

港 湾 技 研 資 料



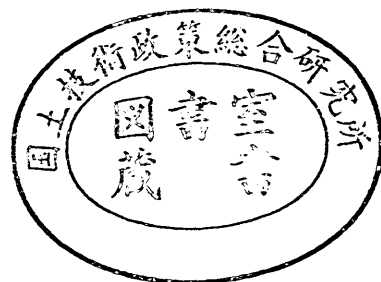
TECHNICAL NOTE OF
PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

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 | |

デジタル波高計の試作について

目 次

| | |
|------------------|----|
| 概 要 | |
| 1. ま え が き | 21 |
| 2. 回 路 説 明 | 21 |
| 2-1 概 説 | 21 |
| 2-2 回 路 構 成 図 | 22 |
| 2-3 電 気 回 路 部 | 22 |
| i) 波高および波回数検出回路 | 22 |
| ii) 基準周波数回路 | 28 |
| iii) プリ・セット回路 | 31 |
| iv) ゲート回路 | 31 |
| v) カウンタ回路 | 31 |
| vi) そ の 他 | 31 |
| 3. ピックアップ部 | 31 |
| 4. 架 台 部 | 37 |
| 5. 測定上の取り扱つかい | 37 |
| 6. 測 定 条 件 | 37 |
| 6-1 電気回路による精度 | 37 |
| 6-2 規則波の場合による精度 | 37 |
| 6-3 不規則波の場合による精度 | 37 |
| 6-4 水位上昇速度の測定法 | 37 |
| 7. 性 能 試 験 | 38 |
| 7-1 実 験 方 法 | 38 |
| 7-2 規則波について | 38 |
| 7-3 不規則波について | 50 |
| 7-4 水位上昇速度について | 52 |
| 8. 実 験 結 果 | 52 |
| 9. 結 論 | 52 |
| 10. あ と が き | 53 |
| 参 考 文 献 | 53 |
| 主 要 記 号 表 | 53 |

ON THE STUDY OF A DIGITAL TYPE WAVE HEIGHT METER

Suketo HARANAKA*

Yukio YARIMIZU**

Synopsis

An instrument for indicating wave height and wave number has been designed, constructed, extensively calibrated and subjected to preliminary testing in two-dimensional wave from April 1965 through January 1967.

This wave height meter consists of step type pick-up and electronic digital counter. The principle of this instrument is like follows. Pulses are generated by transistor switching systems in digital counter when each contact point of a pick-up is touched to water surface.

And then by presetting the wave number, the instrument counts the wave number and indicate the total sum of wave height and stops measuring after recording the wave height in the given wave number.

This instrument is useful to measure irregular wave height in the model test and others.

*Senior Research Engineer, Hydraulics Division.

**Member of Model Test Section, Hydraulics Division.

デジタル波高計の試作について

原 中 祐 人 *
 鐘 水 幸 雄 **

概 要

水理現象の波高測定は一般には電気抵抗式によるアナログ方式が用いられている。この方式は電氣的ならびに種々の条件により計測が煩雑である。このようなことから水位の変化を直接デジタルに表示する波高計の試作を、昭和40年4月から42年1月にかけて実施し実用化したものである。

この原理は一定の間隔に縦に配列した検出棒が水に入った時のみ、トランジスタ・スイッチング方式によりパルスが発生させるようになっている。そして任意の波回数に設定した間の波高を、数字表示管方式カウンタで積算させるものである。またこの逆の方法も可能である。よって統計的な平均処理器として平均波高計と称している。以下これについて原理、構成および性能について述べることにする。

1. まえがき

水位測定法には各種の方法があるが、アナログ方式とデジタル方式に分類できる。一般にアナログ方式で記録するが、波高の変化を直ちに直読したい場合がある。この方法として波高をデジタルに検出してカウンタに表示することが考えられる、しかし、精度よく測定するため応答速度の早い電気回路を必要とし、検出部の形状についても考慮しなくてはならない。よってデジタルに計数する波高計はいまだに市販されていないので、水理現象の記録から統計的な平均処理器として、実験の能率向上のため試作を行なったものである。

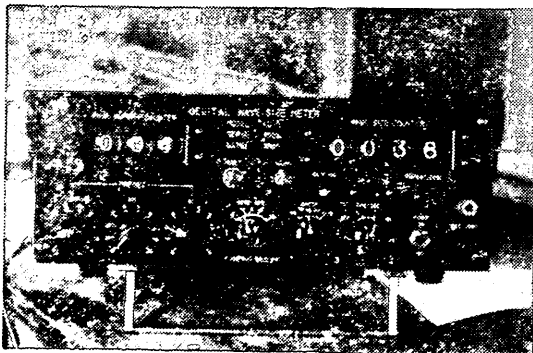


写真-1 MODEL-1

* 水工部 主任研究官
 **水工部 模型試験課

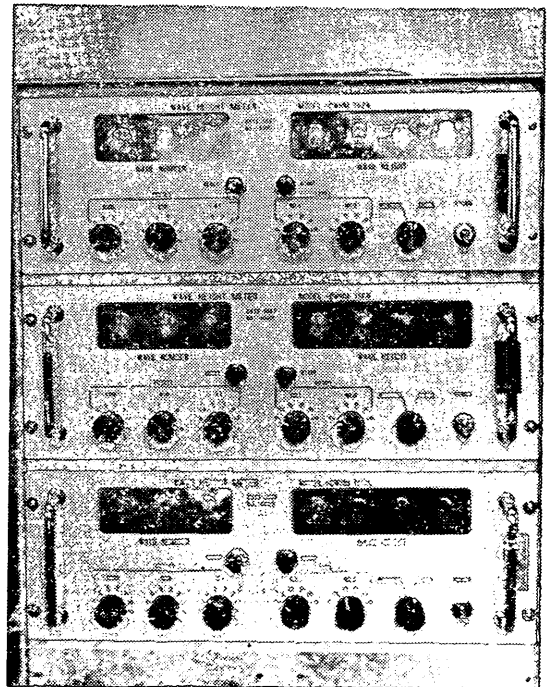


写真-2 MODEL-2

2. 回路説明

2-1 概説

デジタル波高計は次の構成からなっている。

- i) ピックアップ部
- ii) 電気回路部

- iii) カウンタ部
- iv) プリント部
- v) 架台部

に分けられる。電気回路は一般的な基礎回路の組立てであるので、主にパルス動作波形について述べることにした。

2-2 回路構成図

デジタル波高計の回路構成を、Fig.—1 に示す。

2-3 波高および波回数検出回路

トランジスタ・スイッチング方式パルス発生回路は各種の方法があるが、パルスの立ち上りの早いものとしては、Fig.—2 および Fig.—3 の回路

が考えられる。

Fig.—2 の動作原理は、検出棒が水から出ている時は、エミッタ、ベース間のバイアスは零で、トランジスタは遮断になっており、水に入るとエミッタ電流が流れトランジスタは導通となる。この時のコレクタの電圧変化を出力パルスとして取り出している。このパルス出力をエミッタフォロウ回路および一段増幅して、フリップフロップ回路にて波形整形しカウンタ入力パルスとしている。

Fig.—3 の原理は、 $R_A \rightarrow C \rightarrow SD$ の回路を通してコンデンサを充電し、検出棒が水に入ると

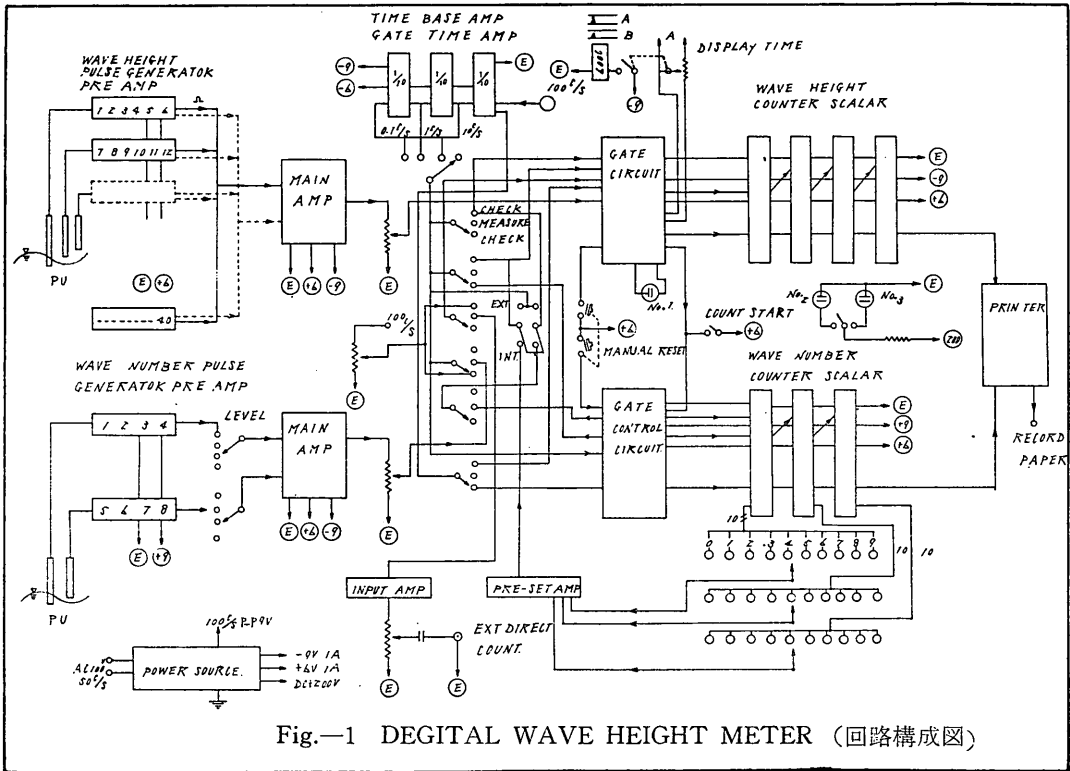


Fig.-2 WAVE HEIGHT AND WAVE NUMBER PULSE GENERATOR CIRCUIT

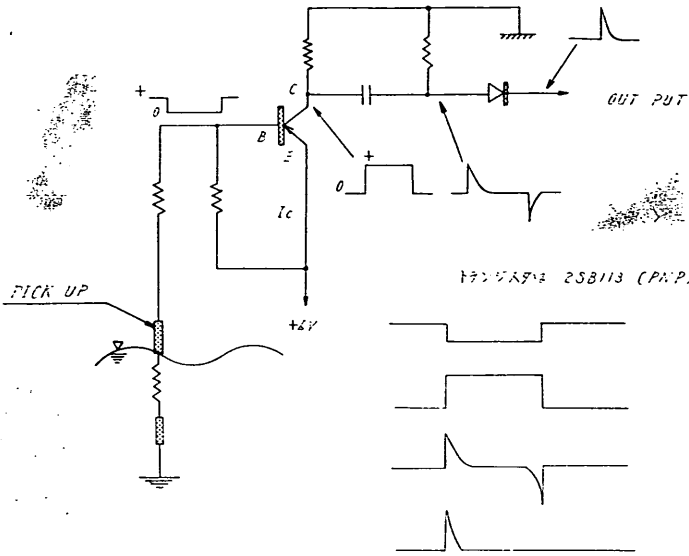


Fig-3 PULSE GENERATOR CIRCUIT

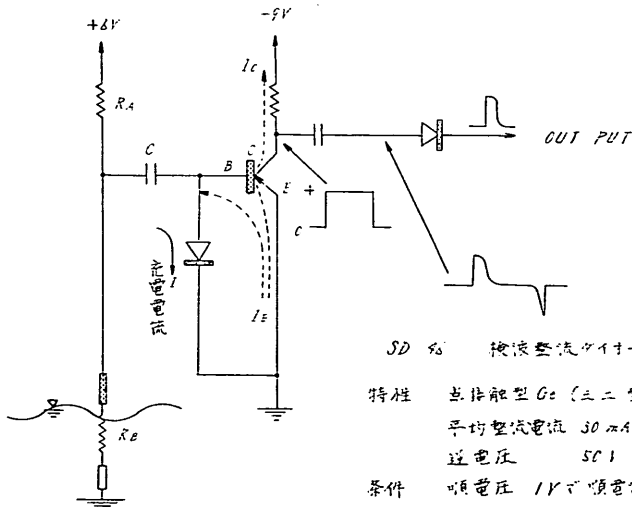
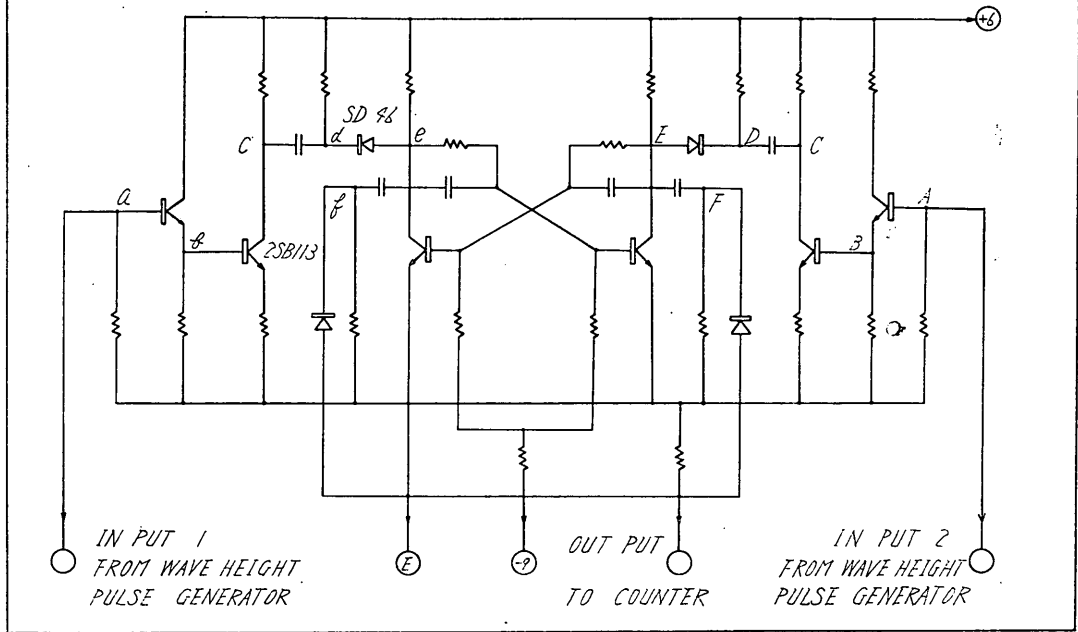


