

# 港 湾 技 研 資 料



TECHNICAL NOTE OF  
PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 32 June, 1967

- 衝撃碎波圧に関する一実験…………… 合田良実・原中祐人
- デジタル波高計の試作について…………… 原中祐人・鐘水幸雄
- 名古屋港における波浪観測…………… 川上善久・広本文泰  
—容量型波高計の現地への適用— 阿部淑輝・須藤 茂
- 鉛直振動流型造波装置の設計と  
その造波特性について…………… 広本文泰・阿部淑輝・  
須藤 茂

昭和 42 年 6 月

運輸省港湾技術研究所



# 総 目 次

衝撃砕波圧に関する一実験 .....	合田良実・原中祐人.....	1
デジタル波高計の試作について .....	原中祐人・鎌水幸雄.....	19
名古屋港における波浪観測 .....	川上善久 広本文泰 .....	55
—容量型波高計の現地への適用—	阿部淑輝 須藤 茂 .....	
鉛直振動流型造波装置の設計とその造波特性について .....	..... 広本文泰・阿部淑輝 .....	83
	..... 須藤 茂 .....	

# 名古屋港における波浪観測 —容量型波高計の現地への適用—

## 目 次

### 概 要

1. は し が き .....	57
2. 容量型波高計について .....	57
2-1 容量型波高計の原理 .....	57
2-2 容量型波高計の構成 .....	58
2-3 容量型波高計の特性 .....	59
2-3-1 測定原理から見た特性の考察 .....	59
2-3-2 特性試験 .....	60
3. 名古屋港に設置した容量型波浪観測装置 .....	65
3-1 設置の目的 .....	65
3-2 容量型波浪観測装置 .....	67
3-2-1 各観測装置の概要 .....	67
3-2-2 波高計検出ヘッド .....	71
3-2-3 潮位補償 .....	75
3-2-4 波高計自動動作設定回路 .....	75
3-2-5 記録動作 .....	76
3-2-6 観測例 .....	78
4. 結 び .....	80

## WAVE OBSERVATION AT THE PORT OF NAGOYA

.....The Application of Wave Meters of Capacitance-type to the Coasts.....

**Yoshihisa Kawakami\***

**Fumiyasu Hiromoto\*\***

**Yoshiki Abe\*\***

**Shigeru Sudo\*\***

### Synopsis

The accurate measurement of the surface fluctuation of sea waves is not only indispensable with a view to make clear the wave properties in the coasts, but also very important to solve the various kinds of practical problems relating to coasts and harbours. As an effective means for that purpose, a wave meter of capacitance-type for field observation has been constructed and several tests have been made for the best probe available. In view of the results so far achieved, it has been proved that the wave meter of capacitance-type has the sufficient linearity, accuracy, dynamic response and stability for the reliable measurement of surface profiles.

In this report, the results of the tests on the properties of various probes are discussed, and subsequently, the outline of the three wave observation equipments of capacitance-type installed at the Port of Nagoya are described.

---

\* Chief of Wave Laboratory, Hydraulics Division

\*\* Member of Wave Laboratory, Hydraulics Division

# 名古屋港における波浪観測

## —容量型波高計の現地への適用—

川 上 善 久\*  
 広 本 文 泰\*\*  
 阿 部 淑 輝\*\*  
 須 藤 茂\*\*

### 1. は し が き

港湾を造り、海岸を護るためには、波浪について十分な知識、資料と認識が必要である。

近年、各種の波高計が開発せられ、実際の海の波が記録されるに及んで、海の波の性質は急速に解明され、海岸工学の発展に重要な役割を果すに至った。また一方海岸工学、とくに波浪部門の学問的、技術的な発展はより正確な、より高性能な波浪測定器械の開発を必要とするに至った。つまり計測器の開発が学問の急速な発展を促し、学問の進展がより高度な計測器の開発を強く要請するに至った。

筆者らは、学問的な分野における自らの知識、認識の不足を恐れるものであるが、なおかつ、海の波を知り、その知識をより高度に港湾工学に反映させるためには、より高性能な波高計の開発と、それによる海の波の観測（忠実な記録の取得）こそ最良、最適の手段であると確信するものである。

筆者らは、このような観点から、容量型波高計を選択し、これを野外観測用として開発するに至った。

この報告書は、容量型波高計の特性に関するこれまでの検討結果と、名古屋港内に設置した容量型波浪観測装置の概要とを報告するものである。

### 2. 容量型波高計について

#### 2-1 容量型波高計の原理

水面付近に鉛直に設置した長尺のコンデンサー

\* 水工部 波浪研究室長

\*\* 水工部 波浪研究室

の電気容量は、水面の昇降にともなって変化する。容量型波高計の測定原理は、このような長尺のコンデンサーを検出器として用い、その電気容量の変化を電圧の変化に変換してとり出し、計測するものである。

検出器の原理的な構造は図-1のとおりである。

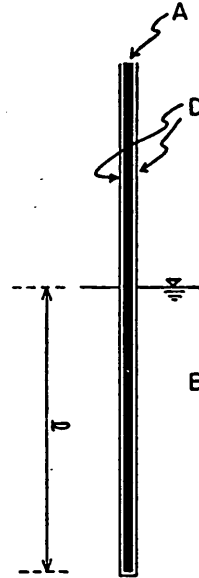


図-1

すなわち金属導体Aを電気の絶縁体Dで被覆したコンデンサーが導体B、たとえば海水中に挿入されている。水面下の導体Aと絶縁体Dとの接触している部分の面積をSとすれば、その間の電気容量Cは、次式で表わされる。

$$C = k \cdot \frac{S}{t} \epsilon$$

ここに

$k$  : 比例定数  
 $t$  : A B 間の距離  
 $\epsilon$  : 絶縁体Dの誘電率

いま長さ方向の構造が同一であると仮定すると  
 $S \propto \ell$ ,  $t = \text{const}$   
 であるから

$$C = k' \frac{\ell}{t} \epsilon \propto \ell, \quad k' : \text{比例定数}$$

すなわち電気容量  $C$  は、下端よりの長さ  $\ell$  に正比例する。

この電気容量  $C$  の変化を電圧の変化として取り出すためには 図-2 のような電気回路を用いる。

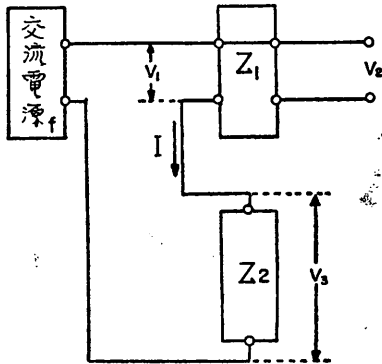


図-2

$Z_1, Z_2$  を回路のインピーダンス、 $V_1, V_2, V_3$  をそれぞれ図示されている部分の電圧、 $I$  を交流電源から  $Z_1, Z_2$  を通って流れる電流とすると、次式が成り立つ。

$$V_1 = IZ_1 \quad (1)$$

$$V_2 = KV_1 \quad K : \text{比例定数} \quad (2)$$

$$V_3 = IZ_2 \quad (3)$$

いま、 $Z_2$  を変化させたとき、なんらかの方法によって交流電源の電圧を変化させて

$$V_3 = IZ_2 = \text{const}$$

の関係を成り立たせたとすると、

$$I = \frac{V_3}{Z_2}$$

であるから、(1), (2) から

$$V_2 = K \frac{Z_1}{Z_2} V_3 \quad (4)$$

となる。 $Z_2$  のインピーダンスが、電気容量  $C$  をもったコンデンサーであるとするれば

$$Z_2 = \frac{1}{2\pi f C}$$

ここに  $f$  : 電源の周波数

したがって (4) 式は

$$V_2 = KZ_1 V_3 \cdot 2\pi f C$$

である。 $C$  以外のファクターはすべて一定であるから、

$$V_2 = K' C \quad \text{ただし} \quad K' = KZ_1 V_3 \cdot 2\pi f$$

となって、回路の出力  $V_2$  はコンデンサーの電気容量  $C$  の変化に正比例する。

### 2-2 容量型波高計の構成

われわれが使用した波高計、VM-104 型の構成を 図-3 にブロックダイアグラムで示す。その概要は次のとおりである。

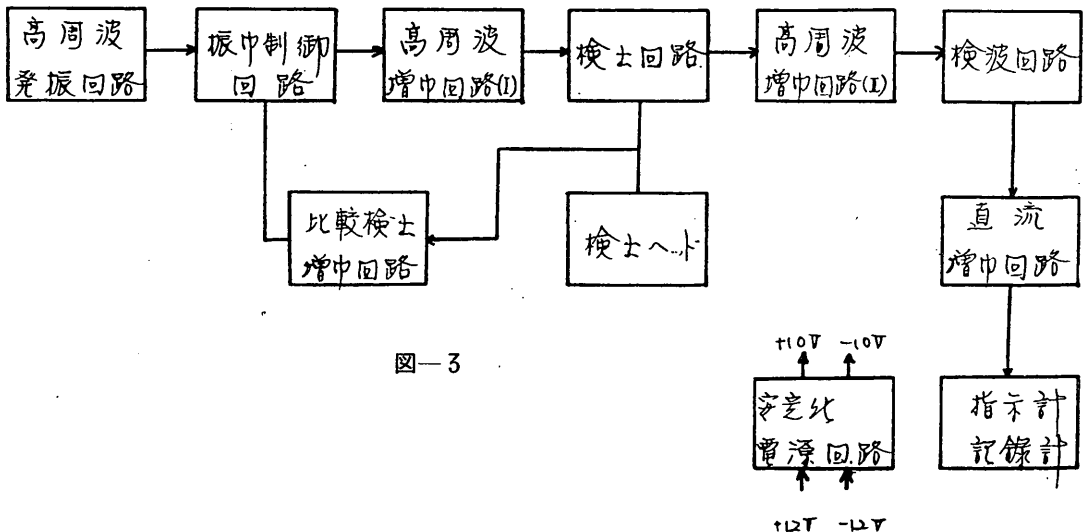


図-3

### (a) 検出ヘッド

原理的には、鉛直な長尺のコンデンサーを形成し、水面の昇降を電気容量 $C$ の変化に変換する部分である。

### (b) 高周波発振回路

この波高計では、検出ヘッドの $C$ の変化を電気量の変化として取り出し、これに回路的な操作を加える際の電氣的搬送波として、 $100\text{K}\%$ の高周波信号を使用しているが、これはその高周波信号の発振回路である。水晶発振子を用いて安定な発振をさせている。

### (c) 振幅制御回路

比較検出増幅回路からの信号によって発振回路からの搬送波の振幅を制御して、測定原理の項で述べた、 $V_3 = \text{一定}$ （つまり検出ヘッドにかかる電圧を常に一定にさせること）の関係を成立させている回路である

### (d) 高周波増幅回路 (I)(II)

それぞれ必要かつ十分な量にまで信号を増幅する部分である。

### (e) 検出回路

$V_3 = \text{一定}$ の動作をさせるために必要な信号を検出するとともに、 $C$ に比例した信号電圧を出力としてつぎの回路に送り出す部分である。

### (f) 比較検出増幅回路

$V_3 = \text{一定}$ の関係を成立させるために必要な制御用信号を作る回路で、検出回路からの信号をある基準電圧と比較させて、常にその差が一定となるように動作させている。いいかえれば、振幅制御回路→高周波増幅回路(I)→検出回路→比較検出増幅回路→振幅制御回路のループからなる負帰還回路を形成して  $V_3 = \text{一定}$ となるようにするものである。

