。

この改良方式においては、上述の測定操作を次のようにして行っている。

まず、全電極について各電極ごとの電流を測定し、これをデジタル値に変換してメモリに記憶する。この操作は以下の信号変換・情報処理を含め 0.2 秒ごとの定間隔で行われる。電極 1 個当りの走査時間は $200\ \mu\text{s}$ である。次に、各電極について当該測定走査 S_n と、その 1 回前 S_{n-1} の測定値を比較し、差分とその極性から変化の有無とその状態を判別し、これをもとに各電極の状態を表一に示す論理符号 (16 進表示) に変換して情報メ

表一 電極状態表現符号の説明

FF	当該電極が空中に没した状態にあることを示す。すなわち、水面の上升を表す。
0F	当該電極が水中から空中に露出した状態にあることを示す。すなわち、水面の下降を表す。
00	当該電極が水中または空中にあって、その状態を継続していることを示す。

モリに記憶する。メモリの内容は次の測定走査の完了まで保持され新たな情報に更新される。このメモリ内容を連続して示すと、図一3 のように海面変動が符号情報の変動の形で表わされる。ここではさらに、電極回路の短絡、水垂れ等による不正信号を除外するための補正処理

を行ったのち、情報メモリの内容を測定桿の最下位電極より順次調べて行く過程において、最初に変化のあった電極を見つけ、その情報内容を判断して当該電極番号またはそれから 1 を引いた電極番号に相当する値を海面として出力している。

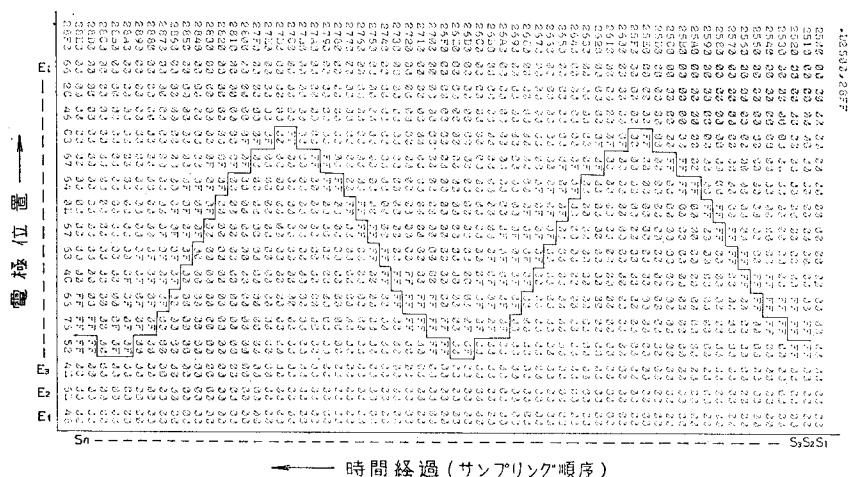
上述の情報処理において、静穏等で変化電極が得られなかった場合は、1 回前の走査で得られた値を継続出力する。電極回路の短絡あるいは空中電極の水垂れによる変化に対しては、予じめ各電極について水没時の電極電流を記憶しておき (適当なイニシャル値を与えておき、当該電極が水没したときその値と入れ替える)、変化電極の状態に応じて当該測定値 (FF のとき) または 1 回前の測定値 (0F の場合) と比較し、その差があるレベル範囲を超えている場合は、上述の原因による不正信号として水位判定の対象から除外している。したがって、この方法では越波の測定は出来ないが、進行波の測定を対象としたことからこの方法とした。

(2) 試作改良機の構成

改良方式の試作機は、図一4 に示すように測定桿、走査部および変換部で構成されている。走査部と変換部は 4 心、2 対のケーブルで接続され、内 1 対は電源用、1 対は変換部からのスタートパルスの伝送と走査部からの電極測定電流の伝送に共用している。

走査部はデコーダ、カウンタ、ゲートなどからなる走査回路とクロック発振器で構成されている。変換部は MPU (マイクロプロセッシングユニット) 回路を中心に、クロック発振器、電極測定値をデジタル値に変換する A/D 変換器、アナログ出力を得るための D/A 変換器などで構成されている。