Fig.—4 WAVE HEIGHT PULSE AMP



C→R_E→E→B 回路に、エミッタ電流 I_E が放電電流として流れる。この電流によりトランジスタが遮断から導通になり、コレクタの電圧変化を出力パルスとする。この回路はコンデンサを含むため、放電効果による波形の立ち上り、下り時間に遅れが生じ、パルス波形も丸みをもつことになる。そこで本器は Fig.—2 の回路を使用することにした。

フリップフロップの回路を、Fig.—4 に示す。

この回路は、入力1パルスごとにトランジスタの導通および遮断が反転するもので、波回数については、2パルスで1出力とし、波高の場合は両方のコレクタからコンデンサおよびダイオードを通して、出力パルスとしている。

検出棒が水に入っている時のみ1回だけパルスが発生すると、その検出棒により繰返しパルスがでて出力としてカウンタは計数しない。したがってチャタリング防止をこれで行なっているわけである。Fig.—5 はパルス動作波形である。

このデジタル波高計に使用している、スイッチング・トランジスタは、2SB113 の PNP 合金

接合型ゲルマニウムを、主として用いておりエミッタ接地が普通である。

表—1, 2, 3 および Fig.—6, 7, 8, 9 に特性を参考までに附記しておいた。

PNP 合金接合型ゲルマニウムトランジスタ 低周波増幅用

Tr 2SB113 *

特 長

- 低周波増幅器の段間増幅用に適する。
- 特性が均一である： $h_{fe}(\text{MAX.})/h_{fe}(\text{MIN.})=2$

表—1 絶対最大定格 (周囲温度 T_a=25°C) *

| 項 目 | 略 号 | 定 格 | 単 位 |
|-------------|------------------|---------|-----|
| コレクタ・ベース間電圧 | V _{CBO} | -25 | V |
| エミッタ・ベース " | V _{EBO} | -10 | V |
| コレクタ電流 | I _C | -50 | mA |
| コレクタ損失 | P _C | 100 | mW |
| ジャンクション温度 | T _J | 85 | °C |
| 保存温度 | T _{stg} | -55~+85 | °C |

Fig.— 5 FLIP FLOP CIRCUIT PULSE
WAVE FORM

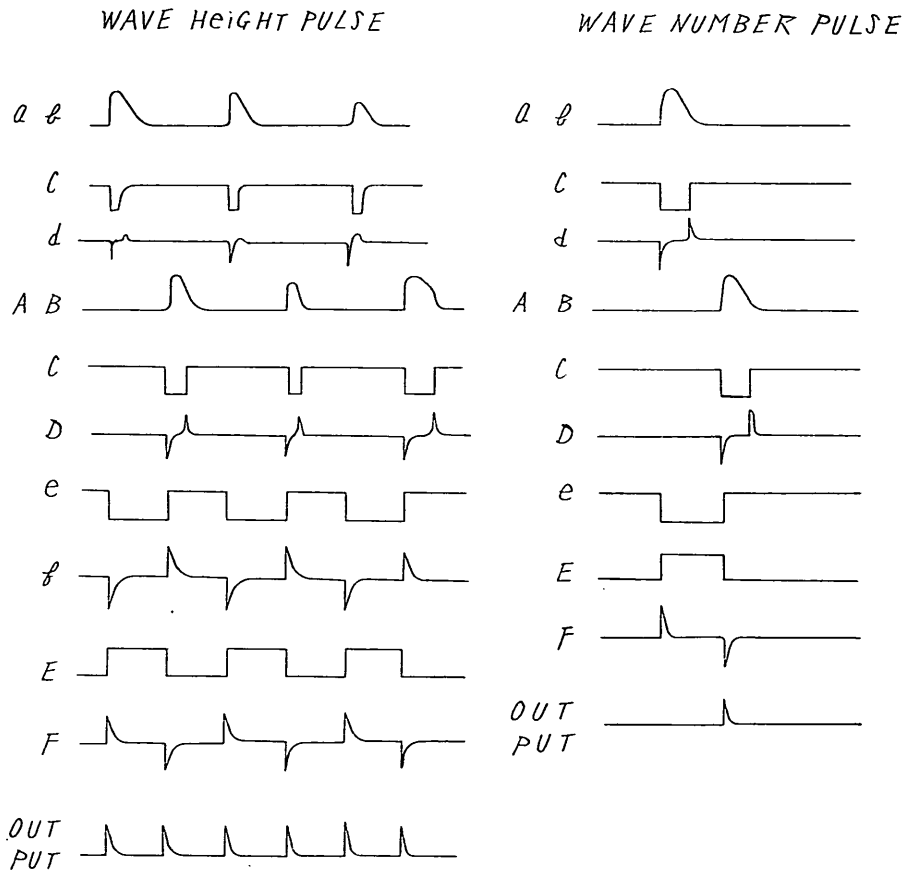


表-2 電 気 的 特 性 (Ta=25°C) *

| 項 目 | 略 号 | 条 件 | 最小 | 標 準 | 最大 | 単 位 |
|-----------------|----------------|---|----|------------|-----|------------------|
| コレクタしや断電流 | I_{CBO} | $V_{CB} = -6.0V, I_E = 0$ | | | -10 | μA |
| 閉路小信号順電流増巾率 | h_{fe} | $V_{CE} = -6.0V, I_E = 1.0mA$ $f = 270c/s$ | 61 | 80(2SB113) | 101 | |
| 閉路小信号入力インピーダンス | h_{ib} | $V_{CB} = -6.0V, I_E = 1.0mA$ $f = 270c/s$ | | 30 | | Ω |
| 開路小信号逆電圧増巾率 | h_{rb} | " | | 2.5 | | $\times 10^{-4}$ |
| 開路小信号出力アドミタンス | h_{ob} | " | | 0.5 | | $\mu\Omega$ |
| α しや断周波数 | $f_{\alpha b}$ | $V_{CB} = -6.0V, I_E = 1.0mA$ | | 1.0 | | Mc |
| 雑音指数 | NF | $V_{CE} = -6.0V, I_E = 1.0mA$ $f = 1000c/s, \Delta f < 100c/s$ $P_g = 500\Omega, G. E.$ | | 10 | | dB |

* 注 表-1, 2, 3 および Fig.-6~9 は日本電気株式会社のカタログより抜萃
(at. NO 71753-A 1966 (41) -1-19)

表-3 動作特性例(Ta=25°C, A級増巾G.E.)*

| 項 目 | 略 号 | 2SB113 | 単位 |
|--------------|----------|--------|----------|
| コレクタ・エミッタ間電圧 | V_{CE} | -6.0 | V |
| 無信号時コレクタ電流 | I_C | -1.0 | mA |
| 負荷インピーダンス | Z_L | 5000 | Ω |
| 入力インピーダンス | Z_i | 2800 | Ω |
| 周 波 数 | f | 1000 | c/s |
| 電力利得(入力整合) | PG | 38 | dB |

次に検出棒が水に接触する時の抵抗変化を Fig. 10に示す。

この抵抗は検出棒の接触面積および水深に反比例するので、パルスの立ち上りを早くするには、電気的には低い抵抗になる程よいが、必ずしもそうとは限らない。

どちらかといえば、過渡現象による発生パルスであるため、水が検出棒につく条件により異なり、または、波高、周期による水位上昇速度が大きな要素となっている。

パルス発生回路の時定数は、Fig.-2の場合入力側には容量性がほとんどない位なので、トランジスタの動作特性として、2SB113 で約 1ms の応答速度をもつことになる。

その他各回路のパルス波形を、写真-3, 4, 5, 6 に示してある。

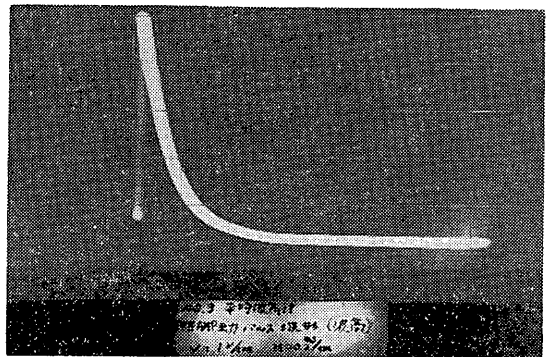


写真-3 プリアンプ出力パルス
波高 $V = V/cm$ $H = 0.2ms/cm$

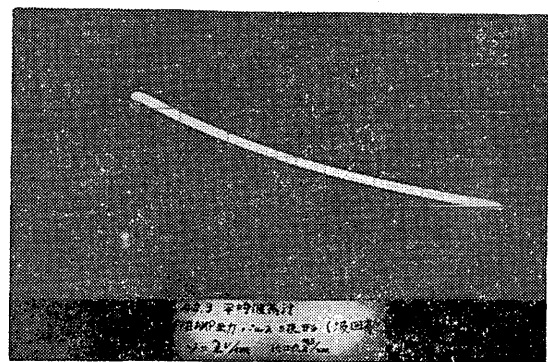
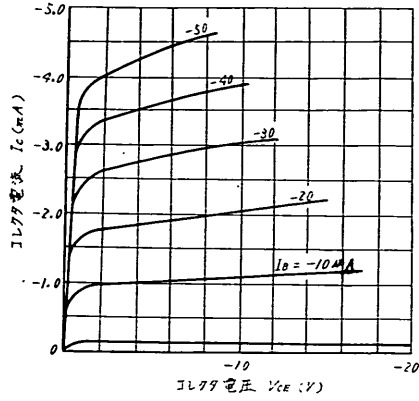


写真-4 プリアンプ出力パルス
波回数 $V = 2V/cm$ $H = 0.2ms/cm$

Fig-6 静特性曲線 ($T_a = 25^\circ\text{C}$)
2SD113 $V_{CE} - I_C$ 特性



外形図 (単位 mm)

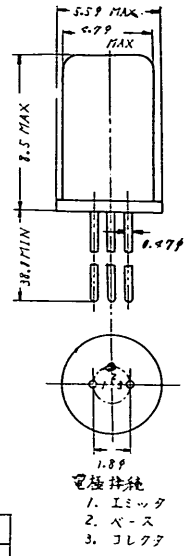


Fig-7 $T_a - h$ 定数特性

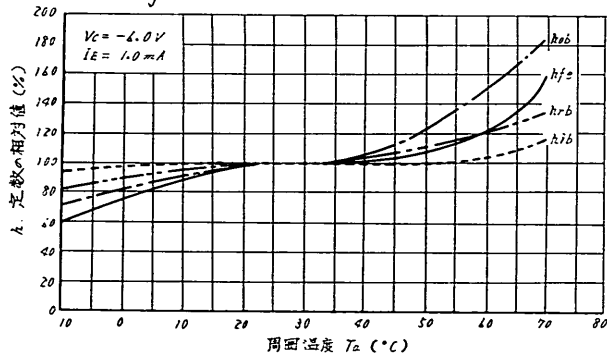


Fig-8 $V_{CE} - h$ 定数特性

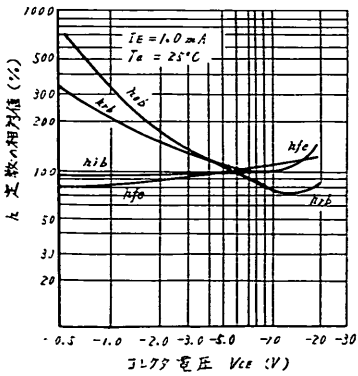
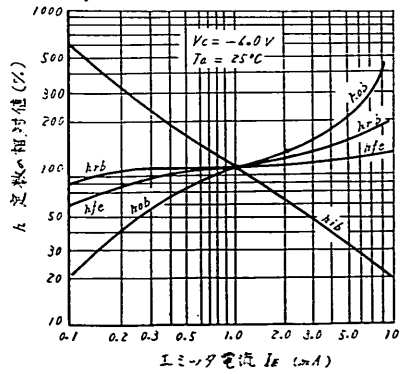
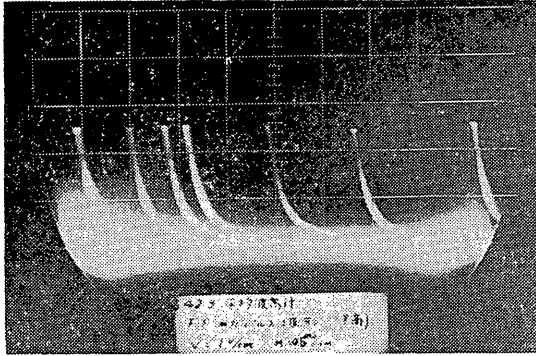
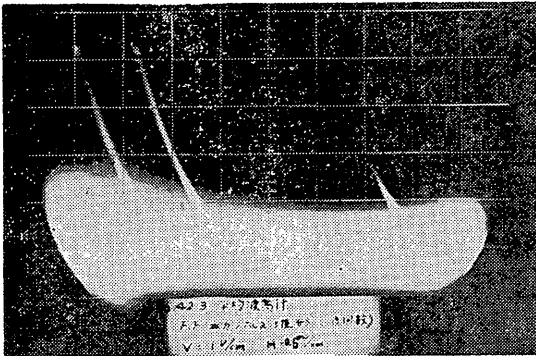