### (g) 検波回路

電気容量 $C$ の変化は  $100\text{K}\%$  の搬送波に乗せられているから、このままでは使えない。そこで、この検波回路を通して搬送波を取り除き  $C$ による変化分のみの信号に変えている。

### (h) 直流増幅回路

指示計または記録計が必要とする水準まで電圧および電流を増幅する回路。

### (i) 安定化電源回路

これがないときは、負荷の変動や電源電圧の変化などに基因して測定値に誤差が生ずる。このようなことを防止するために使用電源を安定化させる回路であって±の2種類が必要である。

## 2-3 容量型波高計の特性

### 2-3-1 測定原理から見た特性の考察

測定原理から見た容量型波高計の特性は次の通りであると考えられる。

#### (a) 直線性

直線性を決定する主要な要素は、

i) 検出ヘッドの機械的精度 ( $C \propto l$ の精度をどの程度まで確保できるか)。

ii) 比較検出動作の精度 ( $V_3 = \text{一定}$ の精度をどの程度まで保証しうるか)。

iii) 検波および直流増幅回路の直線性である。このほか付随的なものとしては、

iv) 指示計または記録計の直線性などが考えられる。(i)にくらべ(ii) (iii) (iv)は少なくとも10倍以上の精度があると考えられるから、この波高計の直線性は、検出ヘッドの機械精度によって、ほぼ決定されるということが出来る。

#### (b) 精度

測定分解能は検出ヘッドの構造、材質、水質、ヘッド面の汚染度などに影響され、複雑である。測定分解能は、概してヘッド径が小さいほど、水の粘性が小さいほど（海水より真水の方がよい）また水質ヘッド面が清浄であるほど、測定精度が高いと考えられる。実際には、この他指示計または記録計の読取精度が関係する。

#### (c) 応答度

動的な応答度を決定する要因としては、(b)にのべた精度決定の諸要因のほか、電気回路上の特性をあげることが出来る。前者のうち、とくにヘッドの径、水の性質、ヘッド面の汚染度が応答度に及ぼす影響は大きいと考えられる。後者については、検波部以降の回路が応答度に関係し、とくに検波回路と指示計または記録計の応答特性が深く関係する。本波高計では検波回路および直流増幅回路の応答周波数を  $200\text{C}/\text{s}$ 以上にしてある。

#### (d) 安定性

安定性については、次の2点を考察する必要がある

i) 短時間の安定性……………ドリフト

ii) 長時間の安定性……………経年変化

i) については十分な負帰還回路を使用することにより、その変動を測定精度にくらべて十分小さくできるはずである。ii) については、①電気回路上では各回路ともトランジスターを使用しており、かつ十分な負帰還回路が組込まれているから、かなりの安定度が期待できるはずであって、②むしろ、ヘッドの汚染などがii) に関して決定的な影響をおよぼすであろう。

### 2-3-2 特性試験

前項で考察したように、容量型波高計の特性はほとんど検出ヘッドの形状寸法、構造、材質および機械的精度に支配されるものと考えられる。そこで、われわれは、試験用の種々の検出ヘッド（いずれも長さ2m）を作製し、それぞれについて特性試験を行つてその優劣を比較した。

試験用に作製したヘッドの概要は表-1に示すとおりである。

表-1

被覆材の材質	外径 $m/m$	金属導体	波高計
① ヒシチューブ	$\phi$ 6.8	丸 鋼	VM-104型
② エポキシ	$\phi$ 37	鋼 管	VM-104型
③ エポキシ	$\phi$ 7.5	鋼 管	VM-104型
④ テフロン		wire	WH-3B型
⑤ ポリ塩化ビニール	$\phi$ 2.8	wire (硬銅線)	VM-104型

図-4~8は、海水および水道水の中でこれらの試験用ヘッドの直線性をテストした結果である。

これらの図の横軸はヘッド下端から水面までの距離、縦軸は指示計の目盛である。図中の○は水面を上昇させていったときの値、●は逆に水面を下降させていったときの読取値である。これらの結果を比較してみると、被覆材の材質による差異は、テフロンを除けば、ほとんどないようである。テフロンは、金属導体と密着しないから導体とテフロンとの間に不均一な空隙が

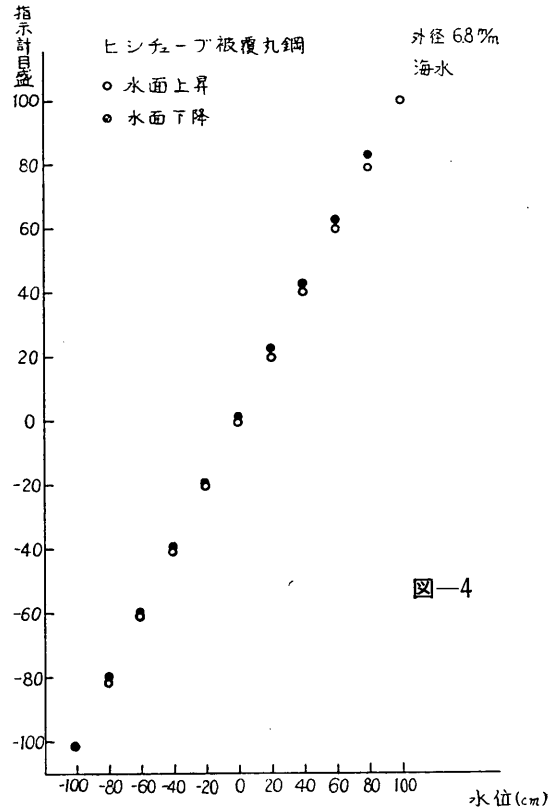


図-4

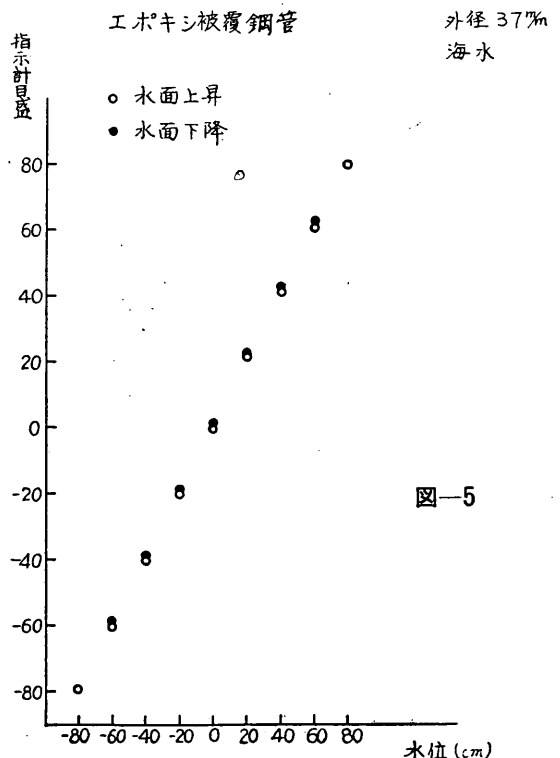


図-5



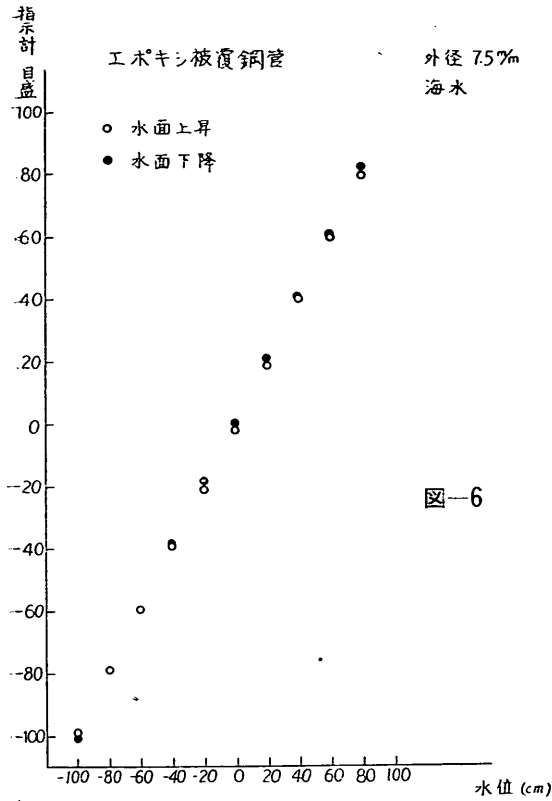


図-6

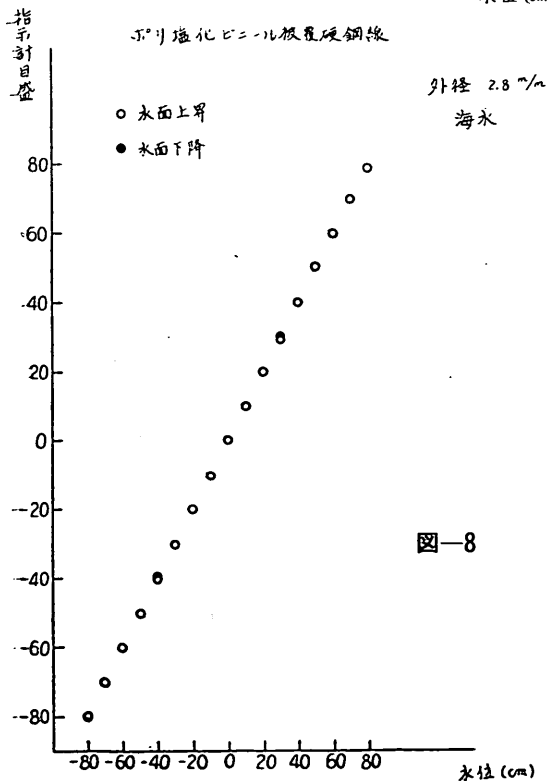


図-8

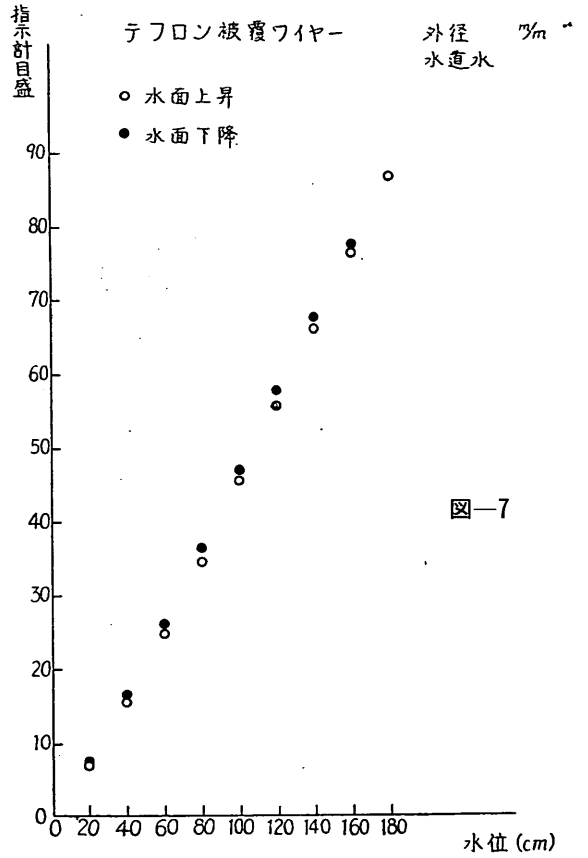


図-7

生じ、そのために直線性が悪くなるものと思われる。

図-4はヒシチューブの外面に撥水を促すため粘性の小さな機械油を塗ったときのデータであってかなり良い結果がでている。しかし油をぬらない状態で試験をしたときには、水位が同一であっても水面を下降させていったときの出力が、水面を上昇させていったときの出力よりいくらか大きくなり、(一致するまでに数十秒を要し)かなりのヒシテレスが認められた。これはヒシチューブが水になじみやすく、水切れが悪いことが主な原因であると思われる。ヒシチューブは、また強さに欠け、わずかの打撃で傷つき、これが導通の原因となるので、現地用としては適当でない。エポキシ、ポリ塩化ビニルの場合は、図-5, 6, 8 に示すとおりかなり良い直線性が認められ、とくに硬鋼線をポリ塩化ビニルで被覆した場合は、直線性につい

