

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

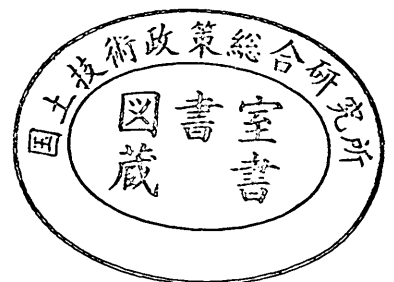
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 22

NO. 3

SEPT. 1983

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第22巻 第3号 (Vol. 22, No. 3), 1983年9月 (Sept. 1983)

目次 (CONTENTS)

1. A Unified Nonlinearity Parameter of Water Waves
..... Yoshimi GODA..... 3
(水面波の非線型性パラメーターの統一的表示について.....合田良実)
2. 無反射性造波方式の原理と推力制御式造波装置の特性
..... 谷本勝利・原中祐人・富田英治..... 31
(Principle and Performance of Non-reflective Wave Generator by Thrust Control
..... Katsutoshi TANIMOTO, Suketo HARANAKA and Eiji TOMIDA)
3. 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
..... 佐々木 弘・高橋智晴..... 57
(Improvement of step-type recording wave gauge with application of micro-processor
..... Hiroshi SASAKI and Tomoharu TAKAHASHI)
4. 日本沿岸の波浪のスペクトル形について
..... 広瀬宗一・立花祐二・菅原一晃..... 83
(One-dimensional spectra of wind waves in coastal waters
..... Munekazu HIROSE, Yuji TACHIBANA and Kazuteru SUGAHARA)
5. 波力発電ケーソンの空気出力効率の解析
——波エネルギーに関する研究 第1報——
..... 小島朗史・合田良実・鈴木諭司..... 125
(Analysis of Efficiency of Pneumatic-type Wave Power Extractors Utilizing Caisson
Breakwaters—A Study on Development of Wave Power 1st Report—
..... Roushi OJIMA, Yoshimi GODA and Satoshi SUZUMURA)
6. 海域における物質循環数値モデルの水質支配要因について
..... 堀江 毅・細川恭史..... 159
(Water-quality controlling factors in an eutrophication model
..... Takeshi HORIE and Yasushi HOSOKAWA)

7. 深層混合処理工法による壁状改良地盤の耐震性に関する実験的研究
..... 稲富隆昌・風間基樹・今村俊博..... 207
(An Experimental Study on the Earthquake Resistance of Wall Type Improved Ground
by Deep Mixing Method
..... Takamasa INATOMI, Motoki KAZAMA and Toshihiro IMAMURA)
8. 川崎港海底トンネルでの地震応答観測と応答解析
..... 清宮理・西澤英雄・横田弘..... 253
(Field Observation and Response Analysis at Kawasaki Koh Submerged Tunnel
..... Osamu KIYOMIYA, Hideo NISHIZAWA and Hiroshi YOKOTA)
9. 港湾における空間設計手法の開発（第3報）
——入力方法の容易化と港湾計画への応用——
..... 奥山育英・梅山珠実・佐々木芳寛..... 301
(Development of Space Design of Port and Harbour (3rd Report)—Easy Input Methods
and Application to Port Planning—
..... Yasuhide OKUYAMA, Tamami UMEYAMA and Yoshihiro SASAKI)
10. 港湾経済効果の計測手法（第2報）
——付加価値モデルの汎用化と原単位の整備——
..... 竹内良夫・米澤朗・稲村肇..... 325
(Development and Application of Synthetic Economic Evaluation Model for Port
Planning (2nd Report)—Value Added Model—
..... Yoshio TAKEUCHI, Akira YONEZAWA and Hajime INAMURA)

3. 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

佐々木 弘*・高橋 智晴**

要 旨

沿岸波浪観測用の波計高として、マイクロプロセッサ組み込み応用により測定性能を改良したステップ式波高計を開発した。改良は在来の回路方式で問題となっている波高測定かん(桿)電極部への海草・藻等の付着汚染による測定障害の改善を狙ったもので、新しい測定方式としてソフトウェア手法を用いた電極測定信号処理方法を考案してこれを実現した。

この信号処理方法では、水位の測定は波高測定かん水位検出電極に流れる電流値を時間的にサンプリングして記憶することによって行なわれる。また、水面の変動をいったん電極の状態を表わす符号の変動の形に置き換え、これをソフトウェアで処理することにより妥当とする水位を決定している。

開発した波高計は、波高測定かんの強度の汚染に対しても十分な測定性能を有しており、日本海阿賀沖、水深-80mに設置された石油堀削バージでの長期観測試験の結果から、波高測定かんを無清掃で使用可能な観測期間はほぼ1年間であることを確認した。

* 水工部 主任研究官 (海象測定技術担当)
** 前水工部 海象観測研究室長

3. Improvement of Step-type Recording Wave Gauge with the Application of Micro-processor

Hiroshi SASAKI*

Tomoharu TAKAHASHI**

Synopsis

A new step type recording wave gauge with the application of micro-processor has been developed.

There often appeared troubles for measurement due to contamination of the surface of electrodes and adhesion of seaweeds to the wave staff in usual wave gauge of this type. We have introduced a new technique of signal processing with software in order to avoid these troubles. The measurement of water elevation in the new wave gauge is done by memorizing the magnitudes of an electric current on electrodes sampled every a definite time interval and then running the codes as display of either in or out of water, given electrodes, which are made based on the difference between just sampled current value and the value memorized before one sampling interval. As water elevation, thus, is determined from the relative values of an electric current on each electrode, the effect of water, running down on the wave staff and the above-mentioned troubles in usual wave gauge of this type can be avoided.

The new step-type wave gauge is used on the oil platform at Agaoki Station in the Japan Sea water (depth; -80 m). As a result, the newly developed wave gauge can be used for wave observation without eliminating obstacles on electrodes for about one year.

* Senior Research Engineer, Hydraulic Engineering Division

** Ex-chief of Coastal Observation Laboratory, Hydraulic Engineering Division

目 次

要 旨	57
1. ま え が き	61
2. 既往ステップ式波高計の構成と機能	61
2.1 基本構成	61
2.2 リレー型ステップ式波高計	62
2.3 パルス型ステップ式波高計	63
3. 既往方式の測定障害とその原因	65
3.1 測定障害の発生機構	65
3.2 実測および実験による障害原因の解明	65
4. マイクロプロセッサ応用による性能の改良	70
4.1 測定信号処理方法	70
4.2 試作機の回路構成と機能	73
4.3 プログラムの構成	76
5. 改良の効果	79
6. あとがき	80
参考文献	82

1. まえがき

ステップ式波高計は水面変動を検出器で直接、量子化して測定し、量子化波形いわゆるステップ状の波形として記録する。この方式は表面波形を直接測定でき、回路方式によっては越波、跳波の観測も可能であるといった特長があり、原理的には表面波形を確実に捉え得る方法として高く評価されている。沿岸波浪観測用の形式としては階段抵抗型^{1),2)}を初めとして、その改良型であるリレー型^{3),4)}、パルス型^{5),6)}に至るまで種々の回路方式のものが考案され、使用されてきた。しかしながら、これまでの方式では検出器である波高測定かん(桿) (以下、単に測定かんという)に海洋生物、浮遊汚染物質等が附着して水位検出電極部分が汚染されると、測定系に電気的な障害が発生して記録波形が不正になるという欠陥があり、その改善は長年にわたって実用上の課題とされてきた。

この欠陥を改善するため、これまでも測定回路の改良を初めとして測定かん並びに水位検出電極の構造、材質等の検討・改良、あるいは測定かんへの生物附着を防止する防汚塗料類の使用といった試みがなされてきた。しかし、これといった決め手になる方法は得られておらず、実用的には測定かんの清掃を頻繁に行なうことが唯一の手段であるとしてとられてきた。

ところで、測定障害を生ずるような測定かん汚染の程度は、測定回路方式あるいは汚染内容によって異なり、また、汚染の進行状態も設置場所や季節によりさまざまである。しかし、実測によると汚染は一般に短時間で進行し、甚だしい場合には測定かんの清掃後1か月に満ちして数週間以内に測定障害が生ずることが指摘されている。これに対し、測定かん清掃作業の実施は海況・天候条件の制約を受け、さらには経済的にも多くの負担をともなうことなど困難な面が多く、このため適切に施されることはまれとなり、結果として観測データの信頼性の低下あるいはデータ測得率の低下を招いていた。

こうしたところから、筆者らは既往の測定方式がもつ欠陥を改善し、測定かんに汚染があっても長期間にわたって回路の調整あるいは測定かんの清掃を施することなく、安定かつ確実に観測を行なうことができる汎用性の高い測定方式の実現を意図して改良研究を進め、測定操作の一部にソフトウェア手法を用いた新たな電極信号処理方法を考案した。次いで、これをマイクロプロセッサ

組み込み応用により具体化し⁷⁾、測定性能を改良・向上した接水電極信号処理型ステップ式波高計を開発した。

この報告では、既往のステップ式波高計における測定障害原因の実態を現地波高計による調査および実験手法により明らかにし、それに対処するための測定信号処理方法を提案した。また、実機を試作して実験および長期間にわたる現地観測によってその機能を試験した。その結果、開発した波高計の性能は沿岸波浪観測用として十分満足できることを確認した。

なお、この改良・開発研究は、運輸省第一港湾建設局から要請のあった日本海阿賀沖ステップ式波高計の測定障害原因の解明と対策手法の検討を契機として始められたものであり、昭和55年11月にマイクロプロセッサ組み込み応用による最初の改良回路を試作した。その後、試行錯誤をくり返しつつ改良を加え、昭和56年8月に本報告による方法を完成し、翌9月より1か年以上にわたって現地観測試験を行った。マイクロプロセッサ組み込み応用によるステップ式波高計の改良については、筆者等の研究と時を同じくして高島⁸⁾が行っており、一部に類似した手法がみられるけれども、水面電極の検出・弁別方法に根本的な差異がみられる。

2. 既往ステップ式波高計の構成と機能

2.1 基本構成

ステップ式波高計は多数個の水位検出用電極(以下、単に電極という)をかん状体の表面、長手方向に一定の量子化間隔で植込んだものと、これら電極群と電気回路的に対をなす共通電極からなる測定かんを水面に立て、水位の変動に応じて電極が水に浸ったり、空中に露呈したりす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) 作用すなわちスイッチング作用を利用して水位を検知し、これを継続して行なうことによって水面の変動波形を測定するものである。

これまでのステップ式波高計には、代表的なものとして水位検出方式により分類されるリレー型とパルス型と呼ばれる2形式があり、さらに、それぞれの形式について水位検出後の信号変換回路の方式に2種類のものがある。以下、この研究における改良方式との対比においてこれらを総称して既往方式と呼ぶことにする。

既往方式において、電極が水中に浸っているか否かをすなわち電極回路が on 状態であるか off 状態であるかを検知・弁別する方法として、リレー型には電磁リレー

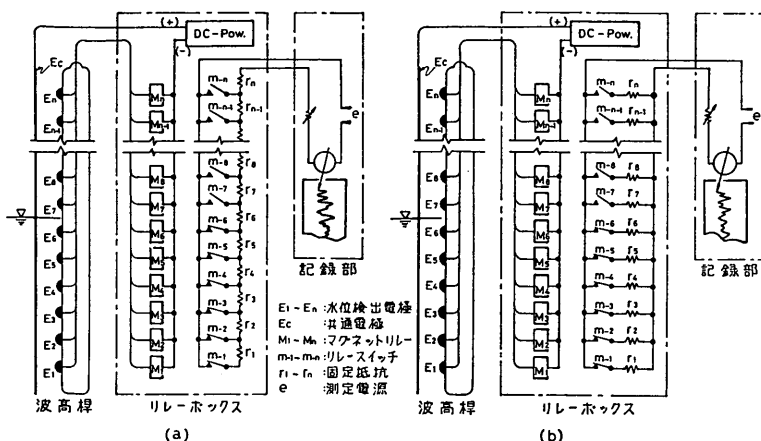


図-1 リレー型ステップ式波高計の回路構成 (a) 直列型 (b) 並列型

がパルス型には論理素子・回路が用いられており、いずれの場合も個々の電極に流れる電流の大きさを適当なしきい値で弁別することによって on と off を判定している。