Fig-9 $I_E - h$ 定数特性





写真—5 波高フリップフロップ出力パルス



写真—6 波回数フリップフロップ出力パルス

ii) 基準周波数回路

交流商業周波数50サイクルを両波整流し、シュミット回路により整形して、100 サイクルの矩形波パルスを出力として取り出している。これはカウンタのチェック基準周波数および時間軸として用いるものである。

シュミット回路を、Fig.—11に示す。

この回路はエミッタで結合された正帰還をもっており、入力電圧のある値を境に、出力電圧は二つの値をとる。これは2安定マルチバイブレータとして知られる回路であって、動作原理は、入力信号波形が設定電圧を越えると別の安定点に反転し、それ以上入力電圧が上昇しても無関係である。反対に設定電圧以下になった場合も同じく、その安定点は別の安定点へと反転する。そして入力電圧がいくら低くなくても、無関係に一定であるという動作を繰返すものである。この設定電圧はエミッタ電圧によりほぼきまるもので、次式により求められる。

$$V_i \cong V_{CE} \cdot \frac{R_5}{R_3 + R_4 + R_5}$$

Fig.—10 POLE RESISTANCE OF WATER WITH RESPECT TO IMMERSION DEPTH

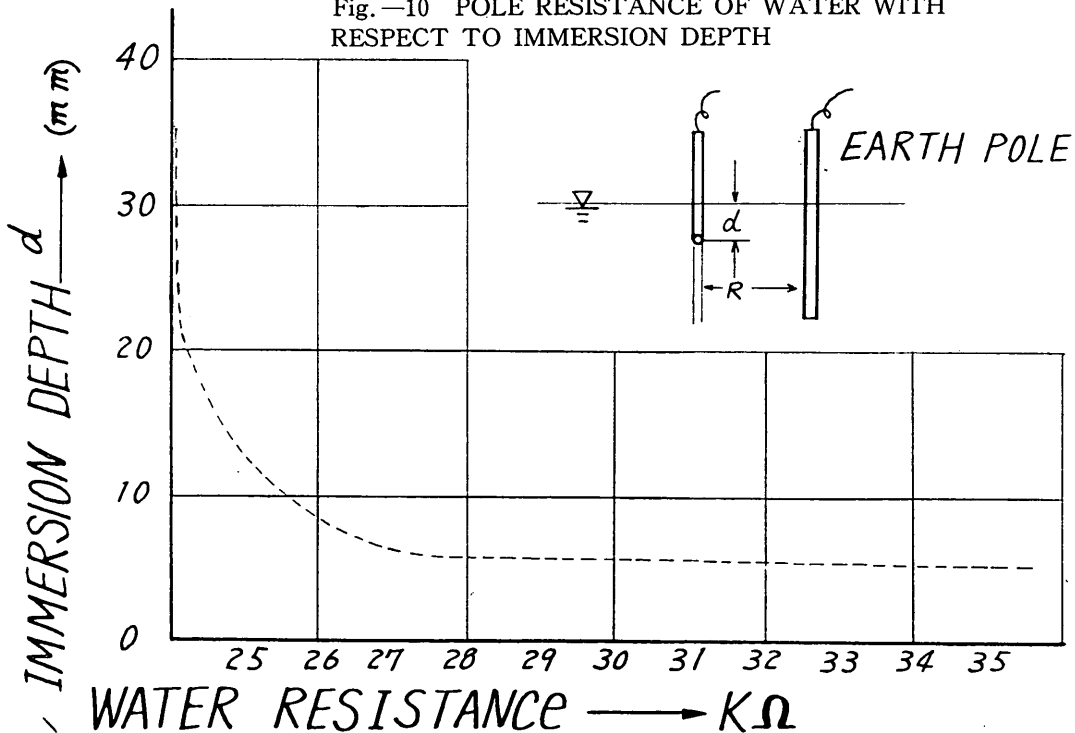
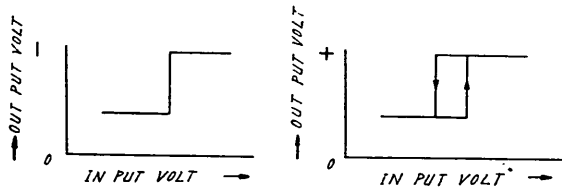
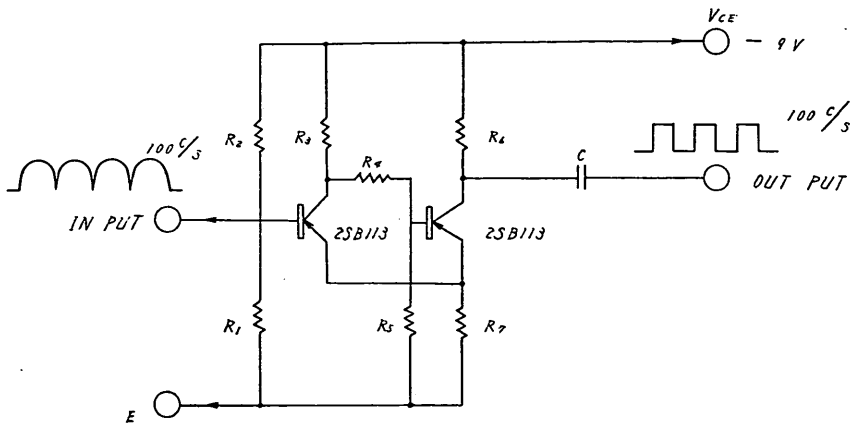


Fig.—11 SCHMITT CIRCUIT



PULSE WAVE FORM

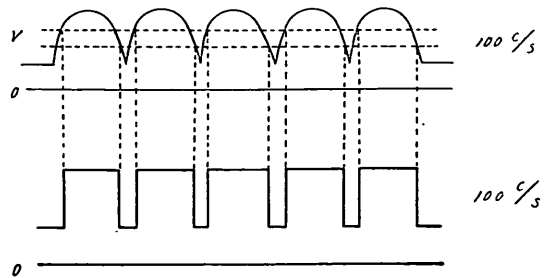
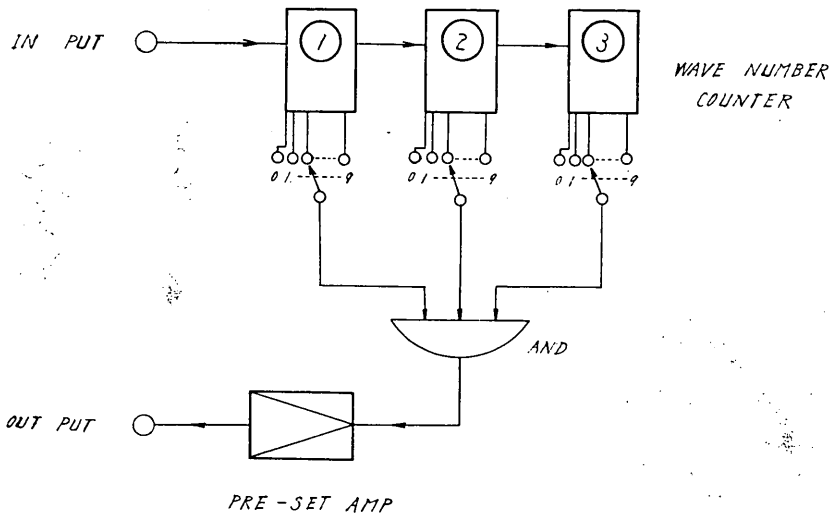
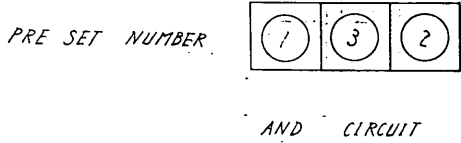
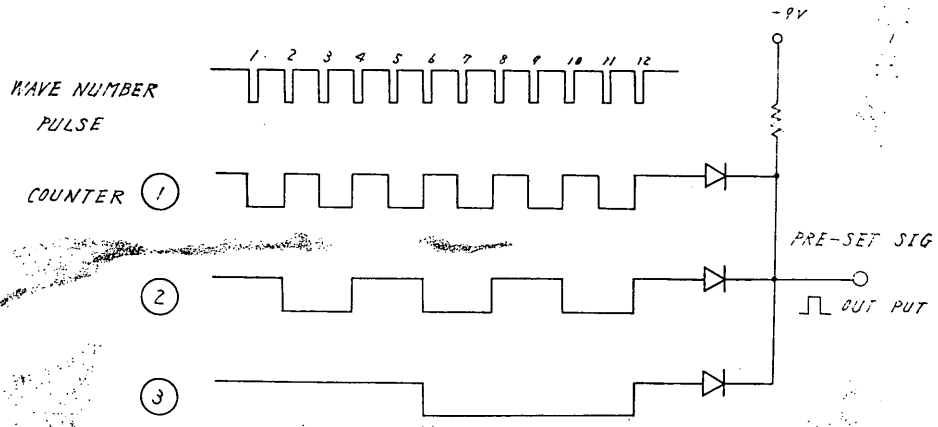


Fig.—12 PRE—SET, CIRCUIT



PULSE WAVE FORM



V_i : 跳躍点電圧

V_{CE} : コレクタ電圧

となる。

この回路は正弦波を矩形波に変換したり、立ち上り、下りの鋭い波形が得られる。

iii) プリ・セット回路

波回数設定回路でこの動作原理は、カウンタの各エレメントからの計数出力パルスを、転換器により任意の値に設定することができる。この設定した数値に計数が達した時に一つのパルス信号が出て、外部の機器を制御するというものである。

電氣的には、AND回路を用い対象としている入力全部が時間的に一致して、パルスが入っている時のみ出力信号を出す。本器はこの出力パルスを増幅および波形整形して、各カウンタの計数ストップ信号としている。

このプリセット回路および動作パルス波形を Fig. -12 に示す。

iv) ゲート回路

最初に各回路をリセットし、次に初期条件の動作記憶装置回路にスタート押釦により、もう一度信号を送ってセットする。これで測定準備が完了し、波回数検出の最初のパルスにより、波高計数カウンタのゲートが導通し積算を開始する。次のパルスで波回数カウンタが1を計数する。そして波回数設定値になるとすべてのゲートを遮断して、計測を終了する。この順序を繰返して測定を行なうものである。このゲート回路の動作パルス波形を Fig. -13 に示す。

この図は、波高および波回数カウンタの動作順序または、ゲートのオン、オフの時間を示していることになる。例として、プリ・セット回数を5に設定した場合に、波回数カウンタは5を、波高カウンタは13を表示して、ストップしていることを示している。

v) カウンタ回路

本器のカウンタの性能を次に示す。

(i) 数字表示管方式

(ii) 桁数 波高積算 : 4桁

波回数積算 : 3桁

(iii) 入力インピーダンス : $1M\Omega$ 50PF (外部)

(iv) 最小入力電圧 : $0.1V_{rms}$ 以上(外部)

(v) 周波数特性 : 30KC

(vi) 精度 : ± 1 カウント/全計数

(vii) 安定度 : 3×10^{-4}

(viii) 計数管自己点検

基準周波数 : 100c/s

基準ゲート時間 : $0.1^s, 1^s, 10^s$

(ix) 表示時間 : $0 \sim 10^s$, or 無限大

(x) 電源 : AC 100V 50c/s

(xi) 計数10進法

カウンタ計数回路は、4組の縦続されたフリップフロップから成っている。これは2進法であり $2^4=16$ ケの入力パルスで、1ケの出力パルスを発生する。これを10進法になおすには、6ケ余分のパルスをフィードバックしてやれば良いことになる。それを行なうには、

$$\begin{aligned}6 &= 2 + 4 \\ &= 2^1 + 2^2\end{aligned}$$

となり 2^{n-1} のパルスを前段に戻してやれば簡単に目的を達せられる。

すなわち3段目から2段目へ、4段目から3段目へパルスを帰還している。この動作パルス波形を、Fig. -14 に示してある。

vi) その他

ディジタル波高計に用いている回路は、一般に用いられている、シュミット回路、フリップフロップ回路、エミッタフォロウ回路および普通の増幅回路等の組合わせによるものである。チェック時間軸の $0.1^s, 1^s, 10^s$ は、100c/sのパルスをバイナリで1/10づつ分割すればよい。