ても、ヒステレシスについても最もよい結果が得られた。ポリ塩化ビニールのヒステレシスについては、外径をきめて小さく ( $\phi 2.8\text{mm}$ ) したために、水切れがよくなり好結果が得られたものと考えられる。事実同じエポキシの場合でも外径の小さい方がヒステレシスはいくらか小さくなっており、また室内実験用として製作した  $\phi 0.7\text{m/m}$  (ホルマリン線使用) の極めて細い線の場合には、ほぼ完全な直線性が認められ、ヒステレシスも非常に小さかった。海水が汚濁しているときは、ヘッド外面に微細なアカが付着して、水切れが悪くなるから、ときどき付着したアカを拭きとる必要がある。

図-9 は水質による差異を調べるために ヒシチューブのヘッドを用いて海水と真水 (水道水) の場合の特性を比較したものである。海水

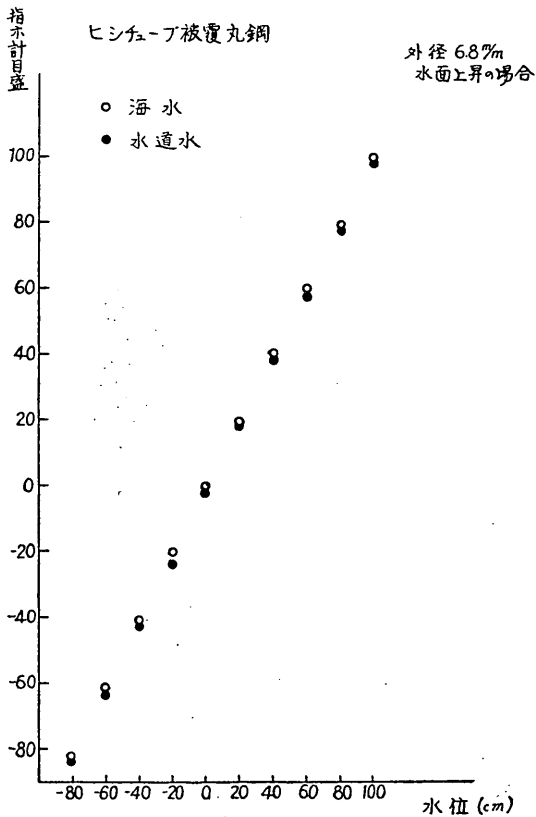


図-9

の電気伝導度と真水のそれとの差に相当する分だけお互にシフトした状態となりゲインが変化

することはなかった。ただ海水の場合は、真水にくらべて粘性が大きいから、そのためいくらかヒステレシスが增大するようである。

容量型波高計の動的な応答性を確かめる 1 つの方法として、実験水路内 (水道水を使用) に容量型波高計および抵抗線式波高計を波の進行方向に直角に並べておき、それに単一周期波を当てて同時に波を記録させ (ビシグラフを使用して、同一感光紙上に並列して記録させた)、その結果を比較した。図-10, 11 はエポキシ被覆のヘッドを使ったときの測定結果である。横

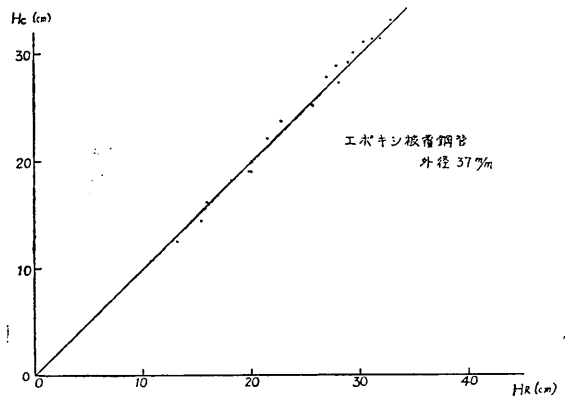


図-10

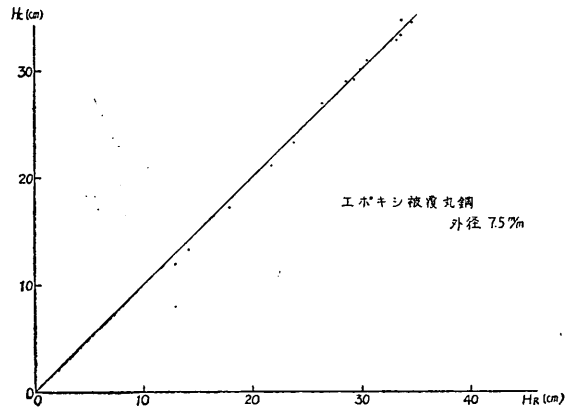


図-11

軸は抵抗線式で記録した波高  $H_R$ 、縦軸は容量型で記録した波高  $H_C$  である。これに用いた実験波の周期は 2 ~ 4 sec である。両図を見ると波高が (いいかえれば波形勾配) 比較的大きな場合は容量型で記録した波高の方が抵抗線式で測った波高よりいくらか大きくなっている ( $H_C$

$>H_R$ ) が、これは容量型の場合ヘッドに沿って水がはい上る傾向があるためであろう。一方、波高の比較的小さいところでは逆に  $H_C < H_R$  の傾向が見られるが、これは波が小さいときは、容量型のヘッドにおける水のはいがりがわずかとなり、他方水切れの悪さの方の影響が相対

的に顕著となるためであると考えられる。図-12はエポキシ被覆 ( $\phi 7.5\text{m/m}$ ) をした容量型の場合と抵抗線式の波形記録を比較した1例であって、谷の部分を見ると水切れの悪さによる影響がわずかながら認められる。

容量型波高計の応答性を確かめる他の1つの

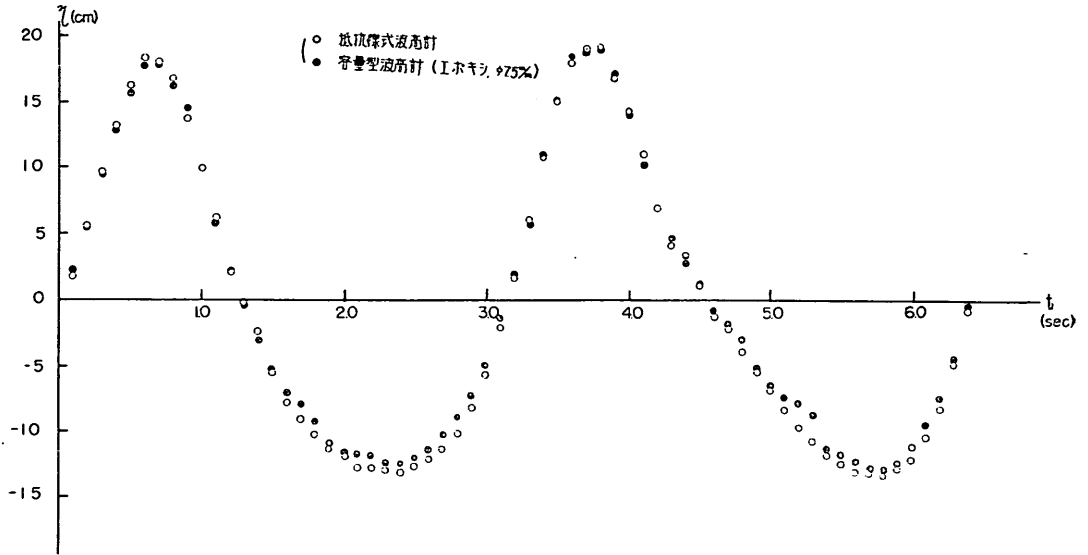


図-12

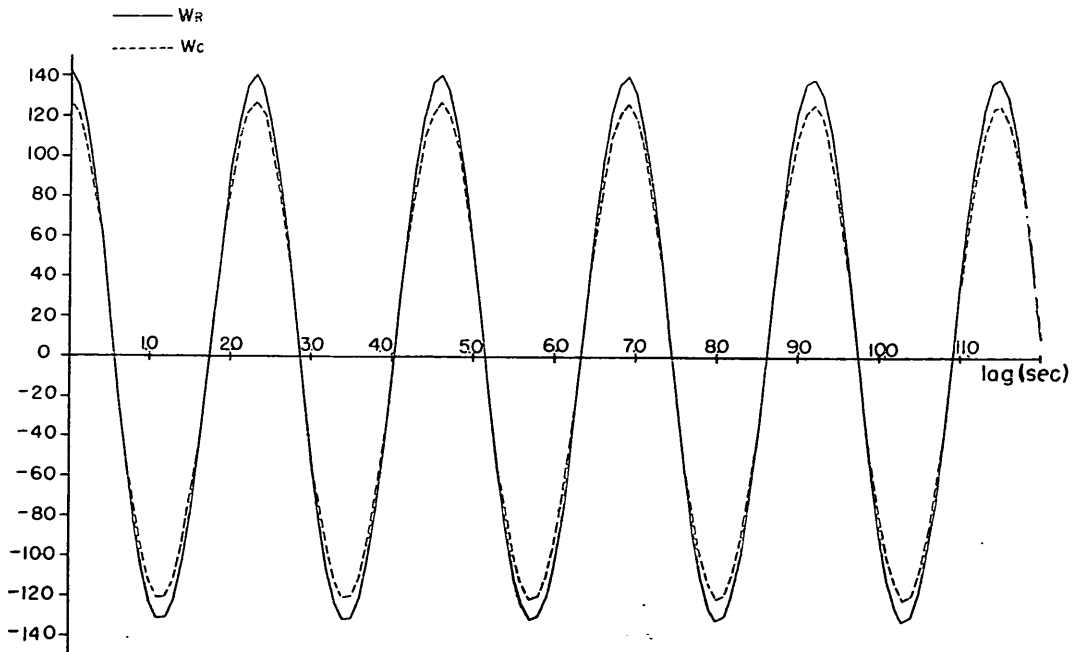
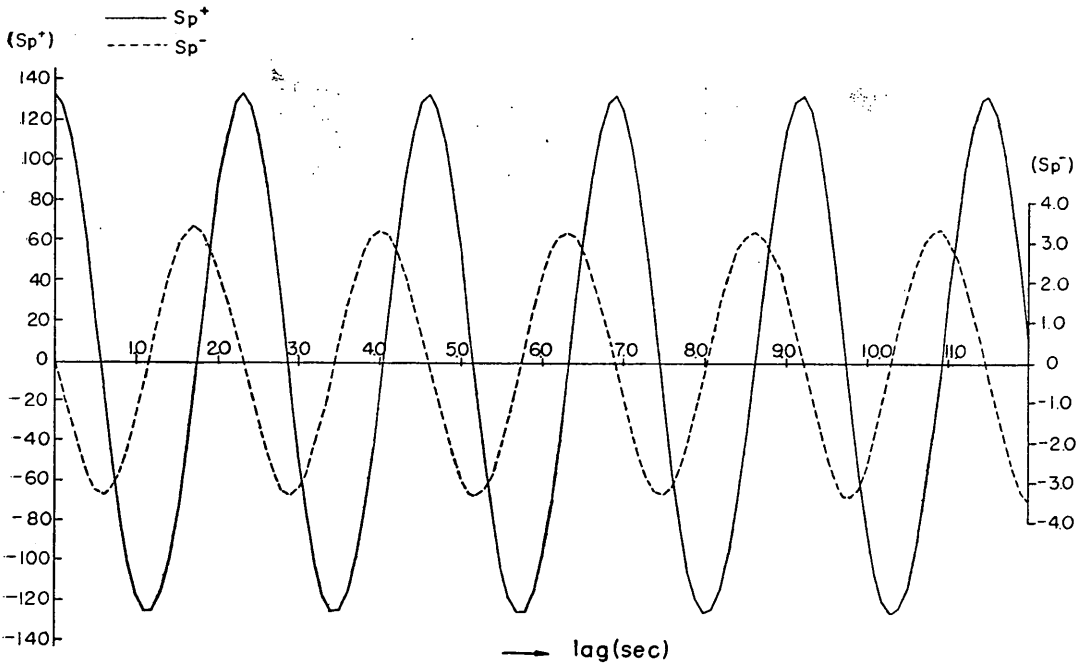