次に、このようにして得られた電極の状態情報から水位（波形）出力を得る信号変換回路には、リレー型に抵抗直列型と抵抗並列型と呼ばれる2方式があり、パルス型に微分パルス型とパルス計数型と呼ばれる2方式がある。しかし、その信号変換方法は基本的には次の2種類に分けられる。その一つは、水没電極の中で最も水面に近い電極位置に対応した出力を得るものであり、抵抗直列型と微分パルス型がこの方式に属する。ほかの一つは、水没電極の総数に比例した出力を得るものであり、抵抗並列型とパルス計数型がこれに属する。

これら既往方式の測定回路は、測定機能上それぞれの方法に応じた得失を有している。しかし、その基本的な構成が同じであることから判断して各方式には共通した利点と欠点があると考えられる。また、1.でも述べたように原理的には多くの特長をもっているけれども、測定かんを水面付近に保持する方式であるため設置上の制約や測定障害を生ずる要素も多い。そこで、測定障害について考察する前に既往方式の回路構成と問題点について述べることにする。

2.2 リレー型ステップ式波高計

リレー型には 図-1 に示す抵抗直列型と抵抗並列型の2方式が実用化されている。図示のように測定かん、電磁リレーおよび電源回路で構成される水位検出回路、すなわち電極の on、off を検知・弁別する電極回路の構成

は両方式とも同じであり、弁別以降の信号変換回路に差異がある。

この方式による水位の検出は、電極回路に挿入した電磁リレーの感動電流をもって電極の on、off 弁別レベル値としたものである。つまり、電極が水に浸っているときの電極 on 電流がリレーの感動電流以上であって、かつ、電極が空中に露出しているときに流れる電極リーク電流がリレーの保持電流以下である場合に、電極の on、off がリレー接点の on、off に変換される。

この方式は電極の状態がリレー接点の on と off の2値に変換されるため信号の取扱いが簡単であり、また、リレーの動作チェックも容易であるという特長がある。反面、リレーの on、off 動作が回路電流の変化に対して遅れを示すシステリシス現象があり、これが電極リーク電流によっては比較的大きくなるため測定波形にひずみを生ずること、リレーの消費電力が比較的大きいことなどが問題点としてあげられる。

次段の信号変換回路は各電極に対応した電磁リレーの接点と抵抗器、測定電源、記録計器などからなる抵抗回路網で構成されている。この抵抗器の接続方法により 図-1 に示す (a) の抵抗直列型と (b) の抵抗並列型に分類される。抵抗直列型は水没電極中の最上方の電極位置に対応した信号を測定水位として出力する。これに対して抵抗並列型は水没電極の総数に比例した出力を測定水位とする。この両方式について測定機能上の得失を比較すると次のようにいえる。

抵抗直列型は測定かんをよこぎる波の表面または水塊の上表面を捉えて測定するので、進行波はもちろんのこ

と越波や跳波等の水位を観測することもできるという特長がある。反面、水面より上部の電極においてリレー接点あるいは電極の短絡事故が生じた場合、すなわちリレーの故障やしびきによる着水、海草や藻等の付着による水切れの遅れ現象などにより電極回路が on 状態となった場合には、当該事故電極位置を水面と誤認して測定波形は不正なものとなる。また、その事故が継続している場合には次後の観測は不能となる。

一方、抵抗並列型の場合は回路方式上、測定かんをよこぎる水塊と水面の間に空間のある越波や跳波等の測定はできない。しかし、空中電極の短絡事故や水中電極回路の開放事故の場合には事故電極の数だけステップがとんだ波形として記録されるだけであり、その数が少ない場合には波形の読取りにはほとんど差支えないという特長がある。また、これらの事故が継続的なものであっても当該事故電極が水面変動に直接関係のない位置にある場合は、波形記録に影響があるのは事故が起きた最初だけで次後は影響しない。

このように両方式は相反する長所、短所をもっている。また、このほかに機器の製作、調整、試験などに関係した得失もあるが、沿岸波浪の定常観測では抵抗並列型を使用している例が多い。

2.3 パルス型ステップ式波高計

(1) 微分パルス型

機能としてはリレー型の抵抗直列型と同じく水没電極中の最上方電極位置に対応した測定値を出力とする方式

である。しかし、回路の動作上、抵抗並列型の長所を併せもったものとなっている。この方式は電極電流があらかじめ設定してある弁別レベル値を上下して変化したとき、その電流変化の増減極性に対応した正・負の極性をもったパルスを発生する回路が各電極ごとに設けられており、水面が電極をよこぎるたびに発生するパルス信号を当該電極位置に対応したパルス符号信号に変換して出力する方法がとられている。

測定回路の構成図と信号変換過程の説明図を 図-2 に示す。回路構成図に示すように電極回路の電流変化は抵抗 r_n の電圧降下の変化として検出され、電極 on, off 弁別回路 S_n に入力される。弁別回路はシュミット回路*と CR 微分回路で構成されており、入力電圧の変化をシュミットレベルの下で電極 on, off に対応した 2 値状態の電圧信号に変換し、微分回路を通して電極 on, off を正、負の極性をもったパルスとして出力する。図-2 の信号変換過程の説明図に示す (1) および (2) はこの間の変換で得られた信号の関係を示すもので、(1) は測定かん電極と水面波形の関係、(2) は水面が電極をよこぎるたびに得られる電極 on, off に対応したパルス列を示す。このパルスは発生都度、符号化回路で (3) に表現されるパルス符号に変換される。この符号パルスをアナログ電圧に変換して波形信号に復調したのが (4) のステップ状の波形である。

* 入力電圧がある値を超えるときだけ、一定の振幅の出力電圧が発生する双安定パルス発振器。

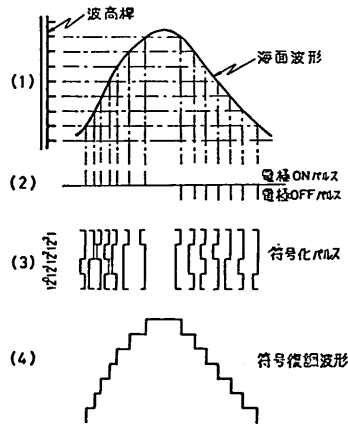
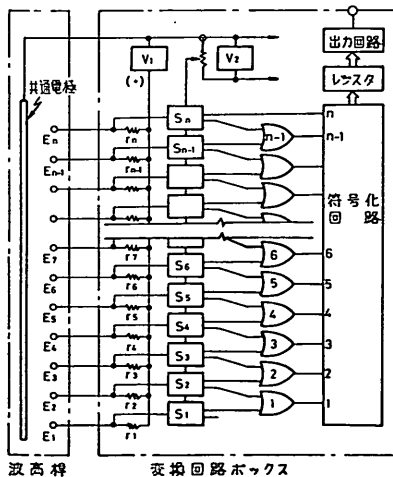


図-2 パルス型ステップ式波高計(微分パルス型)の回路と波形変換(高島⁹⁾による)

この方式についてこれを考案した高島⁵⁾は、電極が水中に没したのか空中に露出したのかを微分パルスで表現するところから微分型と呼んでいる。また、測定機能について次のように評価している。

- 1) 微分型はリレー型における抵抗直列型と抵抗並列型の長所を併合した形式となっている。
- 2) 越波や砕波のように不連続な水塊が測定かんに作用した場合には、複数の電極パルスが交錯して発生するため測定波形が乱れる。
- 3) 測定かん付着物の影響により空中電極部分に水切れの遅延現象を生じた場合、水面位置に無関係な負のパルスによる出力がある。

上記の 1) 理由として、図-2 の構成において符号化回路が測定かんの上方位置の電極で得られた情報を優先する方式となっており、機能的には抵抗直列型に相当するけれども、レジスタの内容は水面が電極をよこぎるたびに、すなわち新たな電極発信パルスによる情報入力都度更新されるので、電極に短絡事故が発生してもほかの電極による測定動作に影響を及ぼさないことをあげている。しかし、この方式では抵抗並列型と異なり上方電極に短絡事故が発生した瞬間には測定波形上にスパイク状のノイズとして表れるものと思われる。この現象は 3) の場合についても同様である。なお、同一電極についての継続した短絡事故では抵抗並列型と同じ動作を示すものと思われる。

(2) パルス計数型

この方式の基本測定機能はリレー型における抵抗並列型と同じであり、水没電極の総数に比例した出力を得る

ものである。しかし、回路構成および測定手法にはこれまでのものと異なった方法が採用されている。その違いは、これまで述べてきた各方式が電極状態の検知・弁別回路(リレー、シュミット回路等)を各電極ごとに置く構成であったのに対し、この方法では全電極共用の1個の弁別回路を用い、各電極の状態検知を時分割で行っていることである。

この方式の回路構成図と測定パルスの説明図を 図-3 に示す。全電極共用の弁別回路は共通電極回路に挿入されており、各電極への通電はクロックパルスに従って走査回路の制御の下にデコーダ* を介して順次時分割で行われる。したがって、各電極回路の電流は電極状態に応じたパルス状の電流として弁別回路に入力される。弁別回路は 図-3 に説明するようにこのパルスを一定のスレシールドベル(しきい値)で弁別し、水没電極に対したパルス信号を変換部に送出する。変換部は入力パルスを計数してその数に比例したアナログ電圧に変換して出力している。ここで、1 電極当りの走査時間は 100 μ s、測定のサンプリング周期は 0.1s となっている。

パルス計数型の測定機能は水位の測定を時間的にサンプリングして行っていることを除けば、リレー型における抵抗並列型とほぼ同じである。しかし、ほかの方式に比べて回路構成が簡素化され、消費電力が低減できるという特長がある。

* 1個以上の出力チャンネルを選択する論理素子のマトリックス。

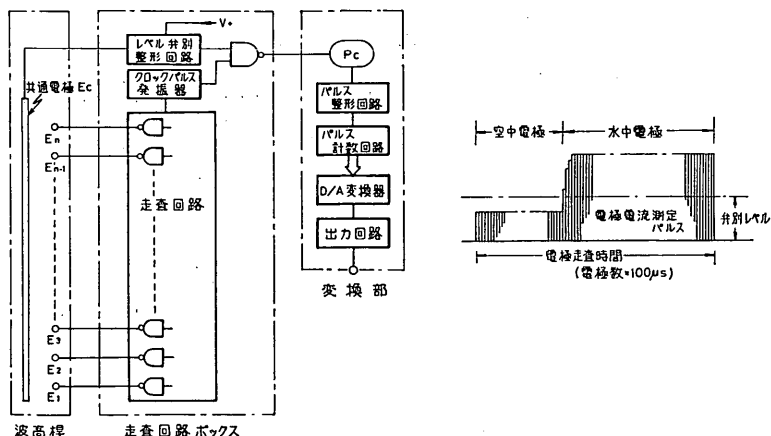


図-3 パルス型ステップ式波高計(パルス計数型)の回路と変換パルス

3. 既往方式の測定障害とその原因

3.1 測定障害の発生機構

これまで述べたように、既往の各方式は測定機能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。しかしながら、いずれの方法も水没電極と空中露出電極の弁別を電極回路の電流を検出して行うという共通した方法を採用しているところから、測定かんの汚染に起因する測定障害については同一の欠陥を有しているものといえる。こうしたことから考えて、既往方式による現地観測において経験的に指摘されてきた測定かん汚染時に発生する測定障害の原因は、

- 1) 汚染による電極表面抵抗の増大にともなう電極 on 電流の減少。
- 2) 海草、藻などの生成・付着による電極部分の水切れの劣化にともなう電極 off 時のリーク電流の増大と off 抵抗の上昇回復の遅れ。
- 3) 上記 1) および 2) に対する電極 on, off 検出回路の応答特性と弁別レベルの設定条件。

などによるものであり、これらが相乗的に関係して発生するものと推察した。

通常、測定かんが汚染していない状態では水中電極抵抗すなわち電極 on 抵抗は小さい。また、空中電極抵抗すなわち電極 off 抵抗は電極部分が乾いた状態では無限大とみることができ、水に濡れた状態でも on 抵抗に比べてかなり大きな値を示す。したがって、電極 on 電流と電極 off 時のリーク電流にはかなりの差があり、on, off 弁別レベルの設定可能な範囲はかなり広い。また、電極 off 時のリーク電流は、電極が水中状態から空中状態に移行した直後には電極部分に付着、滞留している水のため比較的大きいけれども、測定かんに付着物が無い場合には水切れが良いので off 抵抗の上昇回復が早く、リーク電流は速やかに減少する。したがって、on, off の弁別は確実にこなされる。