電源部は、交流を整流し、直流電圧+6V、-9V、および表示管の+220Vを、安定回路により供給している。

プリンタ部は、メーカーのものをそのまま使用した。

3. ピックアップ部

ピックアップが波に影響を与えないよう、または検出棒等については、実験により形状を求めたもので、側面の検出棒は波回数測定用である。

Fig. -15および写真-7, 8に示す。

Fig. —13 GATE CIRCUIT PULSE FORM

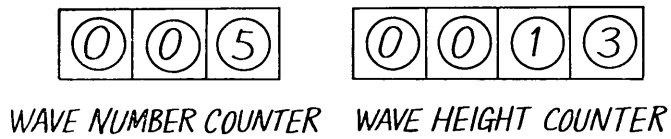
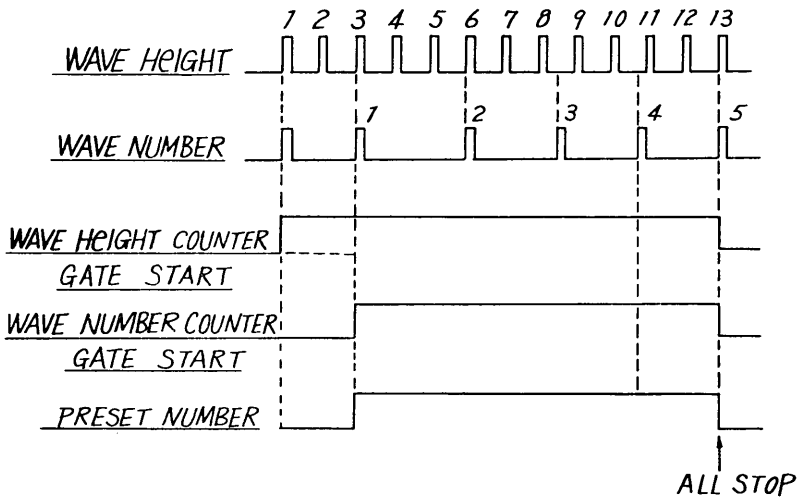


Fig. -14 BINARY PULSE WAVE FORM

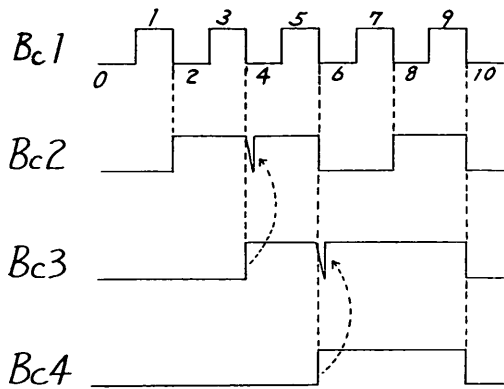


写真-7 ピックアップ P-1, P-2

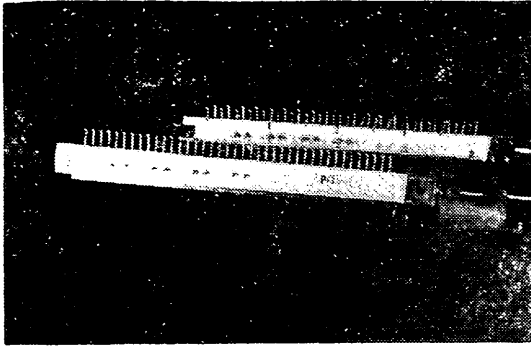


写真-8
ピックアップ P-3



Fig. 16(a) PICKUP SUPPORT

平面図 縮尺 1/1 単位 mm

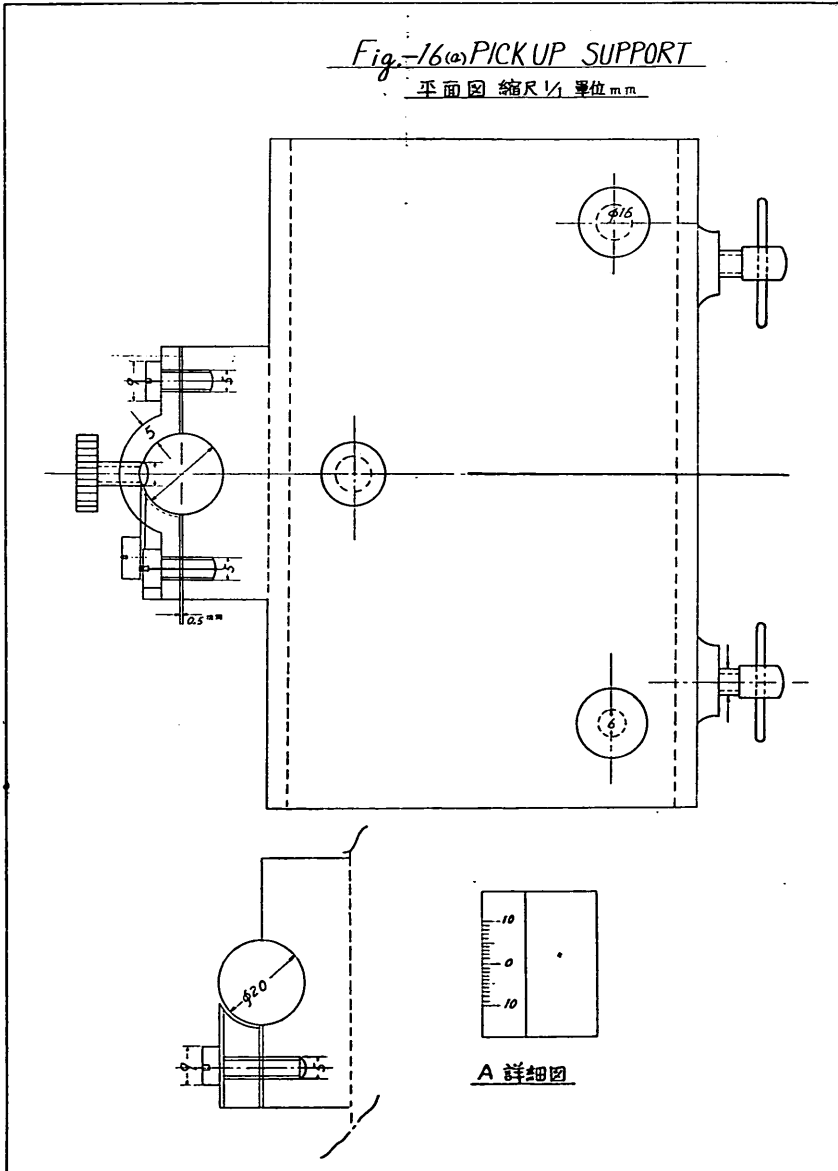
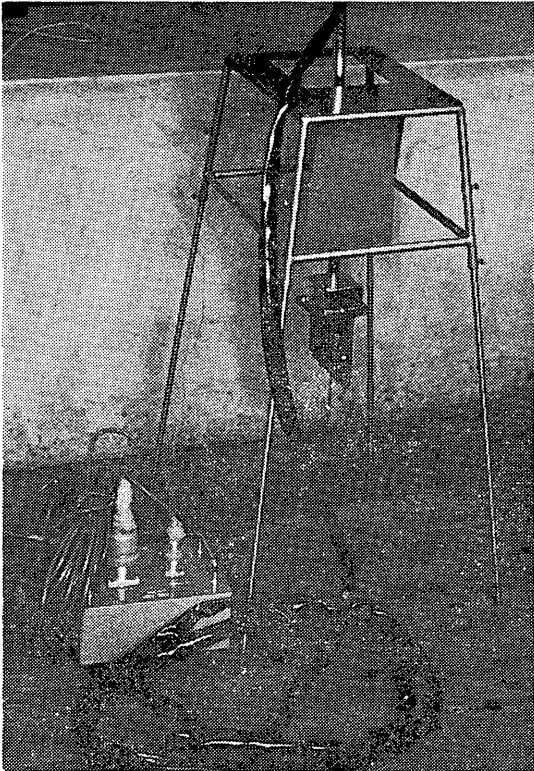
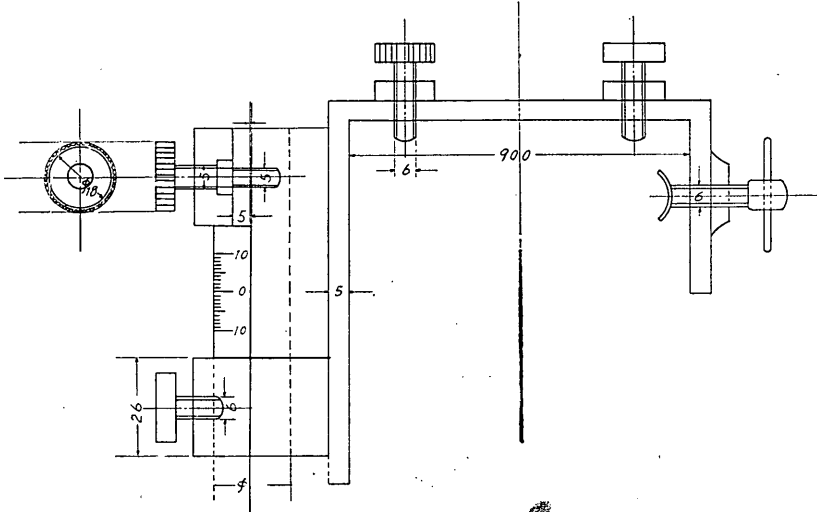
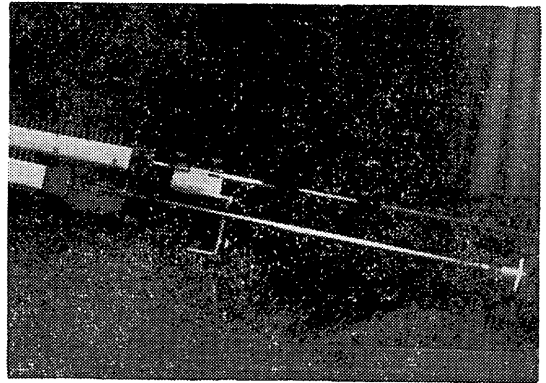


Fig.—16(b) PICK UP SUPPORT 側面図 單位：mm



写真—9 架台 (P—3)



写真—10 架台 (P—1—2)

4. 架台部

架台は、Fig. 16(a), 16(b) および写真—9, 10に示す。

5. 測定上の取り扱い

i) 検出棒の点検

検出棒が水に入っている時は、常時固定抵抗および水の抵抗を通して電流が流れるため、先端の導通部分が腐蝕し接触抵抗が増して、パルス発生に影響する。それで計測の前に点検し、ピックアップを水に出し入れしてチェックする必要がある。

ii) プリセットの点検

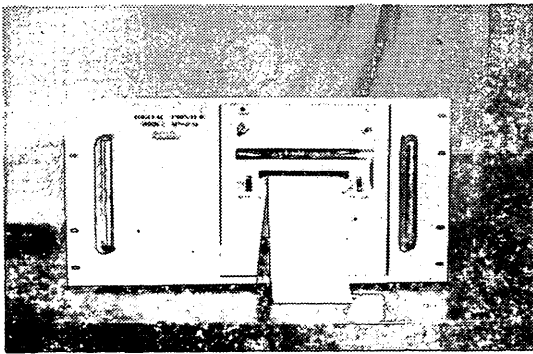
波回数設定数に達した時、各カウンタの計数がストップするかを調らべる。

iii) カウンタの点検

基準周波数 100c/s にて、ゲート時間内の表示数を点検する。

vi) その他

ピックアップはアクリル板であるため、熱または偏心荷重を与えると、湾曲するため保守には注意を要する。その他プリント板とソケットの接触不良は、動作を不安定にする原因となる。(プリントも動作状態をしらべる。写真11はプリントを示す)



写真—11 プリント

6. 測定条件

6—1 電気回路による精度

電気回路としての精度は、波のチャタリング防止として、フリップフロップ回路が設けてある。この回路は、奇数および偶数群に分かれているため、検出棒が奇数で終り、次の波が奇数から始ま

る場合には、プリアンプの出力パルスは出ていても、カウンタには計数しない性質をもっている。このために誤差として最悪の場合で検出棒間隔の約2倍という結果がでてくることになる。これは、ピックアップの位置を上下に少しずらすことにより、いくらか補正することができる。

6—2 規則波の場合による精度

波が規則的で二次波峰のない波については、波高の誤差は検出棒間隔に止どまる。しかし、二次波峰があると、その分だけ多くカウントするので、この場合はカウンタにてその値を読み、積算値より差引いてやれば真値に近づく。