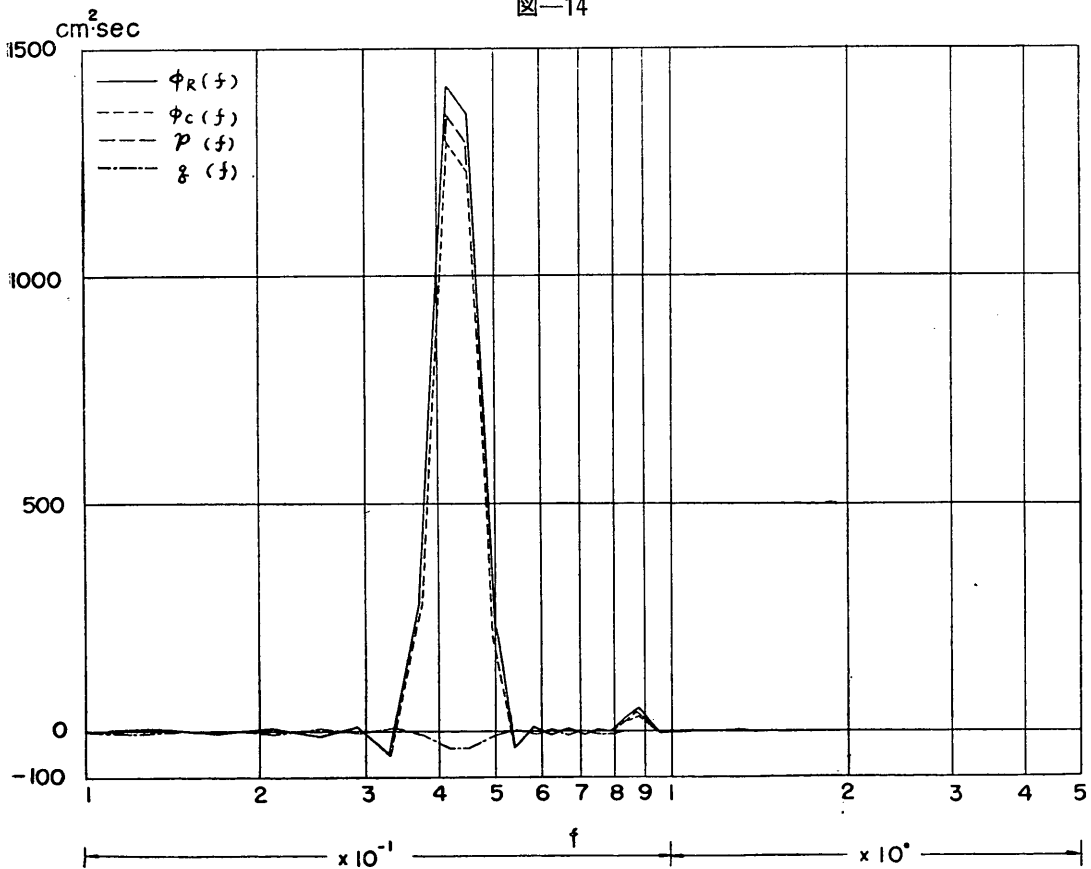
図-13



—  $Sp^+$   
- - -  $Sp^-$

—  $\text{lag}(\text{sec})$

□-14



□-15

方法として、容量型波高計および抵抗線式波高計で、等位置で同時に測定した同一波の波形記録(測定方法は前述の場合と同様)をスペクトル分析によって比較した。このとき用いた容量型波高計のヘッドはテフロン被覆であった。図-13は抵抗線式波高計を使って計算した autocovariance  $W_R$  と容量型による autocovariance  $W_C$  との1例である。つぎに抵抗線式の容量型に対する covariance  $S_{P^+}$  と quadrature variance  $S_{P^-}$  を図-14に示した。これは図-13に対応するものである。図-15は、これらを使って計算した spectra  $\phi_R(f)$ ,  $\phi_C(f)$ , cospectrum  $p(f)$  と quadrature spectrum  $q(f)$  とを示したものである。この図では、2つの spectra と cospectra は互に非常によく一致しており、しかも quadrature spectrum は0に近い値をとっているから、2つの波高計はかなりよく似た特性をもっていることがわかる。この様子をもっと詳しく検討するために、これらの spectra を使って coherence,

$$\text{coh}(f) = \frac{\sqrt{p^2 + q^2}}{\sqrt{\phi_R \phi_C}}$$

と phase shift

$\arg(p+iq)$  を計算した結果をそれぞれ図-16, 17に示した。測定の対象とした波は単一周期波であるから, power は大部分実験波の周期  $T=2.3\text{sec}$  に対応する周波数  $f \approx 0.43 \text{ c/s}$  付近に集中している, これより周波数の高い領域にはほとんど power が存在しないと考えられるから, 周波数の高いところほど計算によって得られた coherence が小さくなっていることはやむを得ない。しかし, 基本周波数成分が存在する  $f \approx 0.43 \text{ c/s}$  において coherence が非常によいことは当然だとしても, とくに本計算例の場合のように2倍周波数成分がわずかの power しかもたなくても, その存在する  $f \approx 0.87 \text{ c/s}$  の付近において coherence は  $0.96 \sim 0.98$  と1に非常に近くなっており, しかも phase shift がこの間ほぼ一定値をとっていることから見て, これら2つの波高計によって得られた波形は互によく近似しており, 周波数の比較的高い場合を除けば, 個々の周波数に対する2つの波高計