これに対し、測定かんが汚染している状態では電極表面抵抗が増大して on 電流が減少する。また、付着物による水切れの劣化にともなって off 抵抗の上昇回復に遅れを生じ、リーク電流も増加する。このため、汚染の進行につれて、on, off 弁別レベル範囲は狭くなり、電極ごとに異なった値を示すようになる。同時にリーク電流の影響を受けて on, off のスイッチングも不明確なものとなり、遂には弁別を誤って不正な水位を出力することになる。

このように、測定障害の発生原因は測定かんの汚染にともなう電極回路の電気特性の変化によるものであり、既往方式の測定回路では性能的にこの変化に対応しきれないために生ずるものと考えられる。したがって、障害の内容、程度は汚染の内容、程度とそれに対する測定系の応動特性、回路方式などによって異なり、その形態もさまざまであると推察される。

3.2 実測および実験による障害原因の解明

(1) 現地波高計による調査

測定障害発生の実態とその時点での電極回路の電気的性状を把握するため、現地波高計について実態調査を行った。現地調査は新潟県阿賀沖に設置されている石油掘削用プラットフォーム（日本海石油資源開発(株)所属）に取付けられた定常観測用波高計（パルス計数型、運輸省第一港湾建設局所管⁹⁾）を主な対象として実施した。

調査の結果、全般的にみて測定障害を生ずるような測定かんの汚染は、定常観測の立場からみて比較的極めて短時日の内に進行することが確認された。その進行状況は季節や場所による条件、あるいは事前に施された測定かん清掃の程度などによって異なるものと思われるが、阿賀沖波高計の場合、甚だしいときには清掃後1週間程度で測定障害の発生がみられたこともあり、ほとんどの場合1か月以内で測定障害を生じている。

なお、観測に当たって注意しなければならないのは、波形記録を一見しただけでは測定異常を見つけることが困難な場合があることである。これは測定障害の内容と程度によっても異なる。たとえば、パルス計数型では水位変動の振幅の10~20%程度の水没電極が検出されなくとも、記録波形は一見、正常にみえることがある。

次に、図-4 は阿賀沖波高計の測定かんについて水没電極の直流抵抗を実測した一例である。図中 (a) は測定かん汚染時の測定値であり、測定かん清掃後約1か月を経過した時点の値、(b) は測定かん清掃直後の値である。図の電極番号 84 付近が海面位置である。これによると、水中電極抵抗値は汚染によって大きく変化し、約1か月で400~500 オームに達するものもあり、電極ごとのばらつきも大きい。ちなみに、現用波高計の一般的な電極 on, off 弁別レベルは電極抵抗値に換算して200~300 オーム程度に設定されており、当然のことながらこの状態では測定障害を生じている。

図-5~図-7 は同一波高計について電極回路の電流を測定したものである。ここではパルス計数型の測定回路を用いて各電極に200 μs の間隔で順次100 μs ずつ電圧

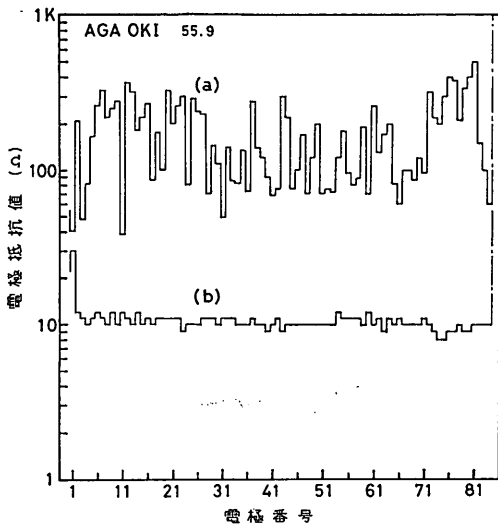


図-4 水中電極抵抗値の実測例
(a: 汚染状態, b: 清掃直後)

を加え、各電極回路に流れる電流を電圧に変換して測定し、これをデジタル値に変換してメモリに記憶する方法を用いた。図はこの記憶デジタル値をアナログ電圧に再変換してペンレコーダで記録したものであり、横軸に電極位置を縦軸に電極電流をとって示した。ただし、図では縦軸のスケールを電極抵抗値に換算して示した。測定かん清掃直後の測定結果が図-5であり、図-6がその1週間後、図-7は約1か月後のものである。

これらの図にみられるように電極抵抗値は急速に増大し、約1か月後には水中電極抵抗の大部が既往方式にお

ける通常の on, off 弁別レベル値の設定範囲を超えており、測定障害を生ずる原因となっている。なお、一般に汚染による電極抵抗の増大には限度があり、図-7に示される極大値以上になることは少ないようである。

(2) 実験による検討

水面変動にともなう電極スイッチングの確かさは測定かんの汚染状態とそれによる水切れ、水垂れの状態により変化する。この間の関係については模型および現地用測定かんを用いて実験により調べた。実験は測定かんを海中に没して立てておき、これを一気に空中に引き上げたときに流れる電極リーク電流を全電極について0.1秒のサンプリング間隔でくり返し測定する方法により行った。電極電流の測定並びに記憶方法は前項(1)の測定と同じである。

なお、測定かんの汚染状態は再現が困難なため、実験では擬似附着物としてソフトスポンジと繊維状物質をマット状にしたエアフィルター材を使用し、これらを短冊形に薄く加工した写真-1の形状のものを写真-2のように電極部に密着させ、縫糸でくりつけて固定したものをを用いた。また、模型用測定かんでは綿布を巻きつけて行った。

測定結果の一例を図-8、図-9に示す。図-8は測定範囲2m、電極間隔10cmの現地用測定かんを用いて測定した各電極ごとのリーク電流の時間変化(図-8は附着物がない場合の例)であり、このようにして得られた測定かんの各状態での記録から、それぞれ数電極分について時間を合わせて重ねたものが図-9である。ここで、電極電流は電圧に変換して測定し、図ではこれを電極抵

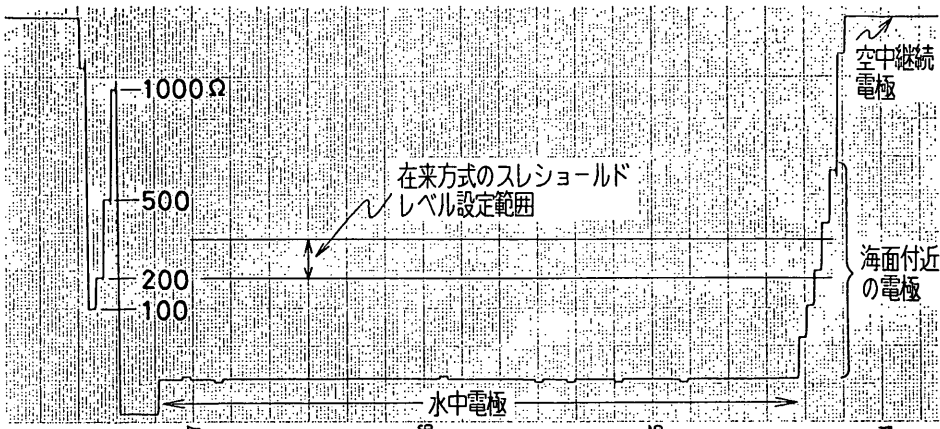


図-5 電極電流の実測例(1)(測定かん清掃直後)

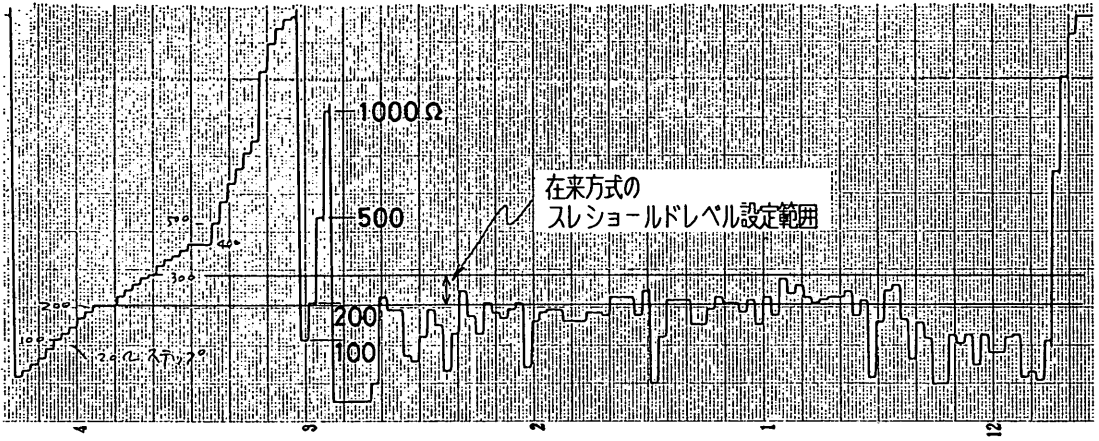


図-6 電極電流の実測例 (2) (測定かん清掃後約1週間経過時)

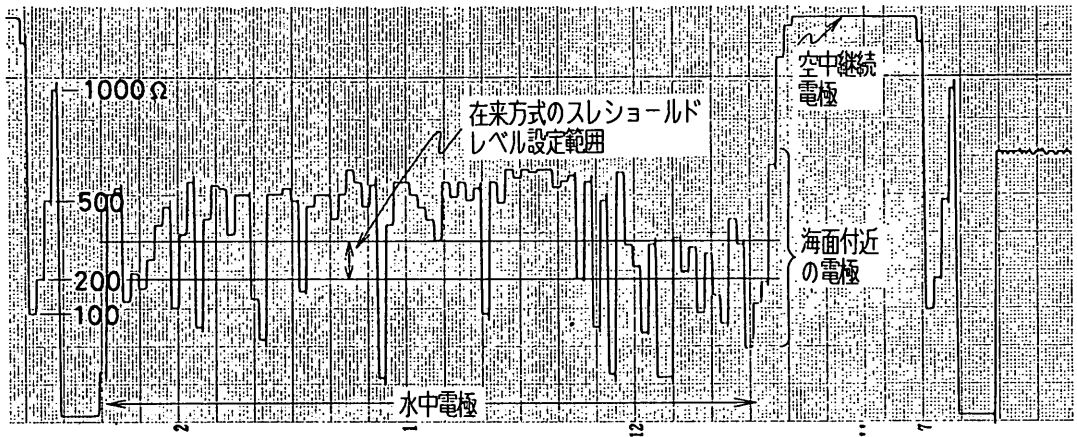


図-7 電極電流の実測例 (3) (測定かん清掃後約1か月経過時)

抗値に換算して示した。また、図中の経過時間は最上方の電極①が空中に出たときを零としたもので、それ以下に位置する電極についてはそれぞれ最初に電流変化が生じた時点が空中に出たときと考察できる。同様の測定を模型測定かん(アクリル板使用, 接点間隔 1cm, 20 接点)を用いて行った結果が図-10である。

実験によると、電極リーク電流の変化は測定かん付着物の有無により大きく異なり、付着物がある場合の電極スイッチングの状態は総じて不明確なものとなっている。その直接的な原因が付着物による測定かん表面の水切れの劣化によるものであることは、図-9および図-10に示す電極 off 抵抗の上昇回復が上方の電極から下方の

電極になるにつれて、水切れ、水垂れの影響を受けて遅くなっていることから知ることができる。また、エアフィルタ材とソフトスポンジでは当然のことながら保水性の高い後者のほうが具合の悪い結果を示している。

これらのことから考察して、電極スイッチングの動作状態は水面変動の状態によって変化し、変動の振幅が大で速度が早い場合ほど悪化するものといえる。特に、水面の下降過程にあっては水面変動の速度と水切れの遅延との兼ね合いで、既往方式では正しい水面電極を検出することが困難となる機会が多い。