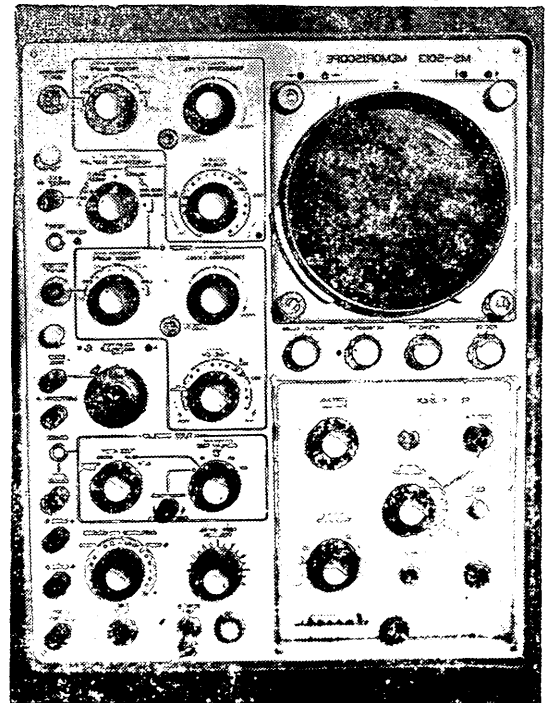
6—3 不規則波の場合による精度

不規則波がある一定の周期であると、見なされる位置に波回数検出棒を設定する。これは、2点間の距離を転換器により、任意に設定することができる。

規則波、不規則波のいずれも、二次波峰の波高の絶対値と、測定波高の絶対値との比に関係するものである。

6—4 水位上昇速度の測定法

この種のデジタル波高計は、検出棒の間隔が一定であるため、パルス間の時間を測定すること



写真—12 メモリスコープ

により、水位上昇速度を簡単に求めることができる。記録方法はメモリスコープまたは電磁オシログラフ印画紙に取ればよい。この時水位の零レベルを切るパルスも、同時に記録した方がよい。写真-12はメモリスコープである。

7. 性能試験

7-1 実験方法

i) 実験施設は中型造波水路で、長さ33.1m、幅0.48m、深さ0.97mである。これらの水路の詳細については、鶴田、合田(1959)を参照されたい。

ii) デジタル波高計と、抵抗線式波高計を同時に記録して比較した。

iii) 規則波は、水深40cmと50cmについて、周期と波高を変えて実験を行なった。

vi) 不規則波は、バイエルを動かして、周期をある間隔で変化させて記録をしたものである。

v) 水位上昇はメモリスコープにより、写真撮影し、同時に波高もビジグラフに記録した。その他のパルス波形もメモリスコープを使用したものである。

iv) ピックアップの検出棒および形状等についても、各種の実験によりきめたものである。

以上の方法により実験を行なった結果について述べることにする。

7-2 規則波について

規則波のデジタル波高計とオシログラフの比

較を、Fig-17(a), 17(b) および Fig-18(a), (b) に示してある。このグラフは水深40cmと50cmの場合で(a)は抵抗線式波高計で値は、波の谷から山までの絶対値で、デジタル波高計は二次波峰も含んでいる値である。(b)の方は、アナログもデジタルも二次波峰を含んだ値である。

このグラフによると、(a)の二次波峰の大きな波は差があり、(b)の方は差がちままるのは当然である。また二次波峰がない波で誤差が大きくでているものは、先に述べた電気的なものと、ピックアップの位置によるものと考えられる。P-1はピックアップの検出棒が、縦に並んでいる型で、P-2はちどり形に配列してある。このFig-17~18は、規則的な波であるから、一波について比較したものである。

次に100波の記録について比較したものを表-4に示した。

この場合もピックアップを4mm上げ下げすることにより、値が異なってくるが誤差としては、検出棒の間隔にとどめることが可能と思われる。なお記録例の100波のグラフは、波回数がNo.1より101となっているのは、1波目の波高は波回数検出棒の位置から計数を始め、101波目でその点に来ると終了するためである。しかしMODEL-2に対しては、1から100の指示したものである。Fig-19~20は波の記録例を示したものである。

表-4 規則波(100波)のアナログとデジタル値の比較

主要記号

| | | | |
|-------------|------------|---|---------------------|
| h | 水深 | \bar{H}_0 | $\bar{H} - \bar{h}$ |
| T | 波の周期 | h | デジタルの二次波峯値 |
| e | 造波機の振巾(偏心) | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H} \cdot \bar{H}_x} \cdot 100$ % | カウンタとアナログの誤差(%) |
| \bar{H} | デジタルの平均値 | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \cdot 100$ % | 二次波峯を引いたアナログとの誤差(%) |
| \bar{H}_x | アナログの平均値 | P-1 | 検出棒 縦続配列 |
| | | P-2 | 検出棒 ちどり形配列 |

h = 50cm T = 3.0sec e = 12.0cm P - 1

| Case No. | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備 考 |
|----------|-----------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 10.22 | 10.0 | | +2.2% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 9.96 | " | | -0.4% | | | " |
| 3 | 10.01 | " | | +0.1% | | | " |
| 4 | 10.00 | " | | " | | | " |
| 5 | 10.00 | " | | " | | | " |

h = 50cm T = 3.5sec e = 12.0cm P - 1

| Case | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備 考 |
|------|-----------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 7.98 | 9.00 | | -12.7% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 7.99 | " | | -12.6% | | | " |
| 3 | 8.00 | " | | -12.5% | | | " |
| 4 | " | " | | 0 | | | " |
| 5 | " | " | | 0 | | | " |

h = 50cm T = 2.5sec e = 12.0cm P - 1

| Case | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備 考 |
|------|-----------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 12.00 | 12.01 | | 0 | | | 二次波峯なし |
| 2 | " | 12.00 | | 0 | | | " |
| 3 | " | " | | 0 | | | " |
| 4 | " | " | | 0 | | | " |
| 5 | " | " | | 0 | | | " |
| 6 | 12.01 | 12.289 | | -2.4% | | | " |

h = 50cm T = 1.0sec e = 4.0cm P - 1

| Case | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備 考 |
|------|-----------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 7.82 | 8.50 | | -8.7% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 7.74 | " | | -9.8% | | | " |
| 3 | 7.99 | " | | -6.4% | | | " |
| 4 | 8.00 | " | | -6.3% | | | " |
| 5 | 8.21 | " | | -6.1% | | | " |

h = 50cm T = 1.5sec e = 4.0cm P - 1

| Case | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備 考 |
|------|-----------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 6.00 | 7.33 | | -22.1% | | | 二次波峯なし |
| 2 | " | " | | " | | | " |
| 3 | " | " | | " | | | " |
| 4 | 6.74 | " | | -8.8% | | | " |
| 5 | 6.00 | " | | -22.1% | | | " |

h = 50cm T = 2.0sec e = 20.0cm P-1

| Case No. | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備 考 |
|----------|-----------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 18.67 | 19.87 | | -6.4% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 20.01 | " | | +0.7% | | | |
| 3 | 19.44 | " | | -2.2% | | | |
| 4 | 19.10 | " | | -4.0% | | | |
| 5 | 18.78 | " | | -5.8% | | | |

h = 50cm T = 2.5sec e = 20.0cm P-1

| Case | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 備 考 |
|------|-------|--------|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| | 18.00 | 20.122 | | | | | | | | 二次波峯なし |
| | 18.18 | " | | | | | | | | " |
| | 18.00 | " | | | | | | | | " |
| | 20.00 | " | | | | | | | | " |
| | 20.04 | " | | | | | | | | " |
| | 20.00 | " | | | | | | | | " |
| | 20.00 | " | | | | | | | | " |
| | 20.00 | " | | | | | | | | " |
| | 19.12 | 20.499 | | | | | | | | " |
| | 18.18 | 20.122 | | | | | | | | " |

h = 50cm T = 3.0sec e = 20.0cm P-1

| Case | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 備 考 |
|------|-------|--------|-------|--------|--------|-------------|
| | 20.02 | 19.904 | 19.02 | + 4.8% | - 4.6% | 1パルス 二次波峯あり |
| | 22.00 | " | 20.00 | + 9.5% | + 0.5% | 2パルス " |
| | 22.01 | " | 20.01 | + 9.6% | + 0.5% | " " |
| | 21.96 | " | 19.96 | + 9.4% | + 0.2% | " " |
| | 21.84 | " | 19.84 | + 8.9% | - 0.3% | " " |

h = 50cm T = 3.5sec e = 20.0cm P-1

| Case | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 備 考 |
|------|-------|--------|-------|--------|--------|-------------|
| | 18.00 | 17.607 | 16.15 | + 2.2% | - 8.8% | 2パルス 二次波峯あり |
| | " | " | 16.00 | " | -10.0% | " " |
| | " | " | " | " | " | " " |
| | " | " | " | " | " | " " |
| | " | " | " | " | " | " " |

h = 50cm T = 1.0sec e = 12.0cm P-1

| Case No. | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h_0 | 備 考 |
|----------|-----------|-------------|-------------|--|--|-------|--------|
| 1 | 14.03 | 15.542 | | -10.8% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 14.05 | " | | -10.6% | | | " |
| 3 | 14.13 | " | | -10.0% | | | " |
| 4 | 14.39 | " | | -8.0% | | | " |
| 5 | 15.77 | " | | +1.5% | | | |

h = 50cm T = 1.5sec e = 12.0cm P-1

| Case | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h_0 | 備 考 |
|------|-----------|-------------|-------------|--|--|-------|--------|
| 1 | 18.05 | 19.026 | | -5.4% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 17.65 | " | | -7.8% | | | " |
| 3 | 16.95 | " | | -12.2% | | | " |
| 4 | 16.09 | " | | -18.2% | | | " |
| 5 | 16.33 | " | | -16.5% | | | " |

h = 50cm T = 2.0sec e = 12.0cm P-1

| Case | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h_0 | 備 考 |
|------|-----------|-------------|-------------|--|--|-------|--------|
| 1 | 10.02 | 11.497 | | -14.7% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 10.00 | " | | -15.0% | | | " |
| 3 | 10.00 | " | | -15.0% | | | " |
| 4 | 9.99 | " | | -15.1% | | | " |
| 5 | 10.01 | " | | -14.8% | | | " |

h = 50cm T = 3.2sec e = 28.0cm P-1

| Case | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h_0 | 備 考 |
|------|-----------|-------------|-------------|--|--|-------|--------|
| 1 | 30.00 | 28.502 | 28.00 | +5% | -1.8% | 2パルス | 二次波峯あり |
| 2 | " | " | " | " | " | " | " |
| 3 | 29.98 | " | 27.98 | +4.9% | " | " | " |
| 4 | 30.00 | " | " | +5% | " | " | " |

h = 40cm T = 2.0sec e = 20.0cm P-2

| Case | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h_0 | 備 考 |
|------|-----------|-------------|-------------|--|--|-------|--------|
| 1 | 19.98 | 20.023 | | -0.2% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 20.02 | " | | -0.01% | | | " |
| 3 | 19.99 | " | | -0.1% | | | " |
| 4 | 20.00 | " | | -0.1% | | | " |
| 5 | 19.99 | " | | -0.1% | | | " |

h = 40cm T = 2.0sec e = 12.0cm P - 2

| Case No. | \bar{H} . | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備考 |
|----------|-------------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 5.00 | 5.00 | | 0 | | | 二次波峯なし |
| 2 | 9.56 | 10.054 | | - 5.2% | | | " |

h = 40cm T = 2.5sec e = 20.0cm P - 2

| Case | \bar{H} . | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備考 |
|------|-------------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 16.00 | 17.21 | | - 7.5% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 15.99 | 16.915 | | - 5.8% | | | " |
| 3 | 16.00 | 17.21 | | - 7.6% | | | " |
| 4 | 15.98 | " | | - 7.7% | | | " |
| 5 | 16.00 | " | | - 7.6% | | | " |

h = 40cm T = 3.0sec e = 20.0cm P - 2

| Case | \bar{H} . | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備考 |
|------|-------------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 18.96 | 17.888 | 16.96 | + 5.7% | - 5.2% | | 二次波峯なし |
| 2 | 18.02 | 16.482 | 16.02 | + 8.5% | - 2.9% | | " |
| 3 | 19.78 | 17.888 | 17.78 | + 9.6% | - 0.6% | | " |
| 4 | 19.90 | " | 17.90 | +10.1% | + 0.06% | | " |
| 5 | 20.10 | " | 18.10 | +11.0% | + 1.2% | | " |

h = 40cm T = 3.72sec e = 28.0cm P - 2

| Case | \bar{H} . | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備考 |
|------|-------------|-------------|-------------|--|--|------|--------|
| 1 | 26.00 | 19.692 | 19.00 | +24.3% | - 3.6% | 7パルス | 二次波峯あり |
| 2 | " | " | " | " | " | " | " |
| 3 | " | " | " | " | " | " | " |
| 4 | " | " | " | " | " | " | " |
| 5 | " | " | " | " | " | " | " |
| 6 | " | " | " | " | " | " | " |

h = 40cm T = 3.2sec e = 28.0cm P - 2

| Case | \bar{H} . | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備考 |
|------|-------------|-------------|-------------|--|--|------|--------|
| 1 | 25.84 | 22.592 | 21.84 | +12.6% | - 3.4% | 4パルス | 二次波峯あり |

$h = 40\text{cm}$ $T = 3.2\text{sec}$ $e = 28.0\text{cm}$ $P - 2$

| Case No. | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備 考 |
|----------|-----------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 13.94 | 13.739 | | + 1.4% | | | 二次波峯なし |
| 2 | 13.92 | " | | + 1.3% | | | " |
| 3 | 13.90 | " | | + 1.2% | | | " |
| 4 | 13.92 | " | | + 1.3% | | | " |
| 5 | 13.94 | " | | + 1.4% | | | " |
| 6 | 13.98 | " | | + 1.7% | | | " |
| 7 | 13.80 | " | | + 0.4% | | | " |
| 8 | 13.86 | " | | + 0.9% | | | " |
| 9 | 13.74 | " | | " | | | " |
| 10 | 13.92 | " | | + 1.3% | | | " |

Fig. -17(a)