MPU 回路は図一5 に示すように、MPU、プログラム格納用の ROM、電極測定値、電極情報、各定数などを格納するための RAM、および入出力インターフェー



図一3 海面変動の電極状態符号による表現

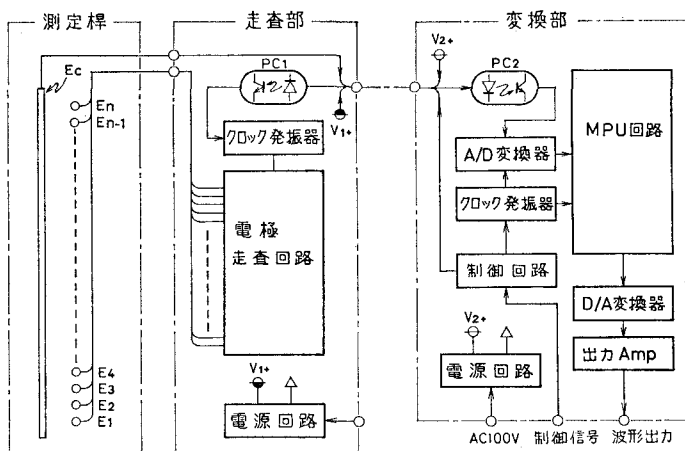


図-4 改良型波高計の回路構成

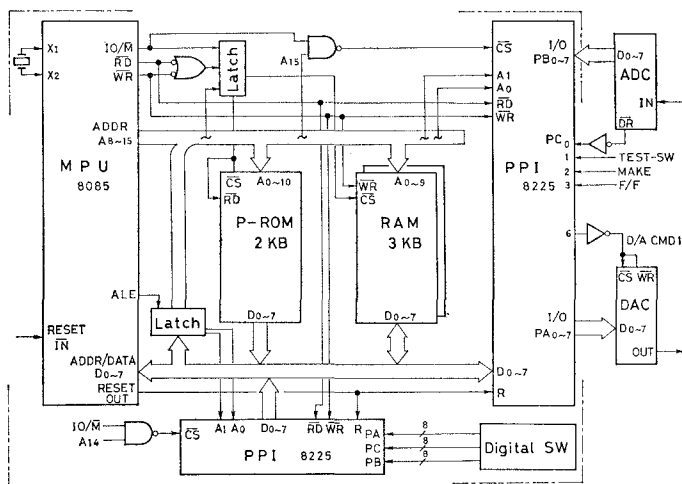


図-5 MPU 回路の構成

スで構成されている。全体は 205×115mm のプリント基板 1 枚に実装されている。MPU にはインテルの 8 bit MPU 8085 を使用した。これは、従来より筆者等が海象観測計器へのマイクロプロセッサの応用に当って 8080 系を用いたことから、技術的内容の把握と蓄積されたソフトウェアが有効に活用できるという理由による。

(3) プログラムの概要

ソフトウェアを構成するプログラムは、水位測定のための観測プログラムと自動観測のための付帯的なプログラムで構成されている。水位測定の概略の流れを図-6 に示す。プログラムはファームウェア化されている。また、暴走を防ぐため電極走査ごとに (0.2 秒ごと) ハードリセットしてスタートする方法をとっている。

試作機の波高測定範囲は 21m、電極間隔 10cm で、これに対しメモリは ROM 2 kByte, RAM 3 kByte の構成になっているが、実使用領域は約 2/3 である。

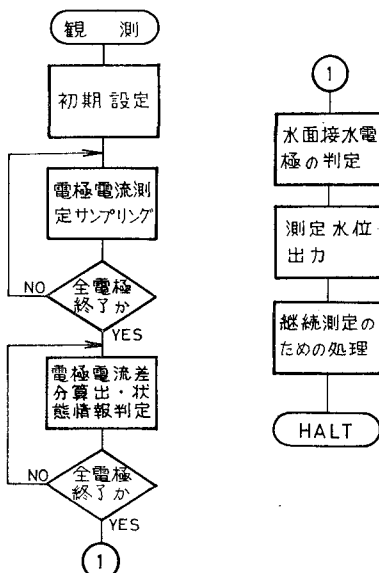


図-6 水位測定の流れ (観測ルーチン)

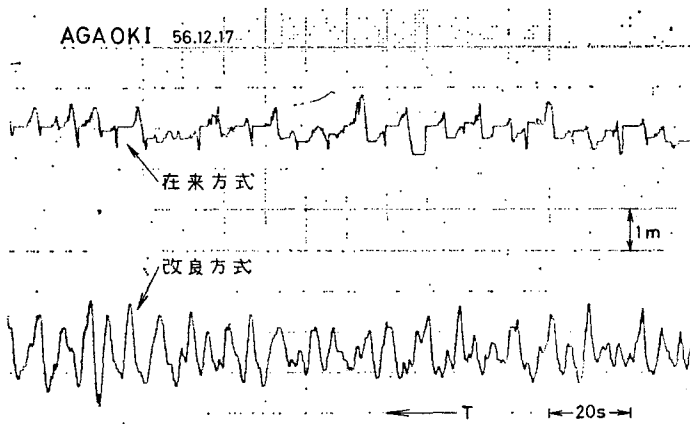


図-7 観測記録の一例

4. 測定機能

実験室および現地において、予想される障害発生状態を再現し、在来方式との比較により性能試験を行った。その結果、改良方式は電極の汚染、水切れの劣化あるいは水垂れ現象に対し十分な機能を有することが確認された。また、阿賀沖石油掘削バージにおける長期現地観測試験の結果も良好で、56年9月以降、測定桿を無清掃で観測を行っているが、現在（57年5月）も良好に動作していることを確認している。

観測試験による取得記録の一例を図-7に示す。測定桿清掃後4ヶ月を経過した時点での在来方式との比較記録である。1本の測定桿を切換えて使用した関係で、記録時間に約30分のずれがあるが、改良方式の効果は歴然であり、波形解析の結果からも、クルトシス、スキューネス等から判断して改良方式の記録は妥当であるとみられる結果が得られている。

5. あとがき

ステップ式波高計の波高計の波高測定桿汚染にともな

って生ずる測定障害の改善は、現地波浪観測における課題の一つであった。今回、マイクロプロセッサ組み込み応用による新たな測定方式を開発することにより、取得データの信頼性の向上と測定桿清掃作業の大幅な軽減が得られる見通しが得られた。

本機の開発研究に当って、現地観測試験の実施に際しては運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所ならびに日本海洋石油資源開発（株）の関係者各位に多大の協力を載いた。ここに記して深く感謝する次第です。

参考文献

- 1) Caldwell, J. M.: An ocean wave measuring instrument, Tech. Memorandum, No. 6, Corps of Eng., 1948.
- 2) 井島・高橋・中村: 小名浜港における波浪の種々の観測, 運研報告, Vol. 7, No. 12, 1957.
- 3) 村木・石田・高島: リレーを用いたステップ式波高計と観測塔, 第11回海工講演集, 1964.
- 4) 高島: パルス型ステップ式波高計, 第21回北海局技術研究発表会論文集, 1978.
- 5) 協和商工(株): パルス式波高計取扱説明書.