coh

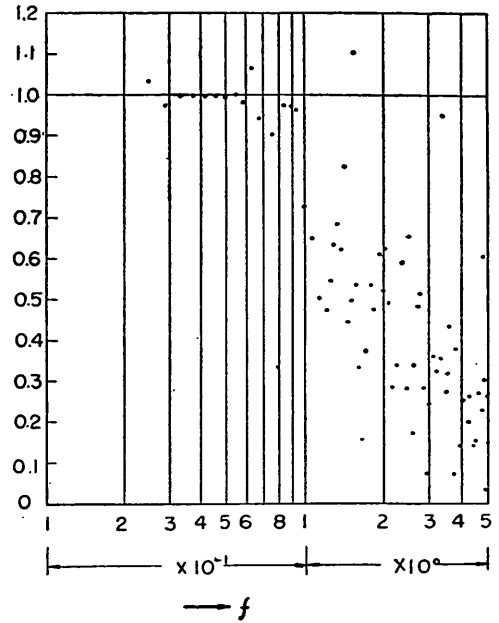


図-16

$\text{Arg}(p+iq)$

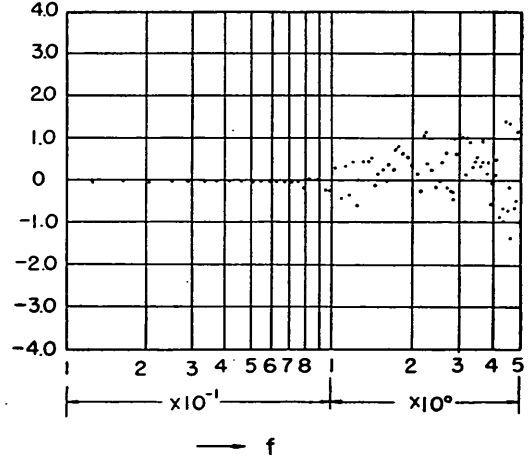


図-17

の相関はかなりよいとみてよいであろう。

### 3. 名古屋港に設置した容量型波浪観測装置

#### 3-1 設置の目的

前章における検討の結果から, 容量型波高計の測定精度はかなり秀れていることがわかった。ま

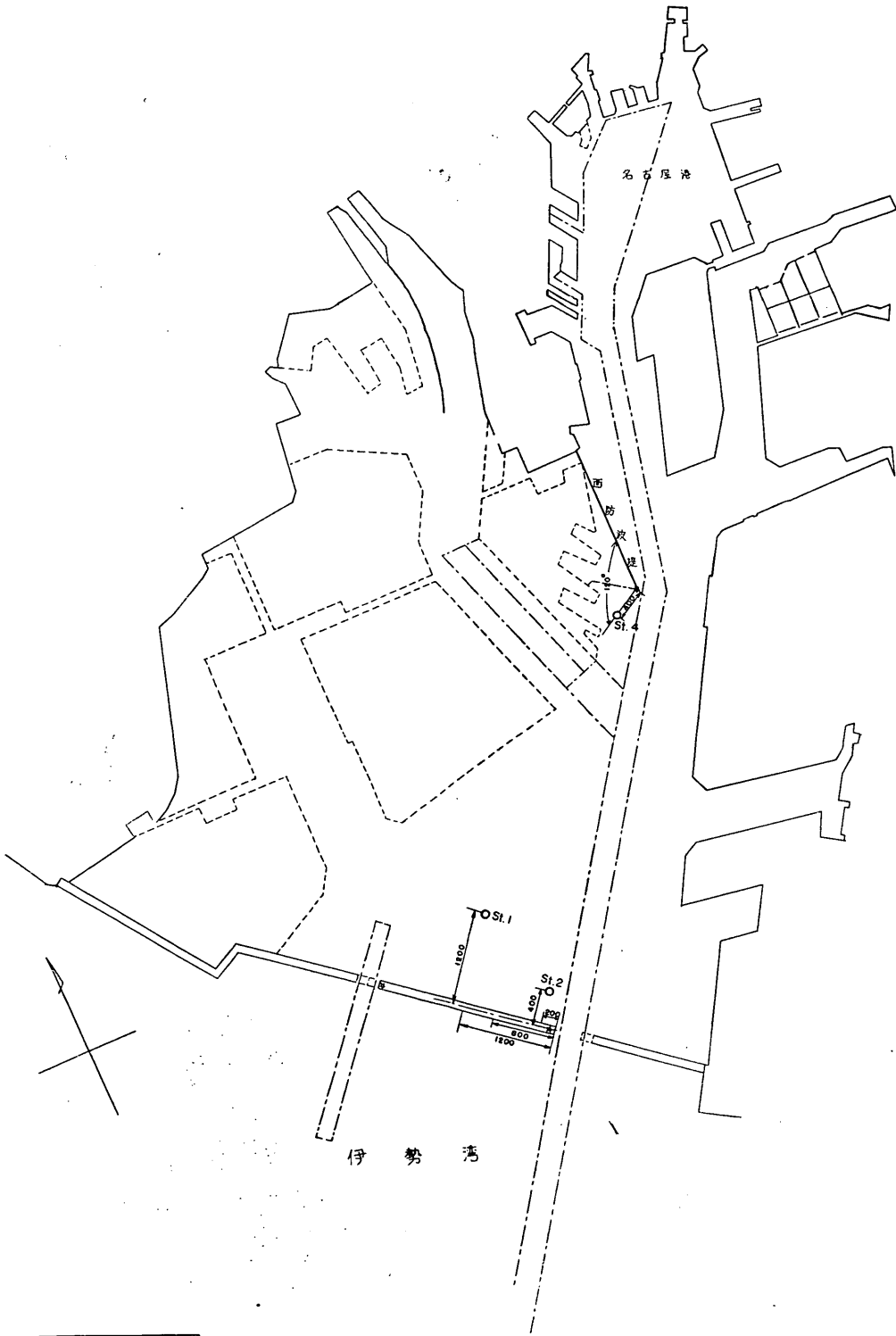


图-18

た現地に適用しても大きな支障がないものと判断されたので、名古屋港内に2～3台設置して定常観測を開始した。図-18はその配置図である。

名古屋港では、冬期は $10\sim 20\text{m/sec}$ 程度の季節風（主として北西方向）が卓越し、高潮防波堤内に $50\sim 70\text{cm}$ 程度の波がしばしば発生し、しかもこのようなときには港外からの侵入波はほとんど存在しない。

このような波を風とともに系統的に観測すれば、風波の発達状況を把握することが可能と考えられる。この観点から、防波堤開口部付近に風向に沿って波高計を2台配置(St-1, St-2)した。今後これらの観測装置を用いて、波高、周期を観測して、発生領域の波の特性を検討するほか、海面上の風速分布、風速変動をも測定して波と風との相関を調べる予定である。さらに、観測資料を集積整備することにより、従来の種々の波浪推算法の比較調査に資することができるものと考えている。

St-4は、港内奥部に来襲する波浪を測定するために設置したものである。たとえば台風来襲時にSt-4およびSt-1, St-2において波浪の同時観測記録が得られれば、高潮防波堤の防波効果や、侵入波の回折、減衰などの変形に関する資料が得られるものと期待される。

なお、St-2とSt-4の観測装置は昭和41年9月に、またSt-1の観測装置は昭和42年2月に設置した。

### 3-2 容量型波浪観測装置

#### 3-2-1 各種観測装置の概要

##### (A) St-2

高潮防波堤内の主港口付近に設置した観測塔（観測櫓）に有効長8mのエポキシ被覆の鋼管製検出ヘッド（前章、表-1の②に同じ）を固定し（写真-1）その他の装置を塔上の収納小屋内に設置して、そこで記録計（EPR-2T型、自動平衡式1点連続ペン書き）で波形を記録させた。波高計の測定範囲は $\pm 400, 200, 100, 50\text{cm}$ の4段切換とし、それぞれの範囲について記録紙の全幅15cmを有効に使えるようにした。また潮位補償回路（ $\pm 400\text{cm}$ まで有効）により波高の指示計および記録計が常に中央位置を中心に波形を指示記録できるようにした。電接時計によ

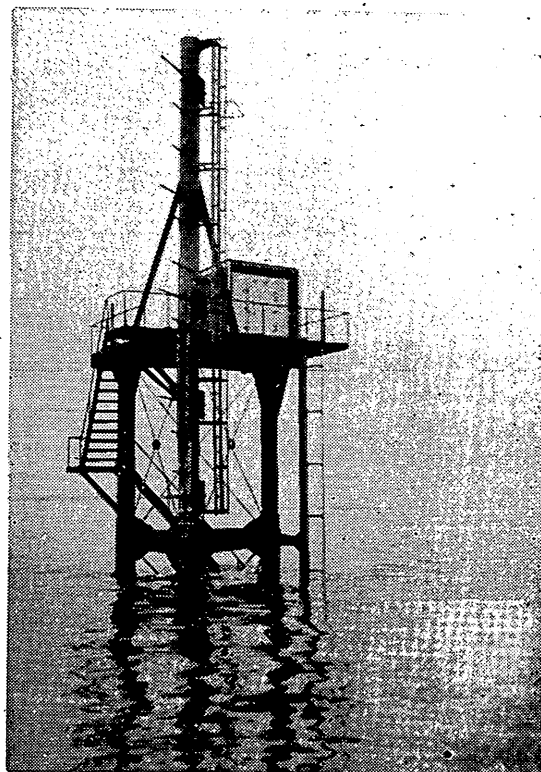


写真-1

り波形記録の動作設定を $13\text{min}/30\text{min}$ ,  $13\text{min}/2\text{H}$ ,  $23\text{min}/2\text{H}$ の3種とした。これらは手動により切替える。ここで上段は記録計1回当りの作動時間長を、下段は作動時間間隔を示している。作動時間のうち、それぞれ最初の3minは潮位補償に要する時間である。記録紙の送り速度は $20, 60, 80\text{mm}/\text{min}$ の3種とし、手動切替とした。記録紙は1巻120mのものを使用することとし、巻取装置をつけた。かりに、作動時間を $23\text{min}/2\text{H}$ 、記録紙送り速度を $60\text{mm}/\text{min}$ として継続観測を行なっても、記録紙を変更せずに7日間の継続観測が可能である。

各装置は、塩風、湿度から防護するためラック型、防滴構造の密閉収容箱に収め、またこれら全体を収容する小屋も完全密閉とした。一方小屋内の温度上昇を防ぐため小屋の内面全体に断熱材として厚さ15cmのポリスチロールをはり、さらに直射日光を遮ぎるため外面全体に鋸製のブラインドをとりつけた。

電源は鉛蓄電池12V, 120AHを2個使用する

こととした。消費電力は最高使用条件 (13min/30min) でも平均 7.6W であるから、途中で充電しなくても10日間の継続観測が可能である。

本装置のブロックダイアグラムは図-19のとおりである。

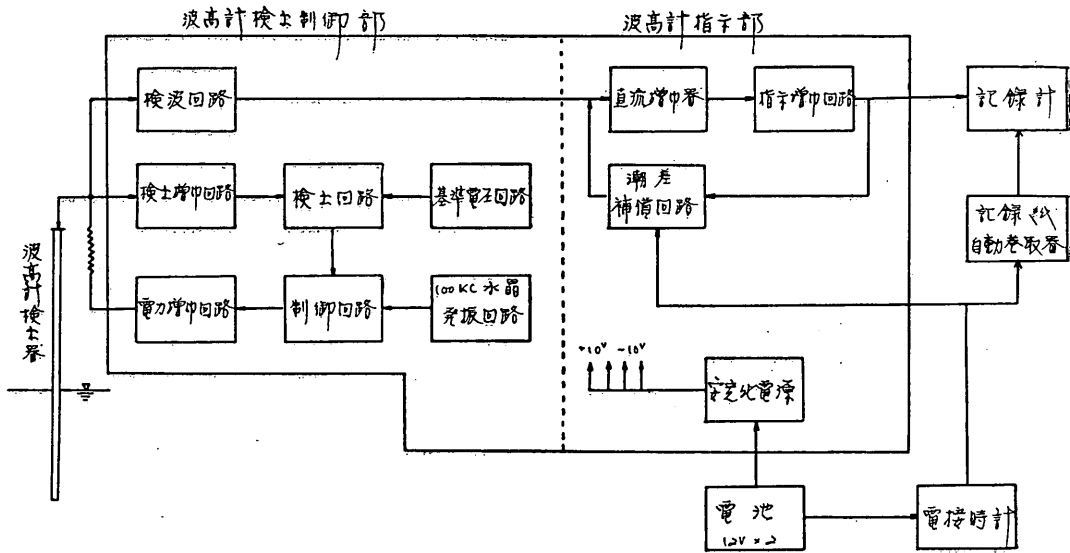


図-19

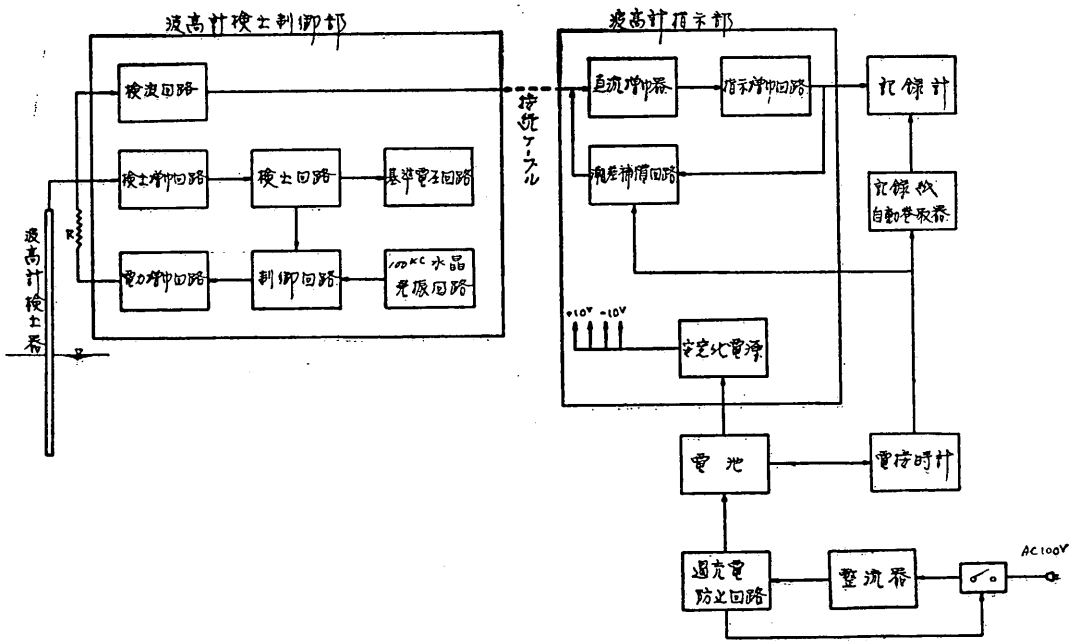


図-20





### (B) St-4

検出ヘッドと波高計検出制御部のみを観測塔に設置し、その他の装置は西防波堤先端にある信号所（名古屋海上保安部の施設）に収容して、ここで波形を記録させることとし、この間を鉄線鎧装のビニールケーブル（6芯、475m）で結んだ（図-20、21参照）。検出ヘッドの有効長を10mとしたほかは、形状構造ともSt-2の場合と同様である。波高計検出制御部は、塔上に設置した百葉箱内に設置した。これは直射日光により器内の温度が上昇することを防ぐためである（写真-2）。波高測定範囲は±500, 250, 100, 50cmの4段階とし、潮位補償範囲は±450cmとした。記録装置および動作設定の要領は、St-2と全く同様である。



写真-2

電源としては、鉛蓄電池 12V, 50AH を2個使用することとし、これを信号所内にある発電機（AC100V）を使って常時充電できるように整流器を備えつけた。

### (C) St-1

St-1では波高計のほか風向計と風速計を設置した。これらの検出器以外の全装置は、St-2の場合と同じく塔上に設置した収納小屋に入れ、その中で指示記録させることにした。風向計は矢羽根式、風速計は3杯発電式を採用し、これらの検出器は収納小屋の上部にとりつけた（写真-3）。