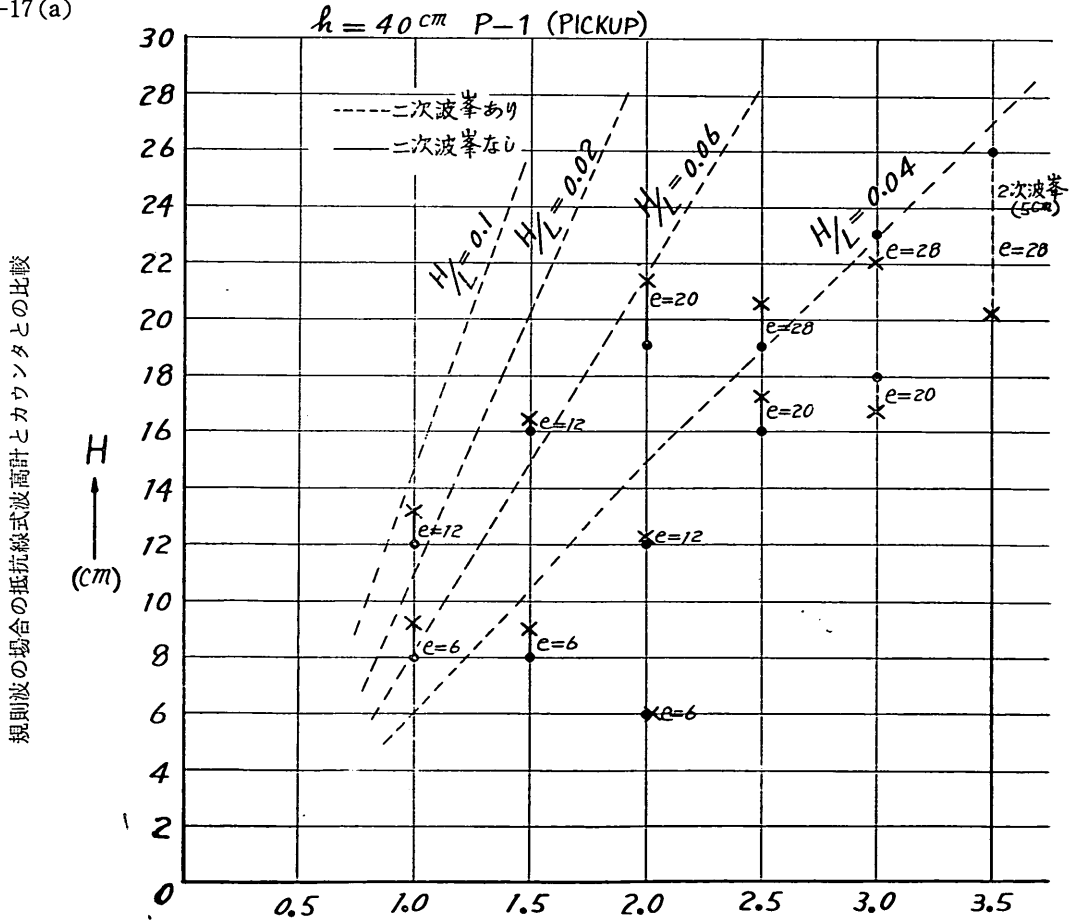
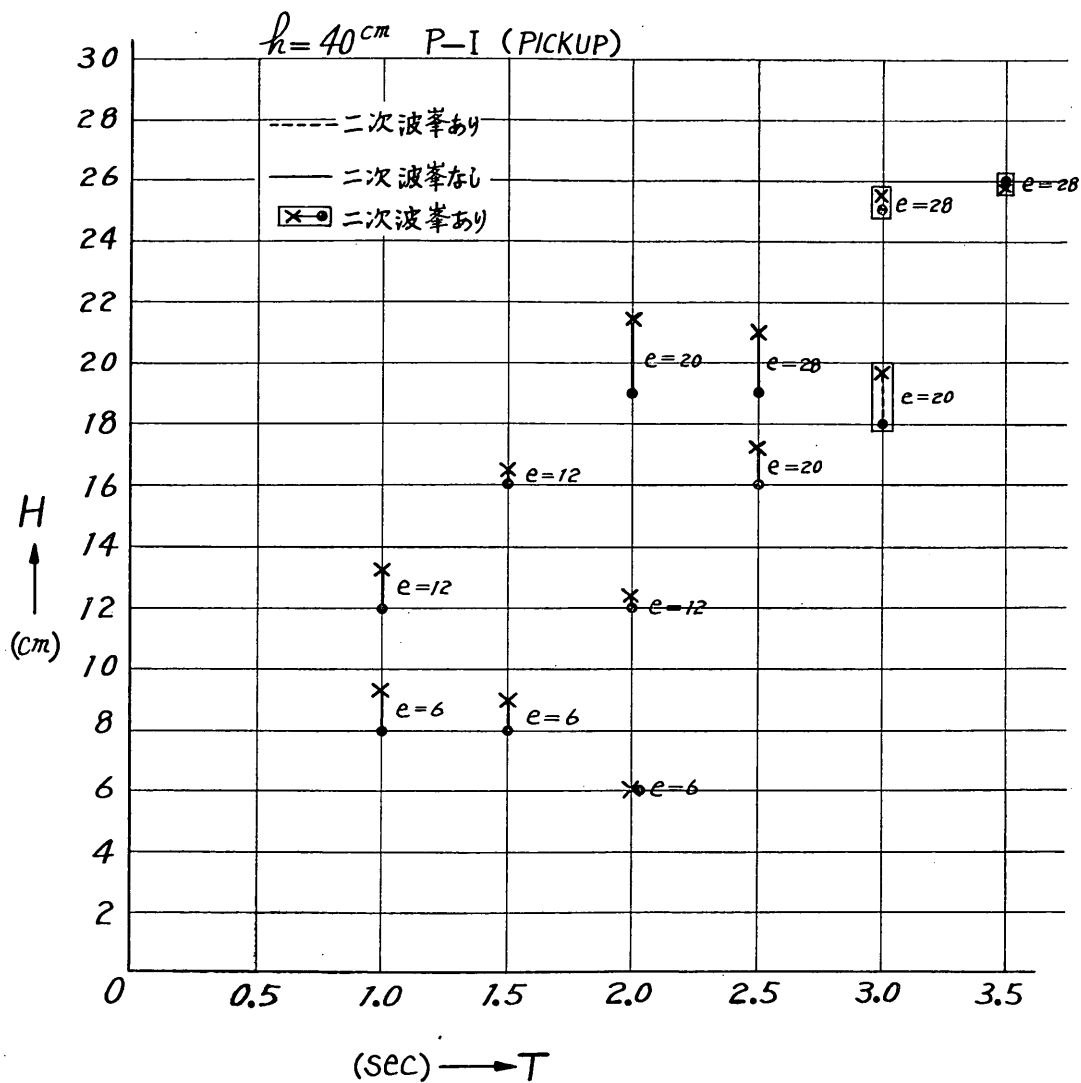
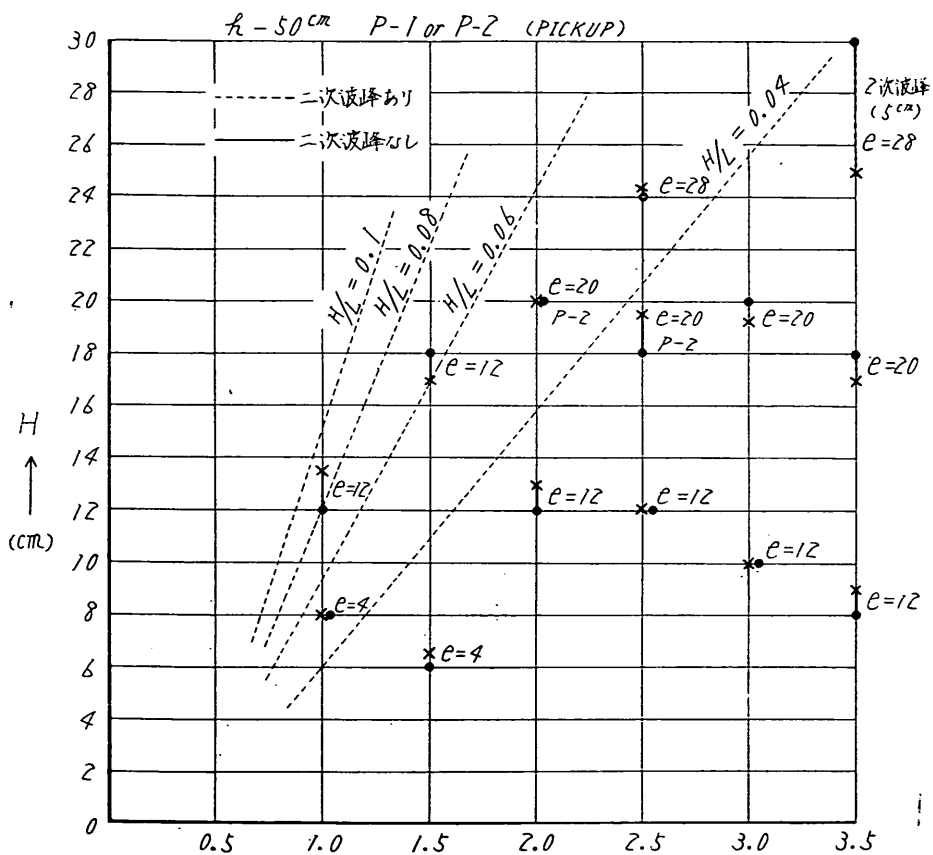


Fig. -17(b) 規則波の場合の抵抗線式波高計とカウンタとの比較



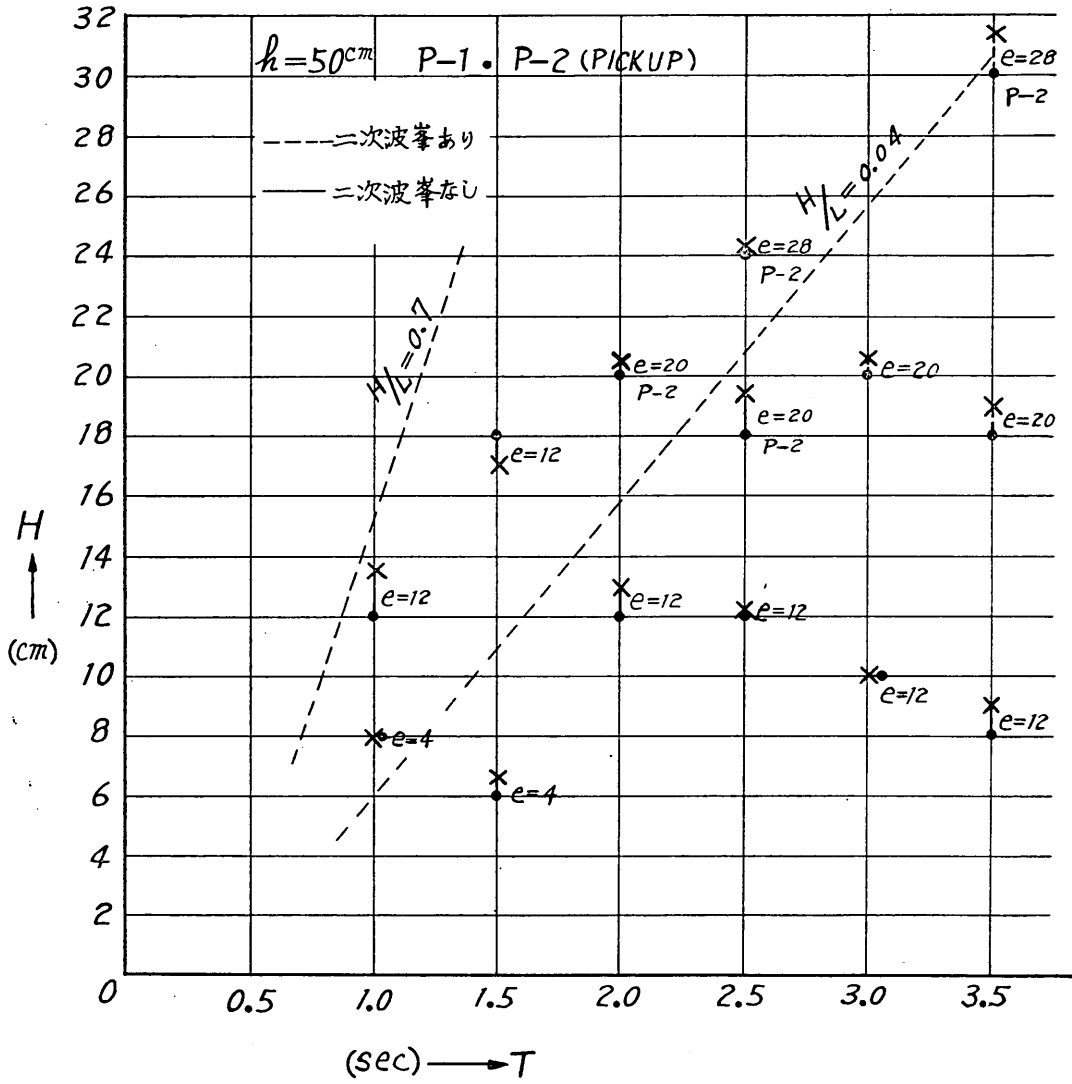
(注) × 抵抗線式波高計記録 (二次波峰も含む値)
 • カウンタ記録 (二次波峰も含む値)