次に、模型測定かんによる図-10の測定結果をみると、図-9に比べて付着物がある場合とない場合のリー

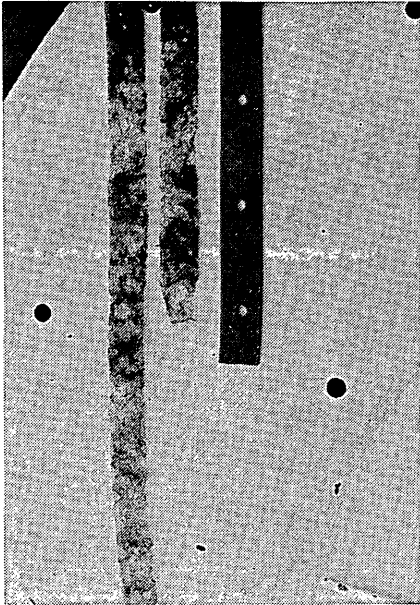


写真-1 擬似付着物



写真-2 擬似付着物の固定状況

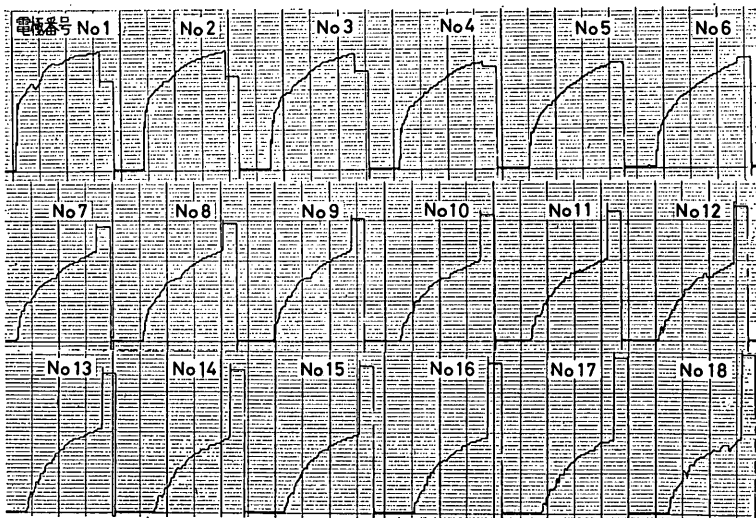


図-8 電極 off 時のリーク電流の変化

ク電流の変化に大きな差異が認められる。この原因は模型の材質、構造、寸法等によるものと考えられる。すなわち、測定かんの材質として表面が滑らかなアクリル板を使用したので水切れが良く、付着物がない状態では電極 off 抵抗は速やかに上昇する。一方、布を巻き付けた

状態では電極間隔が狭いことに加えて布そのものが高い保水性をもっていることから、電極 off 抵抗が小さくその上昇回復も遅いためリーク電流は継続して大きな値を示している。このことは、実際上の問題として測定かんの構造、電極の形状、電極間隔などが測定かんの水切れ

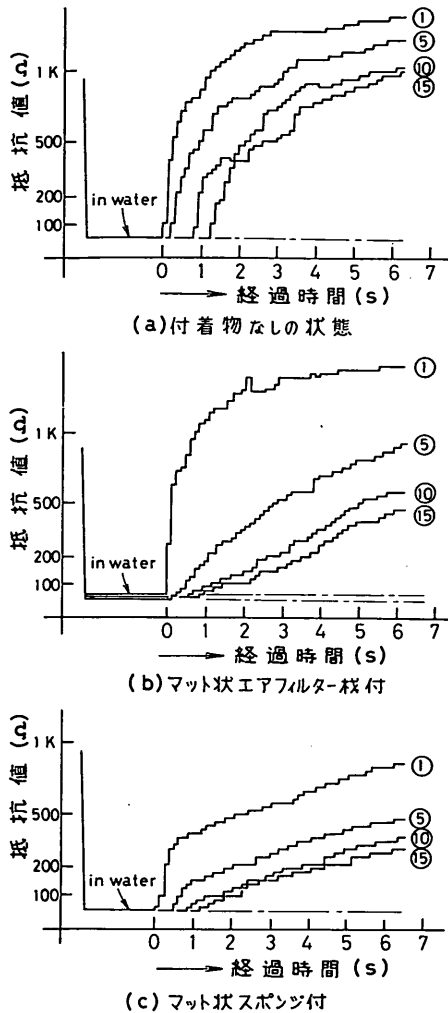


図-9 電極 off 抵抗の回復に及ぼす付着物の影響(1)
現地用測定かん (丸の中の数字は電極番号を示す。①が最上方電極)

との関連において測定障害の発生に影響していることを示唆しているものといえる。

測定かんの汚染による各電極の off 状態検出の遅れ時間は、図-9 と同様の実験結果から、図11-、図-12 に示すように、各電極の off 抵抗がある一定値まで上昇するのに要した時間を求めることによって知ることができる。実験の方法として 図-11 が 図-9 (a) と、図-12 が 図-9 (b) と同一の条件で行ったものである。これによると、図-12 にみられるように測定かんに付着物があるも

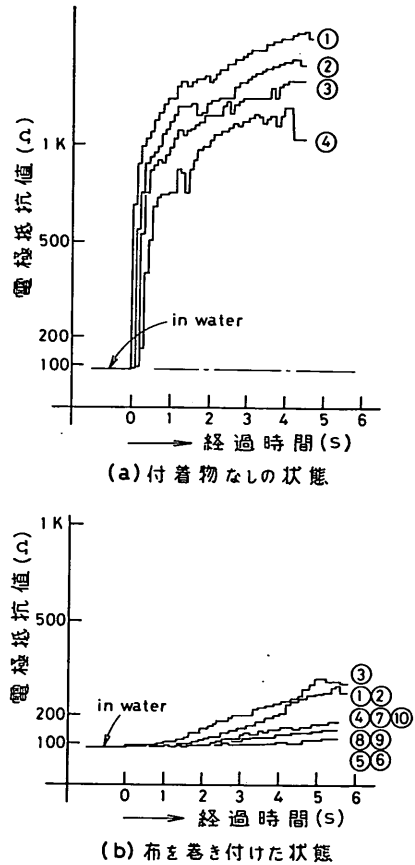


図-10 電極 off 抵抗の回復に及ぼす付着物の影響(2)
実験用測定かん (丸の中の数字は電極番号を示す。①が最上方電極)

のでは、電極 off 抵抗が通常の電極 on, off 弁別レベル値である 200~300 オームまで上昇するのに数秒を要しており、既往方式では時間の遅れから正しい水位の検出は不可能なものとなっている。

なお、この遅れはわずかではあるが測定かんに付着物がないものでも生じており、図-11 あるいは 図-9 (a) にみられるように下方の電極では水面検知に 0.2~0.3 秒程度の遅れをもつことがある。この遅れは実際の波形観測において記録波形上に振幅誤差や波形ひずみとなって現れることになる。

これまで述べてきた検討内容は水位の下降時についてのものであり、上昇時には特に触れていない。それでは水位が上昇して変化する際には測定障害は発生しないかということそうでもない。しかし、実験によると水

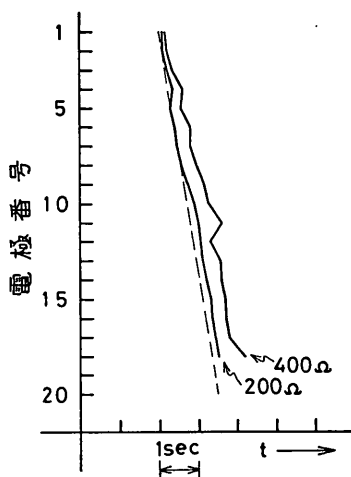


図-11 電極 off 状態検出の遅れ時間 (付着物なし)

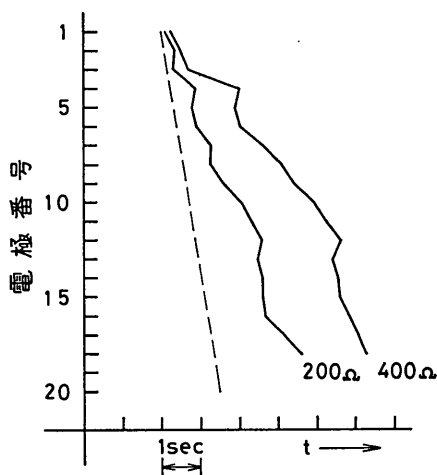


図-12 電極 off 状態検出の遅れ時間 (マット状態エアフィルタ付)

位の上昇が直接障害原因を生じていることはほとんどなく、たいていはその直前の水位下降時に生じた測定かん水切れの遅延の影響が障害原因となっている。したがって、障害の内容としては水位の下降時と同じとみることができる。

4. マイクロプロセッサ応用による性能の改良

4.1 測定信号処理方法

既往方式の測定障害原因とその内容からみて、検出部測定かんで得られた信号から正しい水面を求めるために

は水位測定の都度、電極の電気的性状を把握・判断し、その結果をもって測定信号を処理することにより電極の状態判別あるいはその後の信号変換方法を決めることが必要であると考えられる。しかしながら、このような観測現場でのリアルタイムな状態判断とそれに基づく測定方法の選択といった操作は複雑であり、加えて測定条件が幅広く変化することもある。これらの測定操作を従来一般に用いてきた電気回路機能のみで実現することは現実には困難であるといえる。そこで、対応手法として測定操作の一部をソフトウェア機能に置き換えた新しい信号処理方法を開発し、マイクロプロセッサを応用してこれを具体化した。

開発した信号処理方法では変動水位を短時間間隔でサンプリング測定する方法を採用している。測定は水面変動に対応して変化する電極の状態を各電極ごとに得られた電流情報を元にして論理情報に変換して記憶し、次に、記憶した状態情報をソフトウェア処理することにより妥当とみられる水面接水電極を判定し、水位信号に変換して出力するものである。この信号処理方法の基本的な考え方は次のとおりである。

電極水没時の on 電流は電極の状態により異なった値を示す。しかし、個々の電極については通常の観測時間内(沿岸波浪観測では20分間为标准)では略一定とみることができる。一方、測定かんの汚染時には電極水没時の on 電流と空中に露出した直後のリーク電流の差は小さい。しかし、前出の図-9(b),(c)にもみられるように、電極電流の大きさは測定かんの汚染が顕著な場合であっても、電極が水面を出入りしたときに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検知・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、この情報を判別操作することにより妥当とする水面を決定することができる。

すなわち、電極電流は電極が水位の上昇により空中状態から水中状態に移行したときには増大して変化し、水位が下降して水中状態から空中状態に移行したときには減少して変化する。また、継続して水中または空中にある電極にあっては原則として変化を生じない。ここで、測定のサンプリングごとに電流変化を示す電極の数はサンプリング間隔、電極走査速度、水位変動の振幅と速度などによって異なり、1個だけではなく複数個あるのが普通である。したがって、この複数電極の中から唯一の水面接水電極を判別する操作が必要となる。

この信号処理方法では、電流変化を生じた電極と水面

の関係を次のように判断して水面接水電極を決定している。すなわち、現象からみて水面の位置は、水位の上昇過程にあっては電流変化が生じた電極群中の最上方の電極とその一つ上の電極の間にあり、水位の下降過程にあっては電流変化が生じた電極群中の最下方の電極とその一つ下の電極の間にあるとみることができる。したがって、接水電極は水位が上昇しているときは電流変化のあった最上方の電極、水位が下降しているときは電流変化のあった最下方電極の一つ下の電極として求められる。

さて、ここで問題となるのは、電極電流の変化が水面の昇降に直接関係のない位置の電極にも生ずる場合があることである。その原因として次のようなことがあげられる。

- 1) 水面より上方の電極において、測定かんに付着した水が落下する水垂れ・水切れ現象あるいは飛沫の付着などによる電極リーク電流の変動。
- 2) 測定場所の水質変化、電極表面抵抗の変化、電気回路の特性変化などによる水中電極 on 電流の変動。
- 3) 電気回路・素子の破損、故障などによる電極回路の短絡または開放による回路電流の変化。