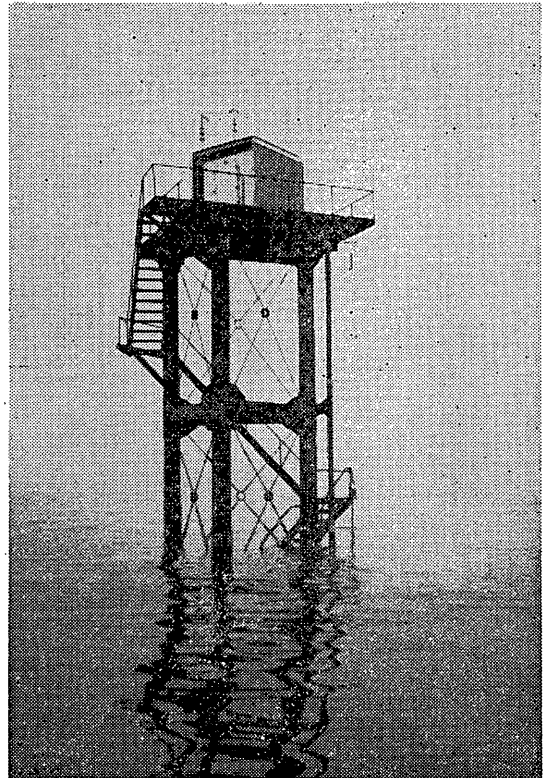


写真-3

波高計の検出ヘッドとしては、有効長 9mのポリ塩化ビニール被覆の硬銅線（前章、表-1の⑥に同じ）を採用した（写真-4）。つまりここではワイヤータイプを採用した。

St-1での測定事項は、水面波形のほか、瞬間風向、瞬間風速である。このうち、風向、風速は常時継続して連続記録をとるが、水面波形の記録時間は原則として、風向、風速によって制御される自動動作設定回路によって選択させ、風向および風速が特定の条件を満たすときのみ測定させることとした。また風には無関係に電接時計によって22min/2H（2minは潮位補

償に要する時間)の時間制御もできるようにした(図-22参照)。

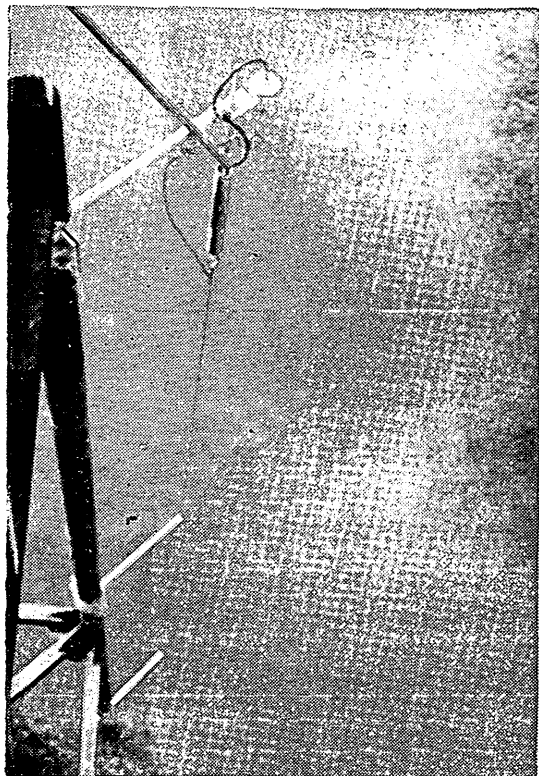


写真-4

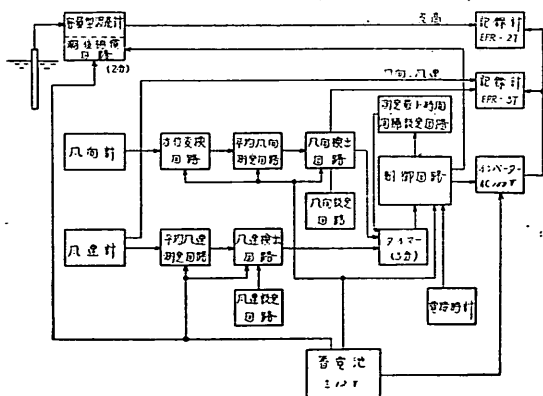


図-22

波高の測定範囲は $\pm 450$ ,  $\pm 200$ ,  $\pm 100$ ,  $\pm 50$ cmの4段階とし、手動切換とした。潮位の補償範囲は $\pm 450$ cmとした。記録計は自動平衡式のもの2台を使い、EPR-2T型(1点連続ペン書き)に水面波形を、EPR-3T型(2点連続ペン書

き)に風向、風速を記録させるようにした(図-23参照)。電源としては、鉛蓄電池12V、150AH2個を使用することとした。

### 3-2-2 波高計検出ヘッド

前述したように、最初(昭和41年9月)に設置したSt-2, St-4では、エポキシ(厚さ1.5m/m)被覆の鋼管( $\phi 37$ m/m)を使い、図-24のような形状、構造とした。容量型波高計の検出ヘッドは階段抵抗式波高計のヘッドにくらべてかなり簡単な装置であって、比較的容易にかつ廉価に長尺のものをつくることのできる(ただし、測定分解能がいくらか悪くなることは避けえない)。したがって、本波高計のヘッドの長さを決定するに当たっても、十分余裕のあるものを用いることとした。

たとえばSt-1では、名古屋港の波浪特性を勘案して、たとえば周期7sec、波高4mの波が(さく望平均満潮面+偏差3.05m)の水位のときに来襲した場合でも、また既往最低潮位の際に周期7secの限界波高をもった波がきた場合でも測定が可能であるようにヘッドの有効長を10mとした(図-25参照)。前章でも簡単に記したように、ヘッドにアカや貝殻が付着したときは、水切れが悪くなるなど特性の変化は避けられない。とくに貝殻の問題は厄介である。場所によっては多少条件は異なるが普通は少くとも数ヶ月に一度貝殻落しを行う必要があり、しかもこれを完全に除去することはできない。そのうえ、貝殻落しのさいに、エポキシのような硬質のものでも被覆材も同時に削りとられてヘッドの機械的精度を落すことがあり、また場合によっては導通の原因となる懸念がある。このような事情に対処するため後に(昭和42年2月)設置したSt-1では鋼管タイプを避けて、図-26に示すようなワイヤータイプを採用し、ワイヤー自体を簡単に取りかえうる構造とした。このとき使ったポリ塩化ビニール被覆の硬銅線は、配電用導線として市販されており、しかも比較的廉価であるから、たとえば数ヶ月に1度ぐらいの割合でとりかえれば、つねに精度の高い記録をとることができるであろう。なお、St-1に使用したワイヤーは $\phi 2.8$ m/mであり非常に細