Fig. —18(a) 規則波の場合の抵抗線式波高計とカウンタとの比較



- (注) × 抵抗線式波高計記録 (最低から最高の絶対値)
 • カウンタ記録 (二次波峰の誤差を含む値)

Fig. —18(b) 規則波の場合の抵抗線式波高計とカウンタとの比較



(注) × 抵抗線式波高計記録 (二次波峰も含む値)
 • カウンタ記録 (二次波峰も含む値)

Fig-19 h : 水深 T : 波の周期 e : 波根幅 H : デジタルの平均値 \bar{H}_x : アログの平均値 H_L : $H-R$ H_s : デジタルの二次波高値
 ---: アログ値 ---: デジタル値 \times : アログ二次波高 (絶対値)

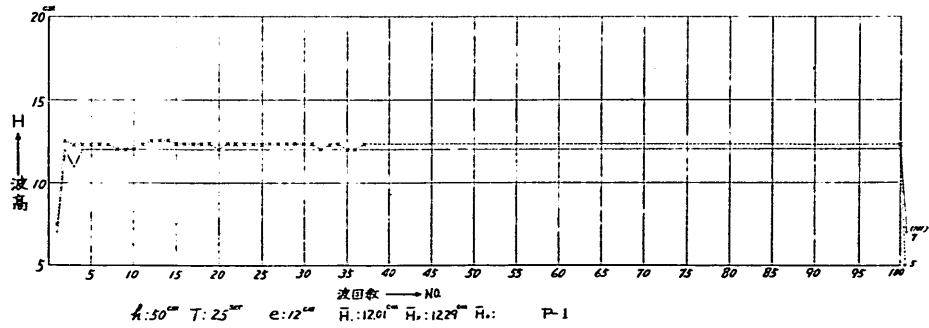
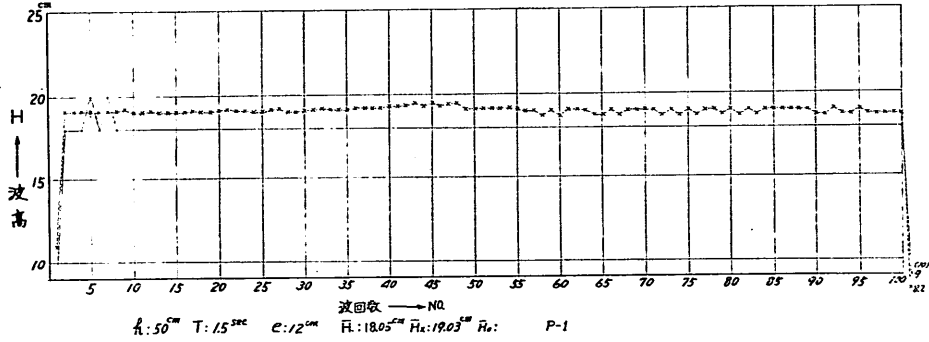
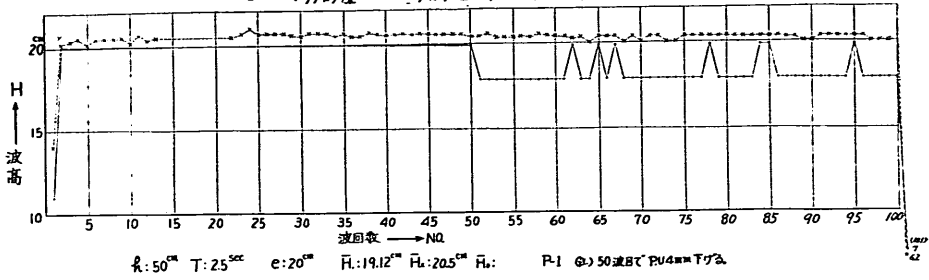


Fig-20 h :水深 T :波の周期 e :造波機振幅 H :デジタルの平均値 H_x :アナログの平均値 H_c : $H_c - h$ H_s :デジタルの二次波振幅
 x---:アナログ値 ---:デジタル値 y:アナログ二次波振幅(絶対値)

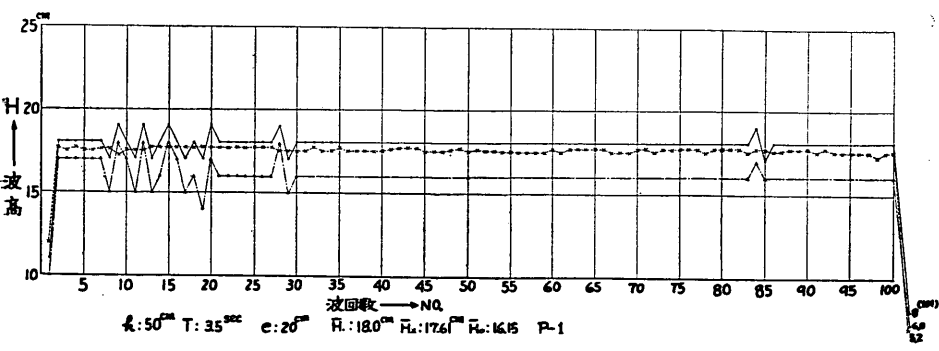
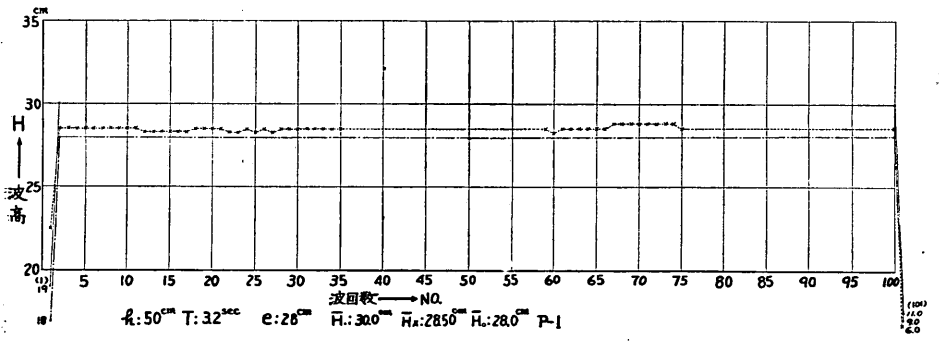
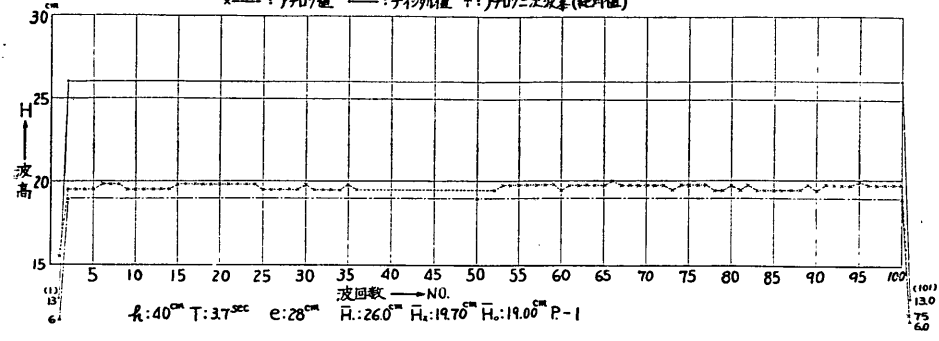


表-5 不規則波 (100波) のアナログとデジタル値の比較

| Case No. | (cm) h | (sec) T | (cm) e | \bar{H} | \bar{H}_x | \bar{H}_0 | $\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$ | $\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$ | h. | 備 考 |
|----------|-----------|------------|-----------|-----------|-------------|-------------|--|--|----|--------|
| 1 | 40 | 1.0 | 4.0 | 8.00 | 7.442 | | +7.0% | | | 二次波峰なし |
| 2 | 50 | 1.5~3.5 | " | 13.13 | 13.645 | 12.92 | -3.9% | -5.6% | | 二次波峰あり |
| 3 | 40 | 1.0 | 6.0 | 13.62 | 14.26 | | -4.7% | | | " なし |
| 4 | " | " | " | 12.45 | 11.34 | | -8.9% | | | " |
| 5 | " | 2.0 | 12.0 | 14.28 | 15.329 | 14.27 | -7.3% | -7.4% | | 二次波峰あり |
| 6 | " | 1.0~2.5 | " | 12.17 | 12.506 | 12.15 | -2.8% | -2.9% | | " |
| 7 | " | " | " | 12.25 | 12.407 | 12.23 | -1.4% | -1.5% | | " |
| 8 | 50 | 1.5~3.5 | " | 13.02 | 13.578 | 12.85 | -4.3% | -5.7% | | " |
| 9 | " | " | " | 13.24 | 13.599 | 13.02 | -2.7% | -4.4% | | " |
| 10 | " | " | " | 12.78 | 13.383 | 12.60 | -4.7% | -6.2% | | " |
| 11 | " | " | " | 12.90 | 13.371 | 12.73 | -3.7% | -5.0% | | " |
| 12 | " | " | " | 13.47 | 14.07 | 13.34 | -4.5% | -5.5% | | " |
| 13 | " | " | " | 13.62 | 14.144 | 13.55 | -3.8% | -3.3% | | " |
| 14 | " | 1.5~2.5 | " | 13.58 | 14.169 | 13.36 | -4.3% | -6.1% | | " |
| 15 | " | " | " | 13.60 | 14.37 | 13.52 | -5.7% | -6.3% | | " |
| 16 | " | " | " | 13.84 | 14.554 | 13.66 | -5.2% | -6.5% | | " |
| 17 | " | 1.5~2.0 | " | 14.33 | 15.243 | | -6.4% | | | 二次波峰なし |
| 18 | " | " | " | 14.36 | 15.063 | | -4.9% | | | " |
| 19 | " | " | " | 14.42 | 15.407 | | -6.8% | | | " |
| 20 | 40 | 1.5 | " | 21.75 | 22.592 | | -3.9% | | | " |
| 21 | " | 1.5~3.0 | 20.0 | 17.56 | 17.201 | 17.16 | +2.0% | -0.2% | | 二次波峰あり |
| 22 | " | 2.0~3.0 | " | 15.52 | 15.905 | 15.00 | -2.5% | -6.0% | | " |
| 23 | 50 | 1.5~2.5 | " | 20.83 | 21.98 | 20.62 | -5.5% | -6.6% | | " |
| 24 | " | 1.7~3.5 | " | 20.23 | 21.439 | 19.85 | -5.9% | -8.0% | | " |
| 25 | " | 1.7~3.0 | " | 21.22 | 23.017 | | -8.4% | | | 二次波峰なし |
| 26 | " | " | " | 21.17 | 22.888 | 21.15 | -8.1% | -8.2% | | " あり |

h : 水深

T : 波の周期

e : 造波機の振巾 (偏心)

\bar{H} : カウンタの平均値

\bar{H}_x : アナログの平均値

\bar{H}_0 : $\bar{H} - h$.

h. : カウンタ二次波峰の値

$\frac{\bar{H} - \bar{H}_x}{\bar{H}} \times 100\%$: カウンタとアナログの誤差 (%)

$\frac{\bar{H}_0 - \bar{H}_x}{\bar{H}_0} \times 100\%$: 二次波峰を引いたアナログとの誤差 (%)

7-3 不規則波について

不規則波の場合、すべて100波を記録しアナログとデジタルの値を比較したものを表-5に示してある。このピックアップの検出棒間隔はすべて1cmである。

この表を見ると、規則波の二次波峰による誤差

は、波の性質上著しく現われない。これは波回数として計数しない波高が少ないことを意味している。今回の実験では波高の小さい波がすくないが、波高が最大と最小に差があるようなものでは、有義波高の設定により、誤差が違ってくると思われる。Fig.-21, Fig.-22は記録例である。