この信号処理方法では、このような原因によって生ずる不正な電極電流情報がレベル的にみて正規の電極電流との間に差があることに着目し、この差を考慮した判定レベルを設定して各電極ごとの電流の絶対値あるいはその時間変化量と比較、検証することによってこの影響を排除している。さらに、電極状態の継続性をも判断することによってこの影響を除去している。すなわち、既往方式のように電極電流の絶対値を調べるだけでなく、各電極ごとに電流値を時間的にサンプリングして記憶し、電流値の時間変化を調べることによって、また電極間インピーダンスの変動を考慮した on, off 電流判定レベルを自動設定することによって長期間にわたる自動測定においても正確な測定値を得ることを可能とした。

改良方式のステップ式波高においては、上述の測定操作を次のようにして行っている。

まず、測定かんの全電極 E_1, E_2, \dots, E_n を順次走査して各電極に電圧を印加して流れる電流を測定し、各電極ごとの測定値をデジタル値に変換してメモリに記憶する。この電流情報のサンプリング操作を水面変動の測定に必要な時間間隔で繰り返す。実験の結果から、サンプリング間隔を以後の信号変換・情報処理を含め 0.2 秒、電極 1 個当たりの走査時間を 200 μ s とすることで妥当な結果が得られている。

このようにして得られた電極電流測定値は次のようなデータ列として示すことができる。すなわち、時刻 $t_{i,j}$ においては

$$I_1(t_{1,j}), I_2(t_{2,j}), \dots, I_i(t_{i,j}), \dots, I_n(t_{n,j})$$

であり、時刻 $t_{i,j-1}$ においては

$$I_1(t_{1,j-1}), I_2(t_{2,j-1}), \dots, I_i(t_{i,j-1}), \dots, I_n(t_{n,j-1})$$

である。ここで、 $I_i(t_{i,j})$ と $I_i(t_{i,j-1})$ はそれぞれ時刻 $t_{i,j}$ と $t_{i,j-1}$ において電極 E_i に流れる電流を示す。i は電極番号を表し $i=1 \sim n$ である。また、j, j-1 は全電極についてのサンプリングの時点を示すものであり、全電極をサンプリングして得た最新のデータであるか、またはその直前のデータであるかを示す。つまり、 $t_{i,j}$ はサンプリングの時点により $t_{i,j-1}, t_{i,j}, t_{i,j+1}, t_{i,j+2}, \dots$ と移行する。しかし、この考案では常に j-1 と j の連続する 2 回のサンプリングによる電極電流情報のみを記憶するようにして、必要なメモリ容量が多くなるのを防いでいる。

次に、これらの記憶データに基づいて水位を決定するために以下に述べる演算を行う。

まず、各電極について式 (1) に示す計算を行って連続するサンプリング時点における電極電流の差を求め、その結果について式 (2) および (3) による判定を行う。

$$\Delta I_i = I_i(t_{i,j}) - I_i(t_{i,j-1}) \quad (1)$$

$$\Delta I_i \leq 0 \quad (2)$$

$$|\Delta I_i| > K_i \quad (3)$$

ここで、 K_i は電極電流の変化が水面の昇降によるものであるか否かを判定するためのスレシヨールドレベルを意味する定数である。

式 (1) および (2) は水面変動に対応した各電極の状態を電極ごとの電流データの時間変化とその増減極性から判定し、それにより水位の上昇、下降または変化なしの状態を一義的に判断して後続する演算の方法を選択するために用いる。つまり、式 (1) の計算結果を式 (2) で判定した結果が $\Delta I_i > 0$ であれば水位の上昇変化、 $\Delta I_i < 0$ であれば水位の下降変化、 $\Delta I_i = 0$ であれば当該電極は水面の昇降作用を受けていないものと判断する。

式 (3) は $\Delta I_i \neq 0$ である電極の電流データについて、さらにその変化の妥当性を検証するために用いる。前述したように電極電流の変化は測定場所の水質や水位検出系の電気特性など測定条件の変動によっても生じる。こ

ここでは、測定条件の変動による電極電流の時間変化が水面の昇降作用による電流変化に比べて変化が緩やかなため小さく、両者の間にかかなりの差がみられるところから、測定条件の変動を見込んで定数 K_1 を設定して式(3)による判定を行っている。その結果、条件が成立した電極を水面の昇降作用を受けている電極とし、それ以外の電極については空中または水中に継続して存在しているものと判断する。

式(1)～(3)の演算により電極電流の時間変化量 ΔI_i とその増減極性から水位の昇降状態とその影響を受けている電極を知ることができた。しかし、 $|\Delta I_i| > K_1$ であるような電極電流の変化は、連続するサンプリング時点において水面の昇降作用を直接受けていない水面より上方の電極にあっても、それ以前に測定かんに付着、滞留した水が落下する水垂れ現象、飛沫の付着などによっても起り得る。そこで、こうした不正な情報を排除するため式(3)の条件が成立した電極電流データについて ΔI_i の極性に於じて次の式(4)または式(5)の計算を行い、その結果について式(6)または式(7)の判定を行う。

$$I_{UP} = I_i(t_{i,j}) - I_{iw} \quad (4)$$

$$I_{DN} = I_i(t_{i,j-1}) - I_{iw} \quad (5)$$

$$|I_{UP}| < K_2 \quad (6)$$

$$|I_{DN}| < K_2 \quad (7)$$

ここで、 I_{iw} は各電極が水中状態にあるときに流れる電極電流の基準値を示すもので、前もって各電極に対応した記憶場所に当該電極水没時の電流を記憶しておく。なお、この値はあらかじめ適当な初期値を与えておき、当該電極が水没したときその電流値に書き換えて記憶するようになっている。 K_2 は当該電極が当該サンプリングまたはその直前のサンプリング時点に水中状態にあったのか、それとも空中状態にあったのかを電極電流データと I_{iw} の差から判定するためのスレッシュールドレベルを意味する定数である。

式(4)～(6)の演算は、式(3)の判定によって電極電流に変化がありとされた電極について、それが本当に水面の昇降作用を受けているものであるか否かを判定するために行う。具体的には式(2)の結果が $\Delta I_i > 0$ である電極すなわち水位の上昇を示す電極については式(4)、 $\Delta I_i < 0$ である電極すなわち水位の下降を示す電極については式(5)を用い、それぞれ当該サンプリングまたはその直前のサンプリングで得られた当該電極の電流データと

表-1 電極状態表現符号の説明

FF	当該電極が空中から水中に没した状態にあることを示す。すなわち、水面の上昇を表す。
OF	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。なお、水中継続であるか空中継続であるかの判定はプログラムの中で行っている。

水中電極電流基準値 I_{iw} の差を求め、その結果について式(6)または式(7)によって K_2 と比較する。つまり、 $\Delta I_i > 0$ の電極については当該サンプリング時に確かに空中状態にあったか否かを調べ、 $\Delta I_i < 0$ の電極については直前のサンプリング時点に確かに水中状態にあったか否かを調べることにより、言い換えれば、連続する2回のサンプリングデータから電極状態の継続性を判断することにより不正な電極電流情報を水位判定の対象から排除している。

以上の演算により得られた判定結果を各電極ごとの状態情報として表-1に示す区分に従って符号化し(16進表示)、所定の記憶エリアに記憶する。このメモリ内容は次のサンプリングによる測定操作の終了まで保持され、新たな電極状態情報に書き換えられる。このメモリ内容を連続した形で示すと図-13のように水面変動が符号情報の変動の形で表される。

次に、上記判定結果に基づいて作成した情報メモリの内容を測定かんの最下位電極より順次上方の電極に向かって調査し、OF または FF の情報をもった電極が現れるまで 00 の個数を計数する。そして、先に OF が出現した場合にはこれまで計数した 00 の個数を水中電極数とし、先に FF が出現した場合には次に 00 または OF のいずれかが現れるまで FF の個数を数え、先の 00 の個数にこの FF の個数を加えた個数をもって水中電極数とし、これを測定水位信号に変換して出力する。また、静穏等で電流変化を示す電極が得られない場合には前回のサンプリングで得られ水位データを継続出力する。

なお、上述の処理において、水中電極数の代わりに最初に現れた OF の電極番号から 1 を引いた電極番号、または継続した FF の次に現れた OF または 00 の番号か

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

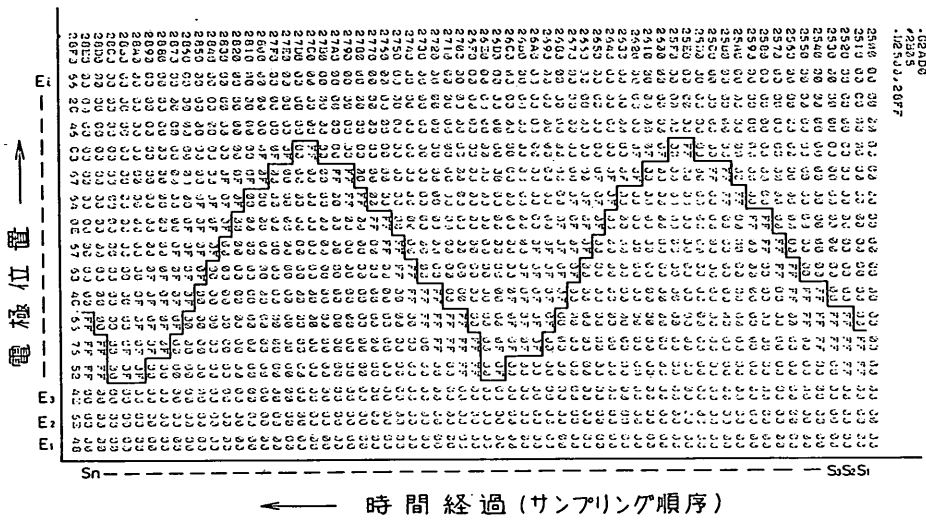


図-13 海面変動の電極状態符号による表現

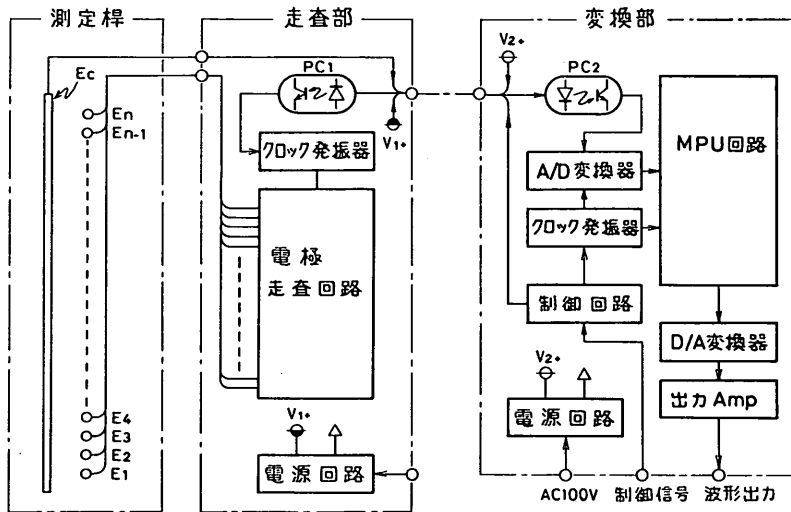


図-14 改良型波高計の回路構成

ら1を引いた電極番号に相当する値を水位として出力しても同様の結果が得られる。また、この信号処理方法は進行波の測定を対象としたものであり、越波の測定はできないものとなっている。

4.2 試作機の回路構成と機能

開発した信号処理方法に基づき、そのソフトウェアによる測定方法を実現するためマイクロプロセッサ組み込み応用によるステップ式波高計を試作した。その全体構

成を 図-14 に示す。

装置は測定かん、走査部および変換部で構成されており、走査部は使用場所の条件に応じて波高かんまたは変換部のいずれとも併置して使用できる。またそれぞれを離して置くこともできる。測定かんは既往方式の波高計のものがそのまま使用でき、最大 210 電極 (測定範囲 21 m) までのものが接続使用できる回路となっている。また、回路機能を一部付加することにより最大 105 電極