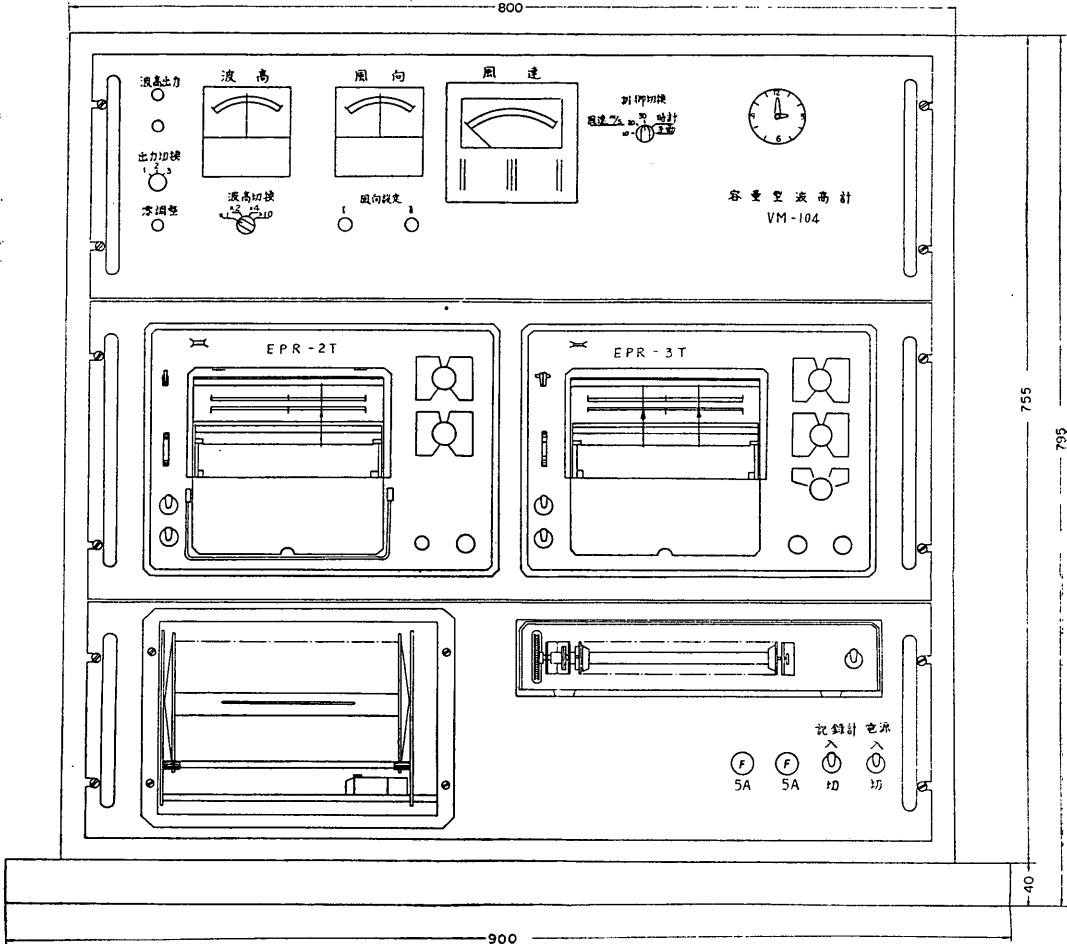


图-23



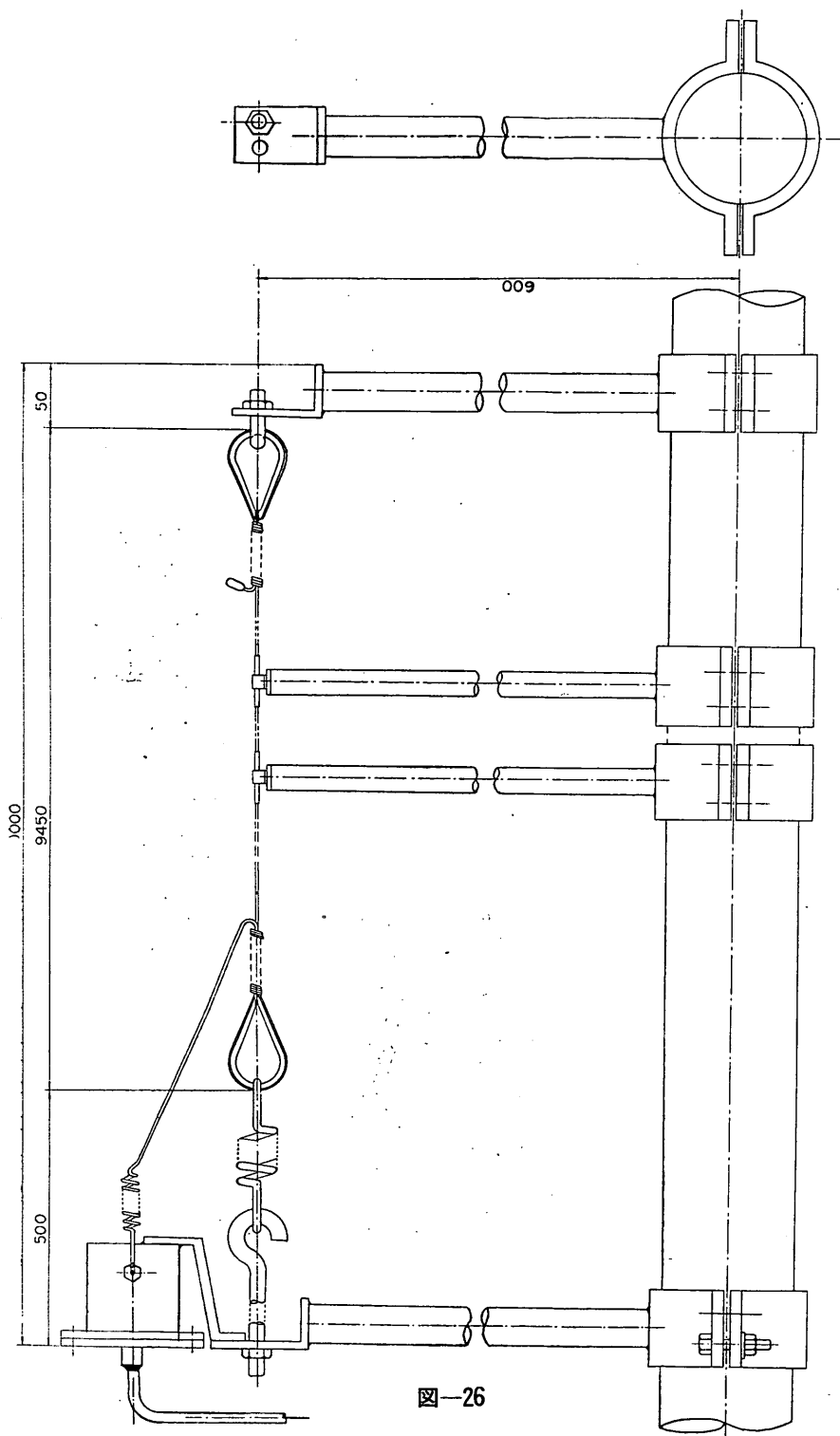


图-26

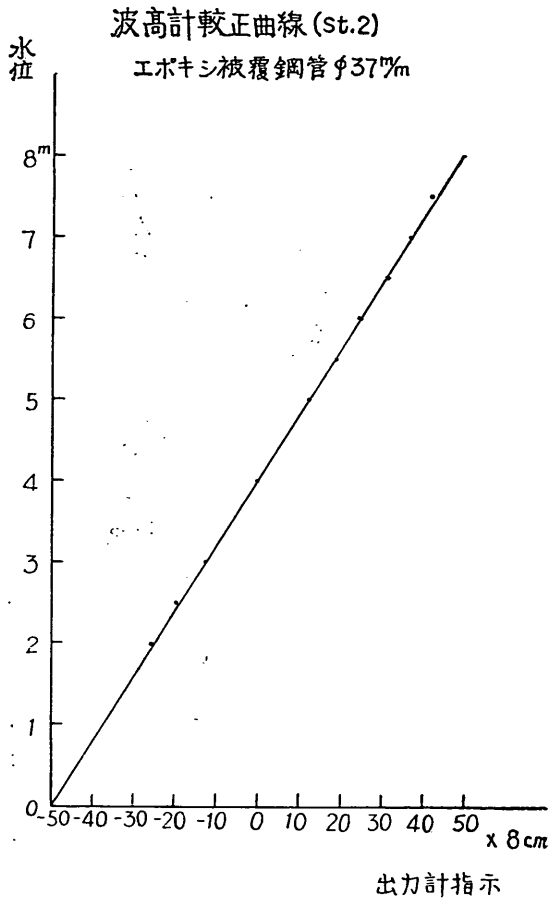


図-27

### 3-2-3 潮位補償

潮位の変化が大きいかによって記録紙の端の方で波を記録することになり、スケールアウトするおそれがあるから、なるべく中央位置で記録することが望ましい。このために、大きな時定数をもった平均回路を設けて、潮位変動を検出して、特定的水位（零点）からの静水位のズレを打消させ、記録開始時にはつねに記録紙の中央で波形を記録させようようにした。

この動作はサーマルリレーによって行ない、St-2, St-4, の場合は3分間、St-1 の場合は2分間で十分潮位補償ができたところで波高計の出力に自動的に切りかえられ、ついで20分間波形が記録される。この潮位補償動作は毎記録開始時に必ず行なわれ、記録中は補償動作はしないようになっている。

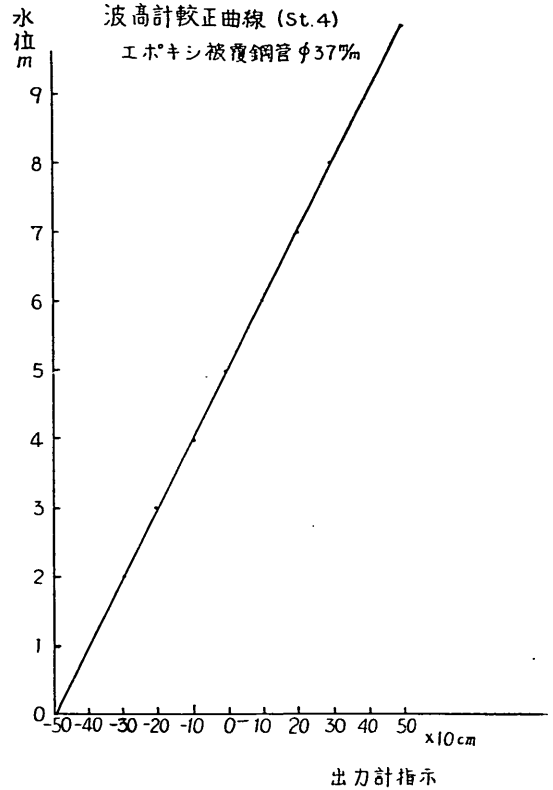


図-28

### 3-2-4 波高計自動動作設定回路

前述したように、波高計の動作設定は、St-2, St-4 の場合は電接時計による時間制御のみとしたが、St-1 の場合は、このほかに風向、風速による動作制御も可能であるようにした（図-30参照）。ここでは、とくにこの風向、風速制御についてだけ説明する。

St-1 では、主として港内発生波を測定対象としているので、風のないときの波を記録してもあまり意味がないと考えられる。そこで、風向が特定の範囲にありかつ風速が一定以上となったときだけ、自動的に波高計を動作させて、波形記録を得られるように動作設定回路をとりつけた。風向は方位 SE で分割して図-31のように電圧表示とし、電圧計および記録計に方位目盛を付して表示した。これは風向計にポテンショメーターを直結させて方位を電圧に変換させるものである（方位変換回路）。風速は、風速計からの電気出力を指示計および記録計に入れて表示させた。

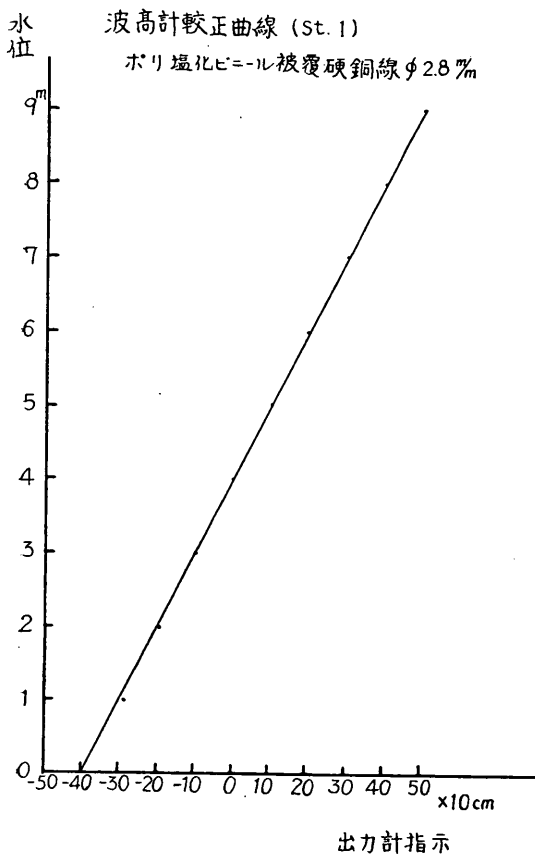


図-29

風向が指定の範囲に入り、風速が指定以上になったときに波形記録を開始させるためには、これらの指定事項を設定する回路が必要である。これが風向設定回路および風速設定回路である。

風向設定は、SE の方位を含まない領域であれば任意の範囲を指定できるものとし、また風速設定は 10m/sec, 20m/sec, 30m/sec の3段切換とした。

風向、風速は一般に絶えず変動するものであるから、その瞬間値をもって制御に使用するのはいましくない。そこで、風向、風速とも約2分間の平均値を求めて、これにより制御を行なうことにした(平均風速測定回路および平均風向測定回路)。

平均風向、平均風速のそれぞれが、設定の条件を満たす状態になると、風向検出回路、風速検出回路が動作して、それぞれのリレー  $RL_4$ ,  $RL_5$

(図-30参照)が閉じる。両方のリレーが閉じた状態になるとサーマルリレーが動作して約3分後に回路が閉じて制御リレーが働き、潮位補償回路、記録計(波形用)、マーカー、測定最小時間間隔設定回路がそれぞれ所定の動作を開始する。つまり、風向、風速を検知してから約5分後に制御回路が働いて記録開始となる。いったん記録が開始されると22分間(そのうち最初の2分間は潮位補償時間である)連続記録し、その間かりに風向、風速が指定範囲外になっても記録は続行されるようになっている。そして、記録終了後は、風向、風速が指定範囲内に入っても、約30分間は制御回路が働かず、記録されないようになっている。これはモーターとカム機構からなる測定最小時間間隔設定回路により制御される。したがって、波形記録の最小時間間隔は約57分となる。

### 3-2-5 記録動作

St-1 の場合だけについて述べる。前述したように記録計は2台を使用し、1台は1ペン型で波高記録用、他の1台は2ペン型で風向、風速記録用であって、両方ともマーカー記録装置をもたせた(写真-5)。

風向、風速は常時2ペン記録計に与えられ、60mm/H の記録紙送り速度で記録されるから、スタートの時刻がわかれば、そのパルスの数を読み取ることによって、記録紙上の日時が判別できる。

1ペン用の記録計は、制御リレーの動作で初めて電源が供給されて動作し、水面波形が通常60mm/min の記録紙送り速度で記録されることになる。このとき電接時計から20secごとに1回のマーカー電圧が送られて記録紙上左端にパルス状に記録される。また、この20secのマーカーは2ペン記録計にも1時間ごとのマーカーと切りかえられて送られるので2ペン記録紙上には、波形記録時間中は20secごとのマーカーが記録されることになる。したがって、波形の記録開始および終了の時刻は、2ペン記録紙上のそれに対応する20secごとのマーカーの始端と終端の時刻を読み取ることによって判別できる。