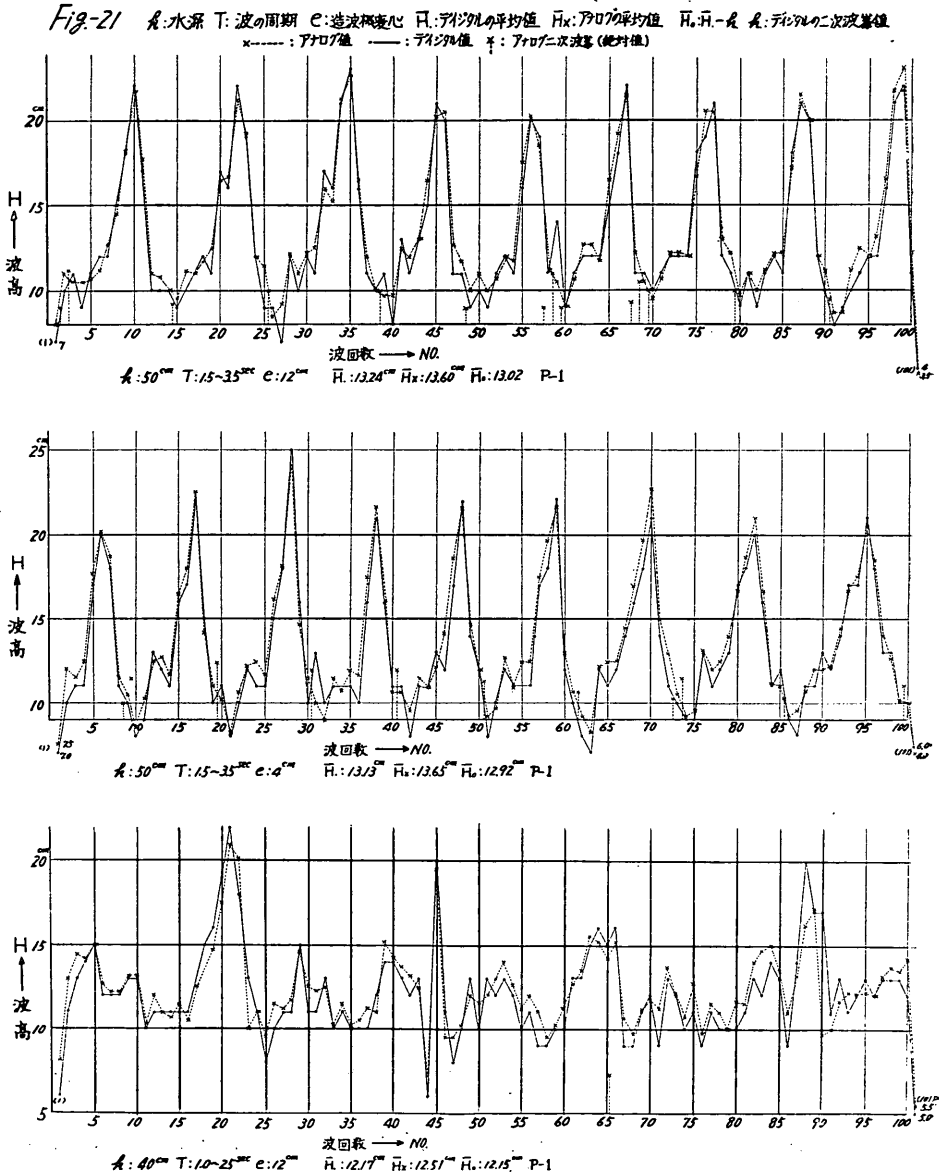


Fig-22 λ : 水深 T: 波周期 e: 造波機軸心 H: テイジの平均値 \bar{H} : テイジの平均値 \bar{H}_1, \bar{H}_2 : テイジの二次算値
: テイジ値: テイジ値: テイジ二次算値(絶対値)

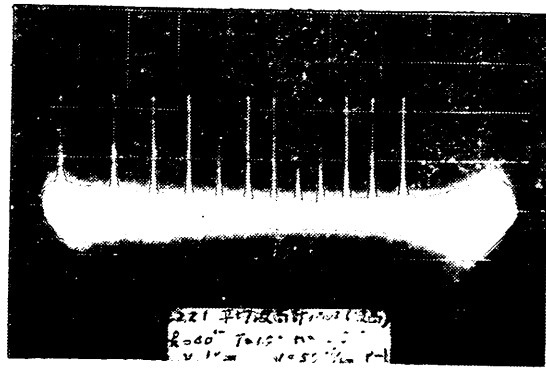
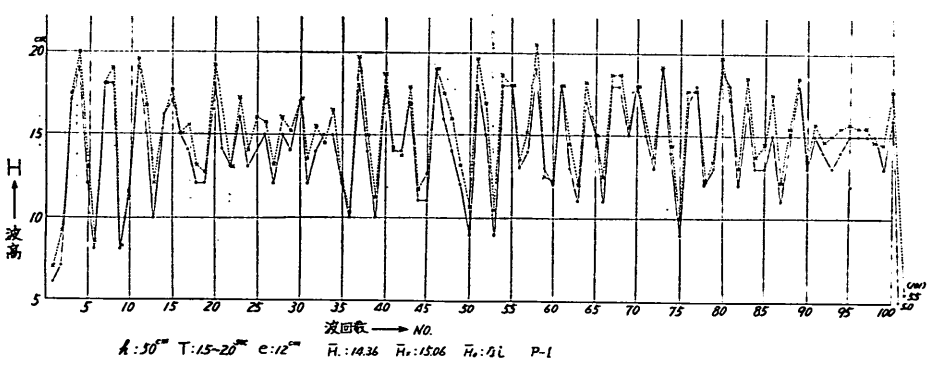
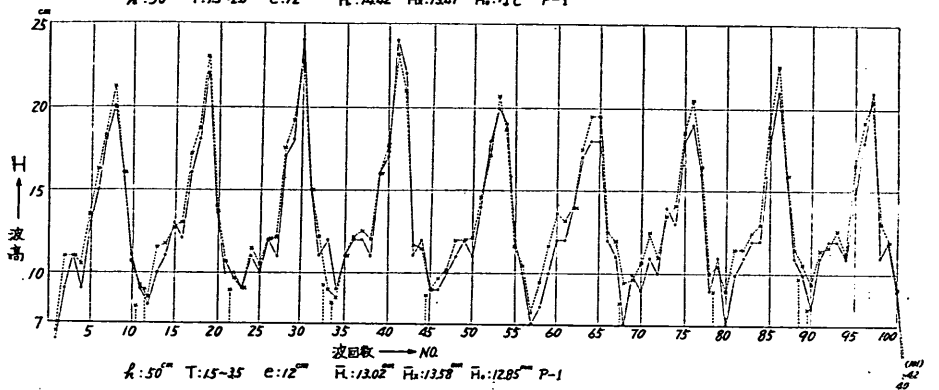
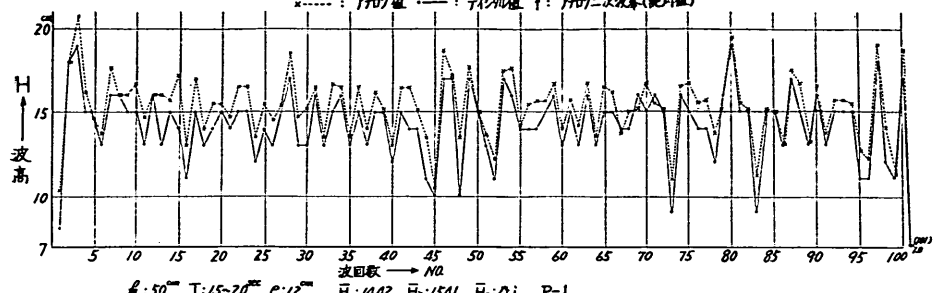


写真-13 水位上昇パルス

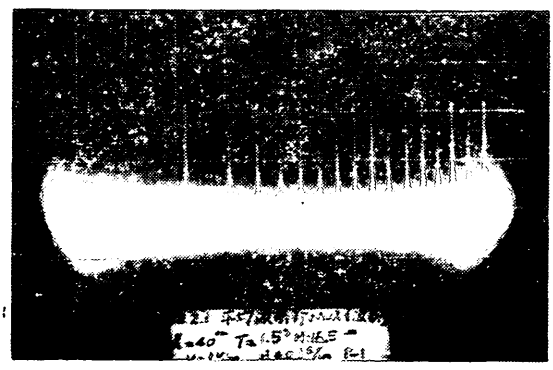
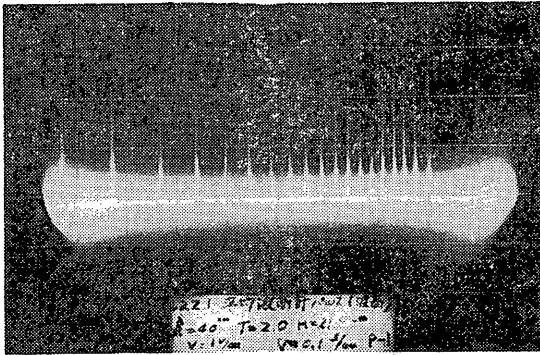
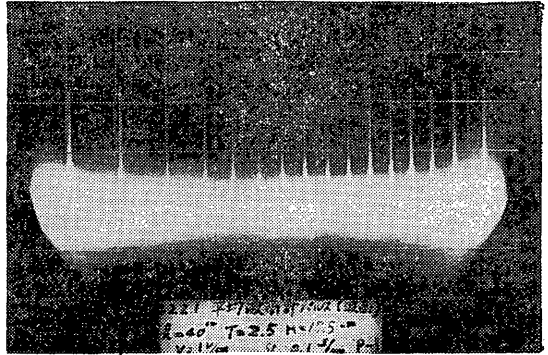


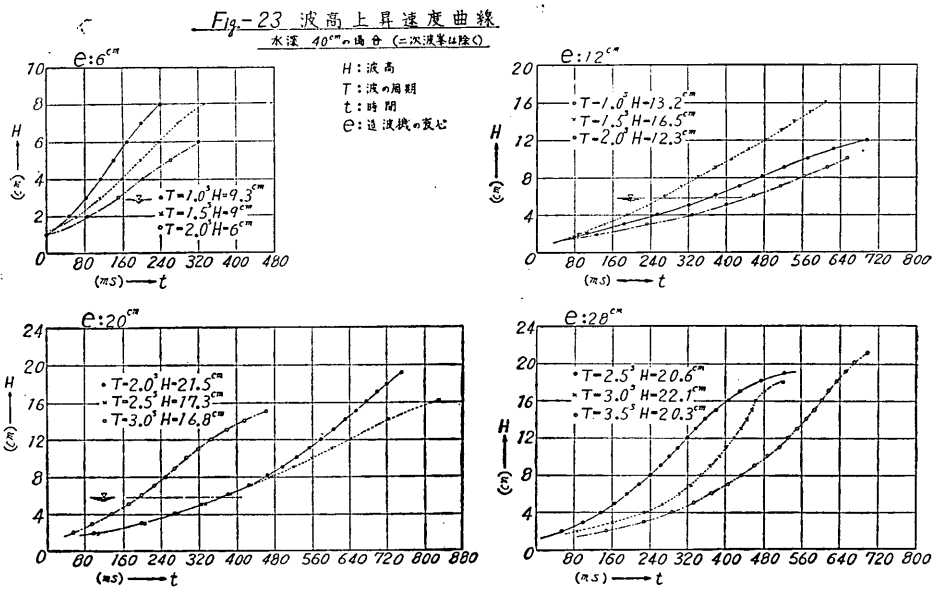
写真-14 水位上昇パルス



写真—15 水位上昇パルス



写真—16 水位上昇パルス



これによると差がでているのは、前に述べた測定条件によるもので、ピックアップの間隔を 5 mm にすれば、精度は増し 2 mm 位までが限度であると思われる。

7-4 水位上昇速度について

この実験は検出棒の間隔を、波が通過する時間を測ったもので、この時間により測定系の周波数応答速度をきめるものである。水深 40cm の場合についての例を Fig. -23 に、写真-13~16 はメモリスコープの記録例である。

Fig-23 は二次波峰は除いてある。この検出棒の間隔は 1 cm であり、早いもので 15ms 位を示している。本器は 1 ms すなわち 1000c/s まで応答できるように設計したものである。間隔を 1 mm にす

れば、約 1 ~ 2 ms になると考えられる。

8. 実験結果

- i) 規則波の場合二次波峰を生じないものは、検出棒の間隔までの精度とすることができる。
- ii) 不規則波の場合は、取り扱つかう波高により、検出棒の間隔をきめれば、精度を増すことができる。
- iii) 二次波峰および電気的な誤差も、改良して除去するようにした方がよい。

9. 結論

このデジタル波高計の試作は、当初考えていた程容易ではなく、いろいろな問題点が生じた。

しかし性能試験の結果から、取り扱つかう波の仕様により製作すれば、波高計として実用化できることが解った。

10. あとがき

水理計測器の開発は、水理現象と電氣的に検出する関係を求めることにある。これからも基礎実験を進め、試作における指針を見いだす予定である。

なおこの種の波高計として、各検出棒によるパルス出力を、それぞれ単独のカウンタにて記録すれば、水位の経過ひん度分布処理器として、変動が直ちに測定できる。

最近不規則波の水理実験を、進める傾向にあり、波高測定に本器を統計的処理器として、用いれば目的を達することができる。

以上デジタル波高計について述べた。これにより能率の向上に寄与することができれば幸いに存じます。

終りにこの試作にあたり、アシスタントとして努力して下さった、本前原氏および、製作を依頼した、金子電子ならびに新電子測器に対し、謝意を表するものである。 (特許出願中)

参 考 文 献

- 高橋 茂：エレクトロニクス講座 (1959)
 応用編 (4) デジタル計算機
小柴 曲居：トランジスタ・パルス回路 (1964)
野上 進：リレー応用技術 (1966)
 リレーとトランジスタの組み合わせ
ラジオ技術社：トランジスタ活用事典 (1959)
都丸・敬介：パルス回路集 (1963)
誠文堂新光社：半導体の応用と回路 (1966)
 実用トランジスタ回路集 (1963)
波多野泰吉・徳永 迪夫：トランジスタの回路
 エレクトロニクス講座
高橋 茂：パルス回路入門
 エレクトロニクス講座

主要記号表

- H : 波高
 \bar{H} : 波高 (カウンタ計数平均値)
 \bar{H}_x : 波高 (ビジグラフ記録平均値)
 \bar{H}_0 : $\bar{H} - \bar{h}$
h : 波高 (二次波峰のカウンタの読み)
h_x : 波高 (二次波峰のビジグラフの読み)
T : 波の周期
h : 水深
e : 造波機の振幅 (偏心)
L : 波長 (有限振幅波)

(昭和42年4月5日受付)