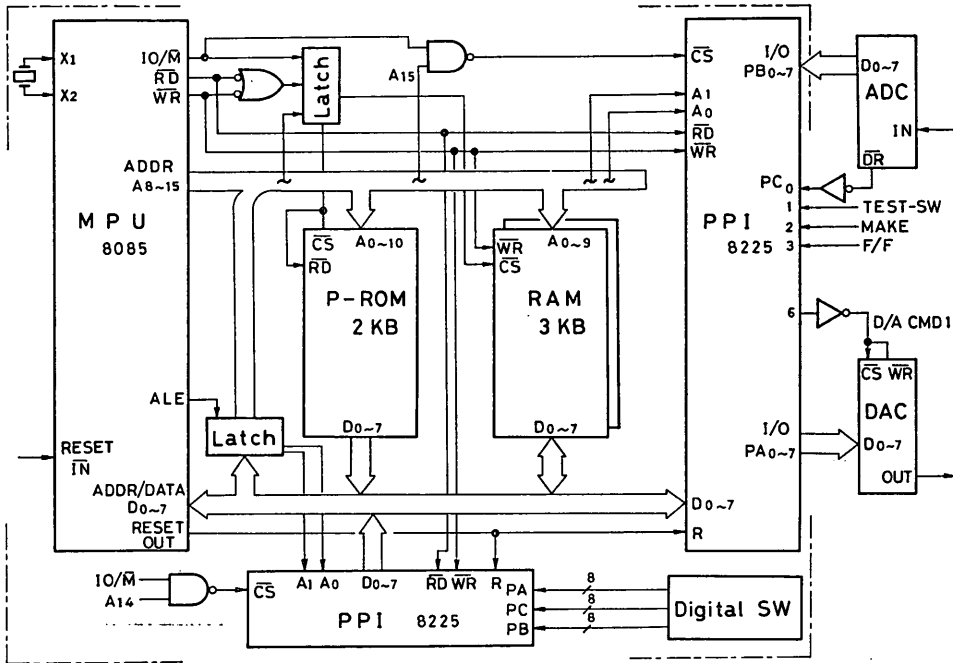


図-15 MPU 回路の構成

までの測定かんをもった2台の波高計として使用することも可能である。

走査部は測定かんの各電極回路に所定の電圧を順次印加するためのものであり、変換部からのスタート指令を受けて動作するクロック発振器、そのクロックパルスの下に各電極を走査して電圧を印加するデコーダ、カウンタおよびゲート IC で構成されている電極走査回路、電源回路などを含んでいる。ホトカプラ PC₁ は変換部の PC₂, PC₃ とともに走査部（測定かんを含む）と変換部の信号回路を電氣的に絶縁し、後述する2線式の双方向信号伝送系を構成している。

変換部は各電極の電流データを与えられたプログラムに従って演算処理し、水面電極を判定して水位データを出力するものである。変換部回路はソフトウェアによる演算処理を行う MPU (micro processing unit: マイクロコンピュータの CPU) 回路を中心に、各電極電流をデジタル値に変換する AD 変換器、MPU の演算出力をアナログ電圧に変換して記録計に出力する DA 変換器と出力増幅器、測定のための制御信号を発生する制御回路、クロック発振器等で構成している。

図-15 に MPU 回路の構成を示す。回路は 8 ビットの

MPU、2 KB の ROM (ロム: read only memory)、3 KB の RAM (ラム: random access memory)、周辺装置との入出力インターフェースである PPI (programmable peripheral interface)、アドレスおよび制御信号のラッチ回路、若干のゲート IC 等で構成している。これらはすべて 205×115 mm のプリント基板 1 枚に実装している。MPU 回路の基板を写真-3 に、変換部を写真-4 に示す。

MPU にはインテル社の 8085¹⁰⁾ を使用した。これは、これまで筆者等が海象観測機器へのマイクロプロセッサの応用 (DMT 記録装置¹¹⁾、有義波高演算装置^{12),13)}、自記波高計¹⁴⁾等) において 8080 系のプロセッサを使用してきたことから、ハードウェア、ソフトウェアに関する蓄積された技術が有効に活用できるという理由による。屋外観測計器への応用に当っては、低消費電力であることと動作温度範囲が広いことを特長とする CMOS 型 IC¹⁵⁾ の使用が有利といえる。試作機においても今後の応用を考慮して極力 CMOS 型の IC を使用した。しかし、これらのことは観測場所の条件や同時使用する装置の性能を含めて装置全体として考慮すべきことであり、一部回路について必要以上にこだわることは意味が

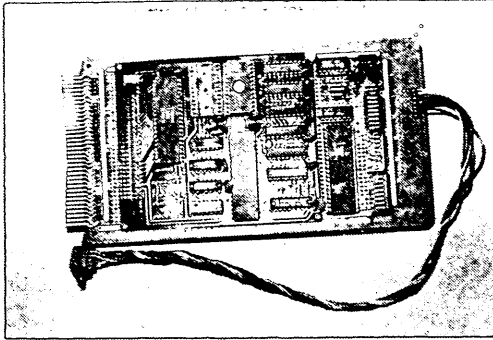


写真-3 MPU 回路基板

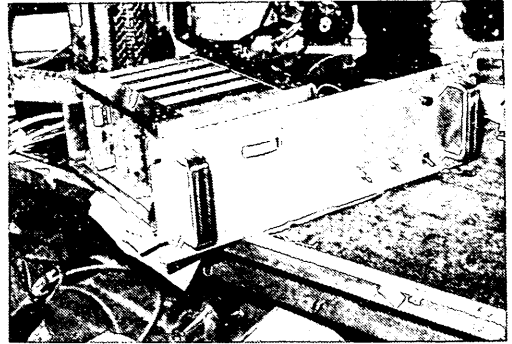


写真-4 変換部外観

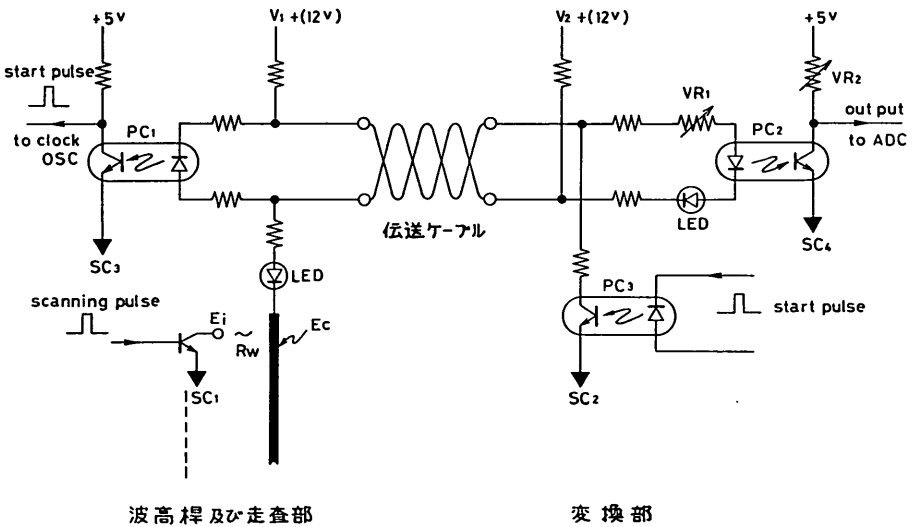


図-16 電極測定信号伝送回路の構成

ない。

測定かんおよび走査部と変換部間の信号伝送回路を図-16に示す。この回路は既往方式の4心観測ケーブルをそのまま活用することを考慮したものであり、2線式の双方向信号伝送系を構成している。信号の伝送は時分割方式で行われる。変換部から走査部へは電極走査のスタートパルス信号が伝送され、測定かんおよび走査部からは各電極の測定電流パルスが伝送される。

この伝送系による電極電流の測定動作は次のように行われる。まず、変換部制御回路からのスタートパルスはホットカプラ PC₃を駆動して出力側トランジスタをon状態にし、コレクタ電位を低下させる。この電位はフローティング電源 V₂によるものであり、これによって V₂+

から PC₁を通して SC₂に電流が流れ、PC₁を駆動してその出力側から走査部のクロック発振器にスタート信号が与えられる。このスタート信号により動作を開始するクロック発振器の制御の下に電極走査回路が作動し、デコーダにより電極 E₁, E₂, ..., E_nを順次選択して走査パルスを供給する。この走査パルスにより各電極に接続されたデコーダの出力トランジスタが導通し、電源 V₁+から PC₂、共通電極 E_c、電極 E_iを通して電極測定電流が流れる。この電流は PC₂を駆動してその出力側に伝達される。変換部ではこの電流を電圧に変換したのちAD変換器によりデジタル値に変換して記憶する。

試作波高計によるスタートパルスの発生からAD変換動作までの電極電流測定走査のタイミングチャートを

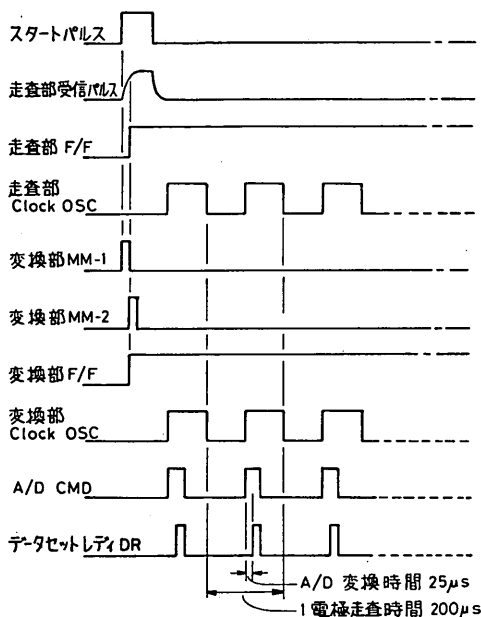


図-17 電極電流測定走査タイミング

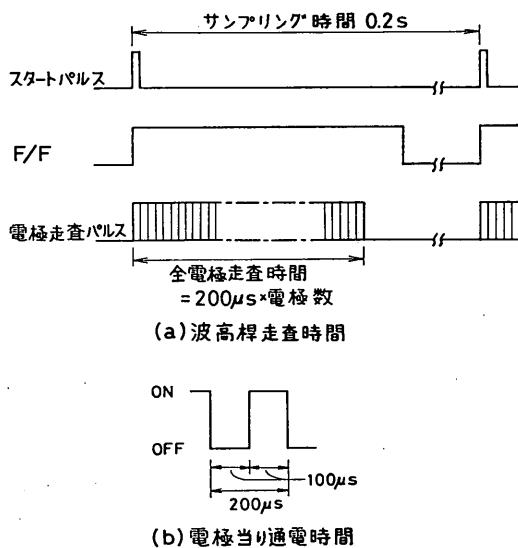


図-18 電極走査時間

図-17 に、電極走査時間の説明図を図-18 に示す。電極走査に要する時間は $200\mu\text{s} \times \text{電極数}$ となる。測定のサンプリング間隔は 0.2 秒となっているが、さらに高速にすることも可能である。

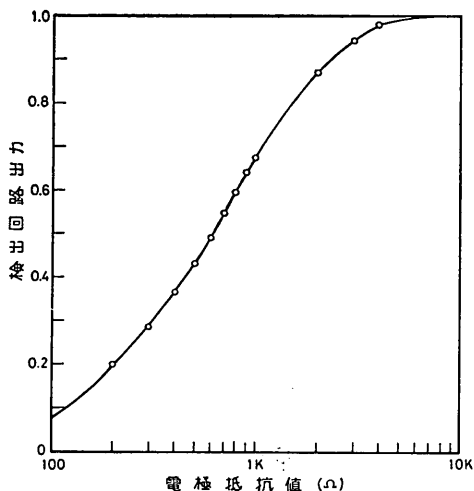


図-19 電極電流測定回路の直線性

表-2 消費電流の実測値

	12m 波高かん	7m 波高かん
走査部	5 V 500 mA 12 V max 6 mA mean 1.7 mA	5 V 280 mA 12 V max 6 mA mean 0.9 mA
変換部	5 V 220 mA +12 V 20 mA -12 V 20 mA	左 同

電極回路の電流は電極が空中状態にあるときにほぼ零で、電極と共通電極がショート状態のとき最大となる。試作機では最大電流が約 30 mA となるように調整しており、この 0~30 mA の電流を電圧に変換して 8 bit の AD 変換器に入力している。図-19 に伝送系を含めた電極測定回路の直線性を横軸に電極抵抗値、縦軸に AD 変換出力をとって示した。図示のように直線性は電極抵抗が大きいほど曲っているが、電極電流の測定は通常、AD 出力の中央値付近で行われ、また、電流の絶対値を測定するものではないので特に問題はない。