なお、記録紙1巻の長さは波形記録用のものはSt-2, 4の場合と同じく120m、風向、風速記録用のものは20mである。記録紙の使用可能日数



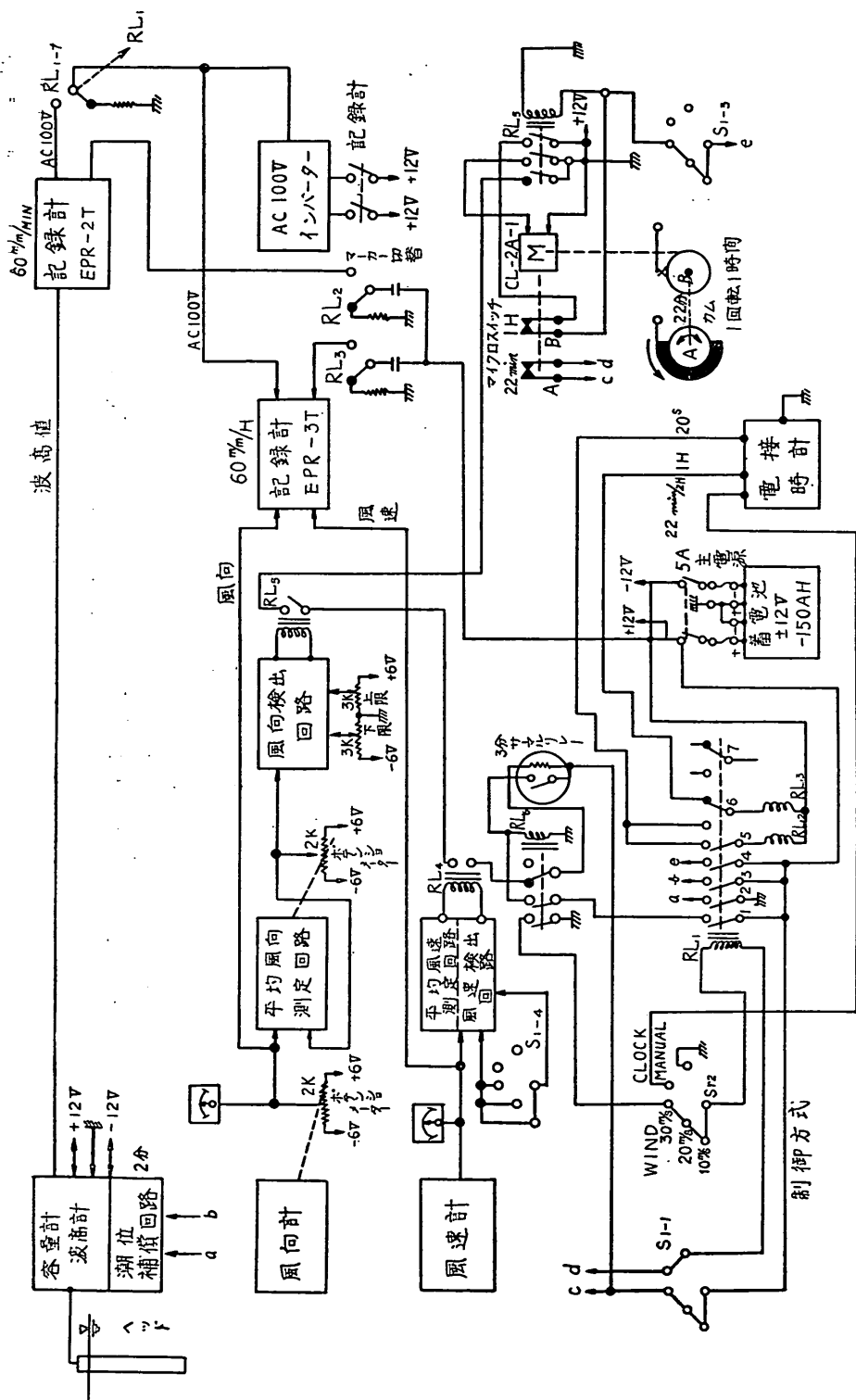


図-30

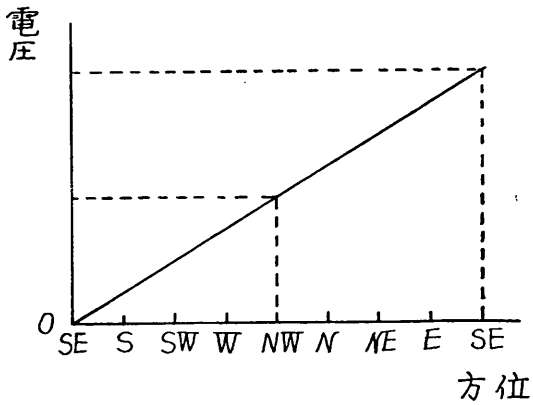


図-31

は、風向、風速記録用紙では13日強であり、波形記録用紙では、電接時計による 22min/2H の時間制御を行なったときは7日強である。風向、風速制御による場合の波形記録用紙の使用可能日数は、そのときの気象条件によって一定しないが3.5日あるいは、それ以上である。

3-2-6 観測例

図-32, 33 は昭和42年3月24日に St-1 において観測された1例を示すものである。図-32は風向、風速を記録したものであり、図-33はその時刻に対応する波形記録である。

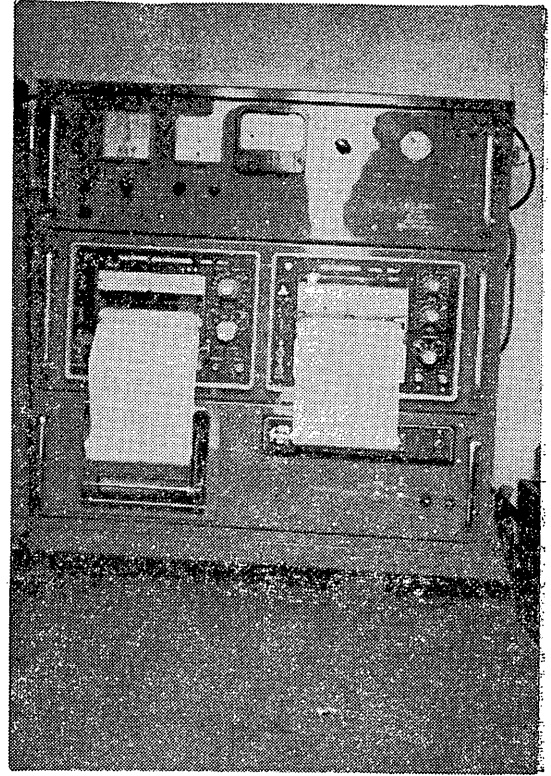


写真-5

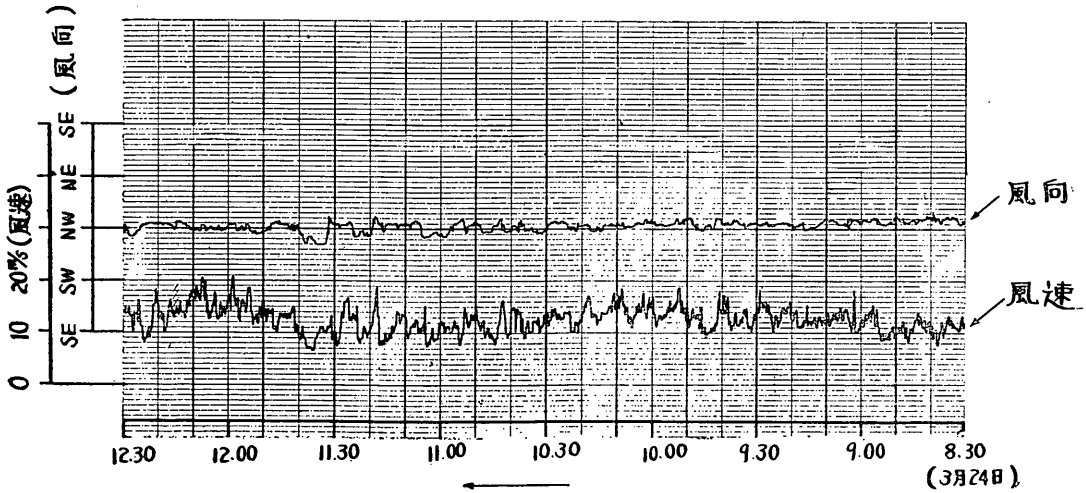


図-32



#### 4. 結 び

現在、海岸の波を観測するために普通に使われている波高計として、水圧式波高計と階段抵抗式波高計とがある。水圧式波高計は最も一般に使われている波高計であって、水中または水底における圧力変動を測定して、これから間接的に水面変動を求めようとするものである。この波高計は、設置が簡便であり、また海面付近の強い波力をうけることがないから、強大な波浪の観測が容易である。ただ水底に近づくほど圧力変動のうち周波数の高い成分が大きく減衰し、波長の短い成分は測定され難くなる。さらに水中の圧力変動を水面波高に換算する手続きが面倒であるばかりでなく、波高補正係数  $n$  が十分解明されていないから、正確な観測値を得ることが困難である。一方、階段抵抗式波高計は、水面変動を直接測定できる利点があり、内海で波が小さく比較的浅いところの観測に適している。しかし相隣の電極間では波形は不連続となり小さな波は測れない。また、貝殻の付着、水質の変化によって感度が変化するおそれがある。

つぎにさきに述べた特性試験の結果などを参考として容量型波高計を現地用として使う場合の利害得失を、これら2つの波高計と比較検討してみる。容量型波高計は階段抵抗式と同様に水面変動を直接測定でき、直線性がよいばかりでなく、周波数の比較的高い波の成分までよりの確にとらえて、信頼性の高い波形記録を得ることができる。そのため、容量型で測定した波形記録のスペクトル解析の結果はかなり信頼度の高いものと期待できる。また容量型の検出ヘッドは階段抵抗式のヘッドにくらべて、ずっと細くて簡単な構造とする

ことができるから、水面を乱すことが少く、港内発生波など小さな波を正確に測定しようとするとき好都合である。

階段抵抗式の場合、海藻、貝殻などが付着すると感度が悪くなるので、たびたび掃除をする必要があり、とくに貝殻落しは非常に面倒な作業となっている。容量型の場合も同様の事態が予想されるが、さきに述べたように、ワイヤータイプの検出ヘッドを採用すれば、簡単にかつ廉価に取りかえることができ、つねに精度の高い波形記録が得られる。

階段抵抗式波高計は水質によって大きな感度変化を起こすが、容量型波高計は、水質、水温の変化に対して安定度が高く、河口など塩分濃度が大きく変動するところでも使えるであろう。

この波高計の欠点は、階段抵抗式の場合と同じく、海面付近の強い波力を直接うけるから、外海の沿岸などで激浪が来襲するところでは、波高計を取付ける「やぐら」、杭などに多額の経費を要することである。

湾内、内海など比較的浅くてとくに大きな波の来襲が予想されないところであれば、容量型波高計は現地海岸において信頼性の高い波形記録を得るための経済的な、有効な観測器械といえるであろう。

本方式の波浪観測装置を開発し、名古屋港に設置するにあたっては、九州大学光易助教授（前波浪研究室長）の御指導および当所柴山主任研究官の有益な御助言を頂いたほか、第五港湾建設局設計室の奥村、中島両室長、勝部、三枝両建設専門官、中谷技官、その他各位の絶大な御協力を頂いた。ここに記して、深甚の謝意を表する次第である。  
(昭和42年4月8日受付)