試作機の消費電力は、測定方式の関係で負荷状態が一定していないため正確に把握することは難しいが、各回路の動作電流の実測値は概略表-2 に示す値となっている。

4.3 プログラムの構成

プログラムの全体構成を図-20 に示す。プログラムは

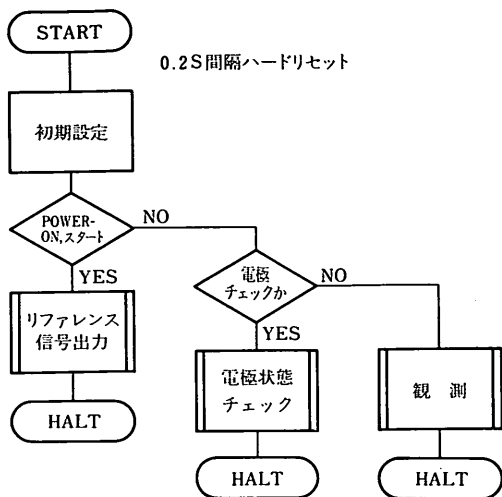


図-20 プログラムの全体構成

波高計の本来機能である水位測定のための観測ルーチンと、自動観測のための付帯的なものであるリファレンス信号出力ルーチンおよび電極状態チェックルーチンで構成している。プログラムはファームウェア化されており、一部の定数（前出式(3)の K_1 、式(6)および(7)の K_2 、式(4)および(5)に示す I_w の初期設定値等）はI/Oポートに接続されたデジタルスイッチで設定するようになっている。また、雑音等によるソフトウェアの暴走を防ぐため、サンプリング測定終了の都度（0.2秒ごと）MPUにハードリセットをかけてプログラムの0番地からスタートする方法を採用している。

リファレンス信号出力ルーチンの流れを図-21に示す。このプログラムは出力回路に波高計の測定範囲に相当する振幅信号を出力するもので、記録スケールの確認、出力回路のチェック、観測記録の区切りマークなどに使用している。また、この動作は各観測の開始時に電源の投入同期して1回だけ行われる。また、図-22に示す電極状態チェックルーチンは電極の汚染状態を知るためのものであって、各電極の電流値が前出の図-6と同様な記録形式で出力される。この動作は手動スイッチ操作により開始する。

図-23は水位測定の概略を示す流れ図である。このプログラムの最初では各メモリアドレスレジスタの設定、諸定数の設定など総合的なイニシャライズが行われる。なお、RAMのクリアなど一部のイニシャライズはリファレンス信号出力ルーチンで行われている。次のループ

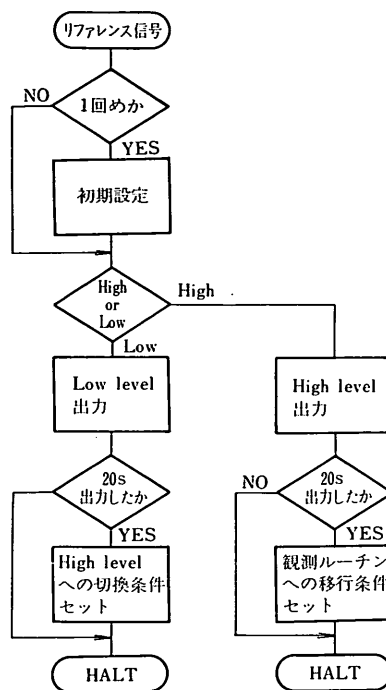


図-21 リファレンス信号出力ルーチンの流れ

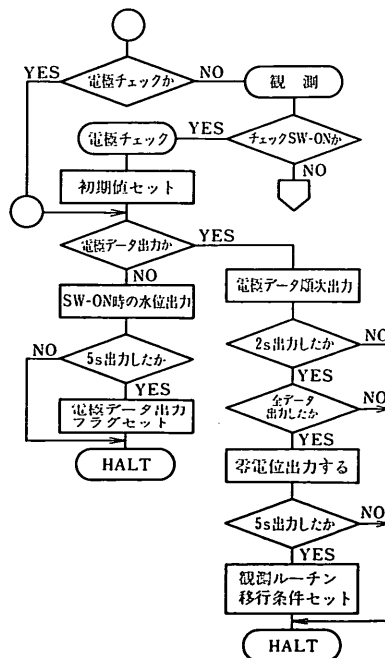


図-22 電極状態チェックルーチンの流れ

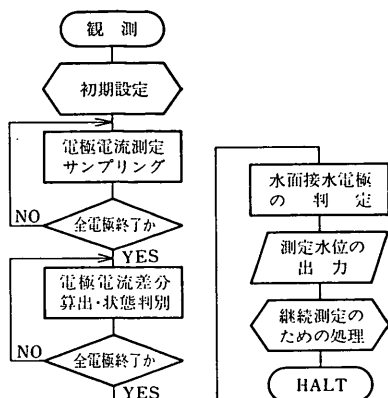


図-23 水位測定の概略の流れ (観測ルーチン)

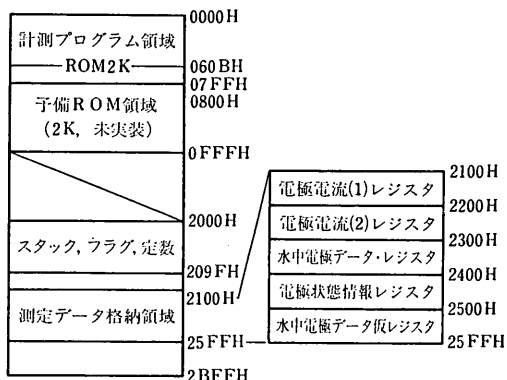


図-24 メモリマップ

は電極を走査して電極電流を測定し、所定のRAMエリアに記憶するプログラムである。引き続きループは記憶された電極電流データを用いて電極の状態判別を行い、状態符号を求めて所定のRAMエリアに記録するプログラムである。その次の部分は、電極状態符号を調べて接水電極を判定し、測定波形に変換して出力するもので、最後に継続測定のための定数等の変更、メモリ書き込み内容の移動等を行って待機状態に入る。

図-24 は試作機のメモリ使用領域を示すメモリマップである。メモリ番地は4桁の16進数で表示し、記号Hを付して表記している。計測プログラムはROMの0000Hから060BHに、2000Hから始まるRAM領域の最初から209FHまではスタック、フラグ、定数等に使用している。RAMの2100H~25FFHまでは256Byteごとに区分した5組のデータ置数レジスタとなっており、当該サンプリングによる電極電流データを格納する電

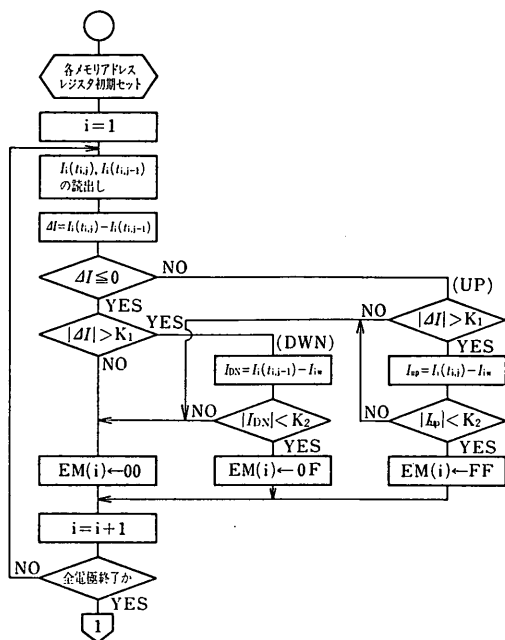


図-25 電極電流差分検出・状態判別プログラム

極電流 (1) レジスタ、1 回前のサンプリングによる同様のデータを格納する電極電流 (2) レジスタ、水中電極電流の基準値 I_{w0} を格納する水中電極データレジスタ、各電極の状態符号を格納する電極状態情報レジスタ、 I_{w0} の更新時に使用する仮レジスタとなっている。

図-25 および 図-26 は一連のプログラムで、図-23 の水位測定の流れに示す 2 番目のループ以降の内容を表している。図-25 が全電極の状態判定を示すプログラム、図-26 が接水電極の判定以降を示すプログラムである。

このプログラムによる電極電流測定信号の処理方法の基本については 4.1 で述べた。図-25 はそこで示した式 (1) から式 (7) までの演算を行って各電極に状態別の符号をつけるプログラムである。まず、最初に各メモリアドレスレジスタの初期設定をし、電極データ (1) および (2) レジスタよりデータを読み出して式 (1) から式 (3) までの演算を行う。その結果について不正な電極電流情報を排除するため式 (4) から式 (7) までの演算を行い、表-1 に従って電極状態符号をレジスタ $EM(i)$ に格納する。この操作を全電極について行う。

図-26 は上述のプログラムの実行に作成した $EM(i)$ の内容を最下方の電極から上方に向って順次調べ、その過程で一応水位となり得る 0F または FF の状態情報を

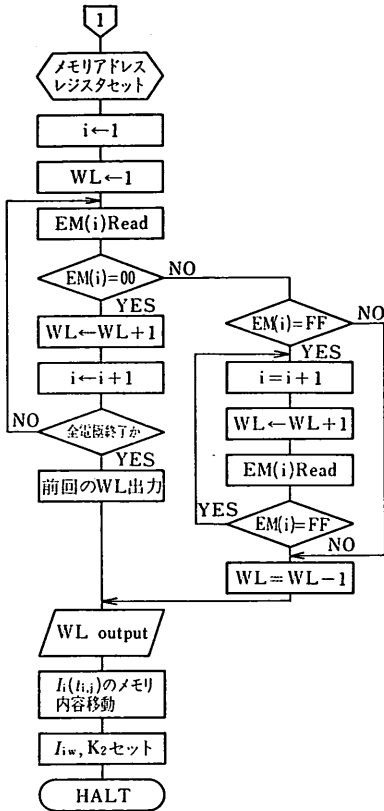


図-26 水面接水電極判定・水位出力プログラム

見つけた場合には、4.1 で述べた方法により接水電極を判定してそれまでに現れた電極の個数を測定水位として出力している。ここでは、引き続いて次のサンプリングに備えて電極電流データレジスタのメモリ内容の移動、 I_w の再設定などを行って待機状態に入る。

5. 改良の効果

改良方式の性能については、実験室および現地において予想される障害状態を再現して在来方式との比較により試験を行った。その結果、汚染による電極表面抵抗の増大・変動、測定かん水切れの遅延あるいは水垂れ現象などによる測定障害に対し、これを防除する機能を有しており、沿岸波浪の定常観測用の波高計として十分な性能のものであることを確認した。

また、日本海阿賀沖、水深 -80 m に設置された石油掘削用バースにおいて行った長期観測試験の結果も良好であり、測定かんを無清掃のまま使用して測定可能な期

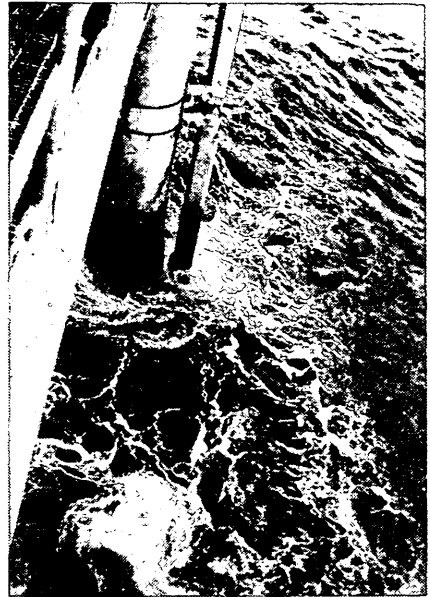


写真-5 測定かんの汚染状態（清掃後約9か月経過時）

間は、当初目標とした6か月間を大きく超えてほぼ1年間であることを確認した（昭和56年9月～57年10月）。写真-5 は清掃後約4か月を経過した時期の測定かんの汚染状態を示すもので、水面付近の電極は海藻等に覆われている。この状態で行った在来方式（パルス計数型）と改良方式による比較観測試験で取得した波形記録の一例を図-27に示す。同一の測定かんを切り換え使用して測定を行っているため、両方式間の記録時間に約30分間のずれがある。しかし、記録波形から見て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いう結果が得られている。

写真-6(a), (b) は、上記の測定かんについて、清掃後1年を経過した時期での汚染状態を示すものである。写真-5 の状態に比べて汚染は一段と進んでおり、とくに海面付近では電極の存在が判別しがたい状態になっている。図-28に示す波形は、この状態で取得した改良型波高計による測定記録である。この記録は4.1の式(3)に示す K_1 の値をいろいろと変えて測定したもので、図中に示す bit 数が電極電流を AD 変換したデジタル値に対応した K_1 の値である。電極電流は 1 dig. 当り平均的に約 0.5 mA 程度である。

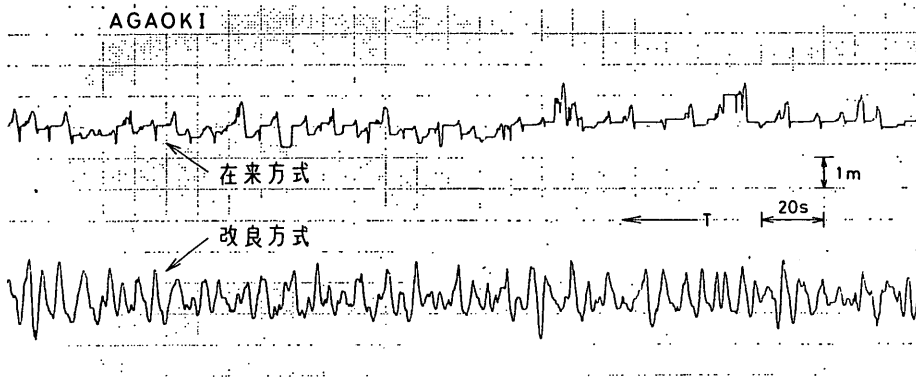


図-27 在来方式と改良方式による比較観測記録の一例

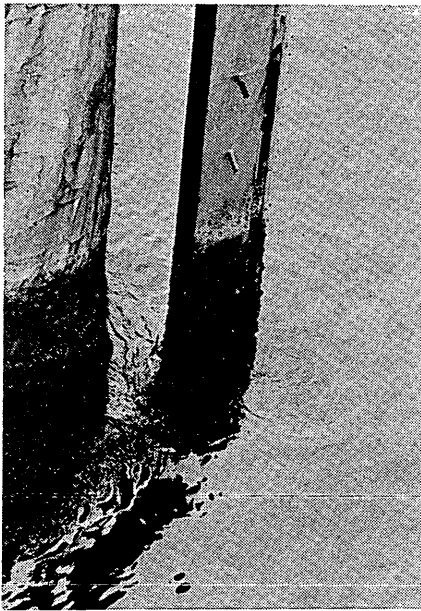


写真-6 (a) 測定かんの汚染状態 (清掃後約1か月経過時)

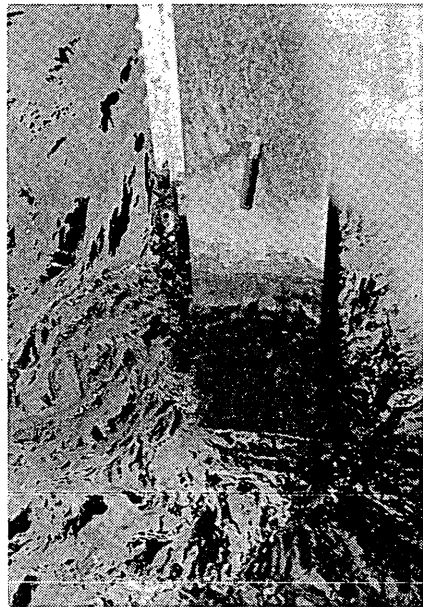


写真-6 (b) 測定かんの汚染状態 (清掃後約1か月経過時)

K_1 の値はこの観測試験の初めには 5 bit に設定した。図-27 の記録はこの設定による。しかし、図-28 にみられるように汚染が進んだ状態では 5 bit では正確に海面を捉えていないようであり、 K_1 は 3~4 bit が妥当であるといえる。 K_1 が 1 bit では当然のことながらハンチング現象が生じている。しかし、2 bit ではその傾向がないことから判断して、改良方式の回路は十分安定したものであるといえる。なお、式(6)の K_2 は 20 bit 一定で設

定してあり、特に問題は生じていない。

6. あとがき

これまで述べたように、従来から用いられてきたハードウェアの方法にマイクロプロセッサ応用によるソフトウェア測定手法を組み込むことにより、ステップ式波高計の測定性能を大幅に向上することができた。開発した波高計は測定かんの強度の汚染に対して十分な測定性能

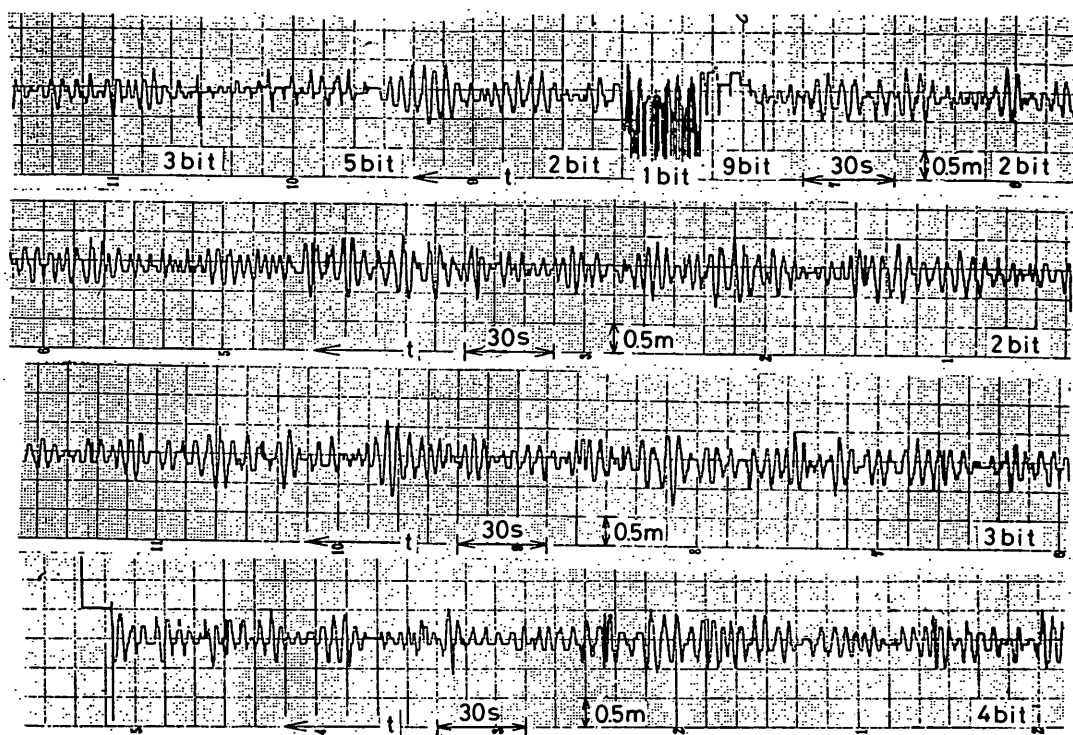


図-28 改良方式による観測記録

を有し、測定かんを無清掃で使用可能な期間もほぼ1か年間であることから、これまで沿岸波浪の定常観測で問題とされてきた測定かん清掃作業の大幅な削減ができ、実用上その効用は大きいものと思われる。また、波高の測定精度は原理的に電極の間隔によって決まり、基本的には在来のものと同じであるけれども、水面電極の検出・判定が時間遅れなく安定・確実に行われ、波形ひずみや誤測等を生ずる要素も少ないことなど実用性能は格段に向上されたものとなっている。

この報告で示した現地観測にかかわる測定障害内容の調査および改良性能の検証のほとんどは、本文中でも述べたように日本海阿賀沖で行ったものである。したがって、測定かんの汚染内容や進行状況あるいは測定かんの無清掃使用可能な期間などについては場所によって多少異なったものとなると考えられる。本機の使用に際しては、これらのこと十分考慮して観測に当たっていただきたい。

なお、今後さらに改良あるいは検討すべきと思われる事項は次のとおりである。

- (1) 進行波のほか越波、跳波等の観測機能を加える。
 - (2) テレメータ用として消費電力の低減とくに走査部について検討改良する。
 - (3) 測定かんの構造あるいは測定かんの各種汚染状態の下での電極 off 抵抗の回復時間と適切なサンプリング間隔の関係を検討し、性能の向上をはかる。
 - (4) 実験用あるいは可搬型の高分解能波高計への応用を図る。
 - (5) ソフトウェア処理のための電極電流データの適否判定条件 K_1 , K_2 等の自動設定機能を付加する。
- マイクロプロセッサの観測計器への導入については、測器の機能・性能のほか測定方法、観測条件等を含め技術的に種々検討しなければならない問題がある。しかし、従来の電気回路機能あるいは機構的なものでは実現が困難であった知的測定操作の一部あるいはその大半をソフトウェアで実現できることは、測器の開発・改良に際して新たな手段と機能の具体化を可能とし、技術的にはも

もちろん、経済的にも相当の効果を期待し得るものといえる。

この研究を始めた直接の動機は、運輸省第一港湾建局から要請のあった阿賀沖ステップ式波高計の測定障害原因の究明と対策手法の検討であった。ここでは本報告で述べた以外の波高計の性能には直接関係のない障害もあったが、一応そのすべてを解決することができた。阿賀沖における障害原因の調査および観測試験の実施に際しては新潟調査設計事務所ならびに日本海洋石油資源開発(株)の関係各位に多大の協力を載いた。ここに記して深く感謝の意を表します。また、実験および資料の整理に際しては海象観測研究室立花祐二技官の協力を得た。

なお、ステップ式波高計の開発は当所と協和商工(株)の共同研究“ステップ式波高計の開発に関する研究”として実施したものである。研究の分担は、測定障害原因の調査は共同で実施し、ソフトウェアを主体とした改善手法については両者がそれぞれ行った結果について共同で検討した。また、改良手法と試作機に関する実用性能の評価は主として当所が担当し、回路およびプログラムの設計・製作は主として共同研究の相手方である協和商工(株)が実施した。

(特許出願中)

(1983年6月30日受付)

参 考 文 献

1) Caldwell, J. M.: An ocean wave measuring instrument, *Tech. Memorandum*, No. 6, Crops of

Eng., 1948
 2) 井島武士, 高橋智晴, 中村憲一: 小名浜港における波浪の種々の観測, 運輸技術研究所報告, Vol. 7, No. 12, 1957年
 3) Russell, T. L.: A Step-type recording wave gage, Conf. on Ocean Wave Spectra, 1961
 4) 村木義雄, 石田直之, 高島和夫: リレーを用いたステップ式波高計と観測塔, 第11回海岸工学講演会講演集, 1964年
 5) 高島和夫: パルス型ステップ式波高計, 第21回北海道局技術研究発表会論文集, 1978年
 6) 協和商工(株): パルス式波高計取扱説明書
 7) 高橋智晴, 佐々木 弘, 清水康男: 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, 第29回海岸工学講演会論文集, 1982年
 8) 高島和夫: マイクロコンピュータ組込みによるステップ式波高計の改良, 北海道開発局土木試験所月報, 第341号, 1981年
 9) 高橋智晴, 菅原一晃, 広瀬宗一: 沿岸波浪観測施設台帳, 港湾技研資料 No. 418, 1982年
 10) intel: マイクロコンピュータユーザーズ・マニュアル MCS-85, インテルジャパン(株), 1977年
 11) 広瀬宗一, 佐々木 弘, 高橋智晴: 波浪観測データの集中処理システムについて, 港湾技研資料 No. 400, 1981年
 12) 高橋智晴: 沿岸波浪の調査とその動向, 昭和53年度港湾技術研究所講演会講演集, 1978年
 13) 協和商工(株): 波高演算処理装置取扱説明書
 14) 協和商工(株): 磁気記録式波高計取扱説明書
 15) Motorola Semiconductor Products inc.: CMOS, モトローラセミコンダクターズ・ジャパン(株), 1978年