

26. 長周期波記録計の製作

地震研究所 相 田 勇

(昭和 37 年 6 月 26 日発表——昭和 37 年 6 月 30 日受理)

1. 緒 言

海洋波のスペクトルは、0.1 sec. 以下の短い周期を持った毛管波から、24 hr. 以上の長い周期を持った遷移潮波に至るまで、広い帯域にわたっていることはよく知られている。この内 1~30 sec. の周期を持ち、風によつてひき起される普通重力波と、12~24hr. の周期の太陽および月による普通潮波の 2 つの帯域は、波スペクトルの全エネルギーの殆んどを占めていて、古くからくわしく研究されて来た。しかし 5~90 min. 程度の周期を持つ長周期波は、地震による海底の地形変動による津波、あるいは暴風による高潮などとして知られているが、その他気象状況との関連によつても起ることが、観測によつて知られ、この帯域の波の研究も、最近になつて進められて来た。

この普通重力波や潮波に比べて、エネルギーの小さい長周期波を観測するためには、必然的に高感度の計器が望まれる。しかしながら高感度にするためには、目的とする長周期波よりも遙かに振巾の大きい重力波や潮波を、減衰記録させる様にしなければならない。即ち長周期波記録計には、必要周期の帯域通過濾波器を設けることが必要である。

この報告においては、この濾波器を持った長周期波記録計の設計、製作について記した。なお濾波器を使用していない計器の記録から、長周期波、あるいは一般に特定の周期帯域の波を選振濾波する簡単な装置についても記した。

2. 記録計の方式

前述の如く長周期波の記録計としては、帯域濾波器を備えることが必要であり、この見地から記録計の方式について考えて見ると、

1) 海面昇降の圧力変化を、直ちに適当な流体系によつて構成された流体濾波器に通す方式。

2) 海面昇降の圧力変化を、一旦電氣的出力に変換し、その後に電氣的（あるいは電氣-機械的）濾波器に通す方式。

とが考えられる。(Fig. 1)

長周期波を目的とする場合、濾波器の通過帯域中心周期は 15~30 min. と考えられるから、2) の方式の純電氣的濾波器は、その素子の定数が大きくなり、実現がかなり困難である。電氣-機械的濾波器を使用すれば、(この場合機械系には流体系を含ませて考える) 実現できると思われるが、その構成が複雑になることはまぬがれない。

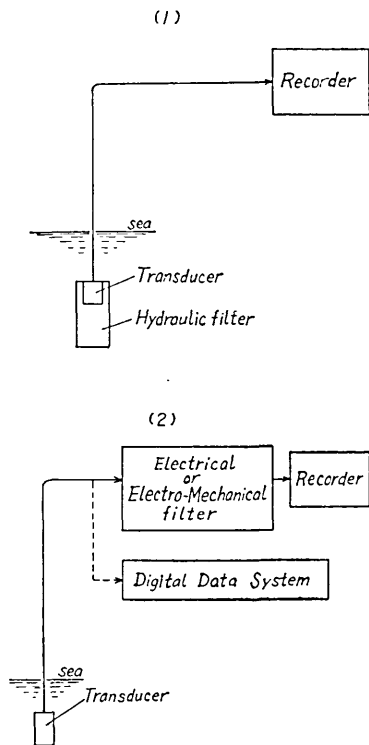


Fig. 1 Forms of long period wave recorders.

長周期波記録計の要求する周期特性は、Fig. 2(1)に示すようなものが望まれる。すなわち短周期の重力波と長周期の潮汐の帯域を完全に遮断し、所要周期帯域は、平坦な周期特性を持つというものである。しかしながら、インダクタンス、キャパシタンスを組合せた、複雑な電気濾波器においては、このような形に近似なものも求められるが、現在の場合、海中に沈める受圧部分に付属させる流体濾波器であり、非常に複雑な流体系を組むことは、かなり困難である。しかしながら Fig. 2(2)に示す特性は、帯域濾波器としては最も簡単なキャパシタンスと抵抗を接続した、High cut filter と Low cut filter を組合せたものの特徴であるが、所要の帯域を最大感度の1/2以上の感度で cover することができる。これは超低周波流体濾波器として、インダクタンスを使用せず、キャパシタンスと抵抗のみで組立て得ることは、

1) の方式は海面昇降を圧力として検知する部分に流体濾波器を使用するから、目的とする長い周期の回路を構成することが容易である。しかし複雑な特性を濾波器にもたせるとか、2つ以上の異つた帯域の濾波器からの出力を取り出す等のことは、系が海中にある等の点で、ある制約を受けることになる。

現在の所、長周期波観測の目的を達するために、1) の方式は比較的簡単、かつ安価に実現できる良い方法であると思われる。しかし将来特種な濾波特性が要求されるとか、多くの周期帯域別に分離記録するなどが考慮され、あるいは新しいデジタル・データ処理方式が採用される場合などには、2) の方式が用いられるであろう。

ここでは 1) の方式の記録計を製作した。

3. 流体濾波器

流体濾波器の特性を考える場合に、等価電気回路に置換えて行うのが便利である。ここでは流体系の基本動作量である圧力差、体積流量を、夫々電気回路系の電圧、電流に置換える方法によつて濾波回路を考察する。

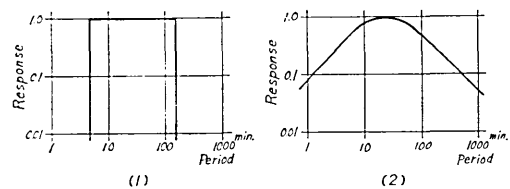


Fig. 2 Expected response curves of long period wave recorders.

その定数を実現するのに非常な利点である。この Fig. 2(2) に示すような特性の回路を考えて見ると Fig. 3 に示すような二三の回路がある。

これらの回路方式は、現在各種の長波計に採用されており、例えば Van-Dorn 型長波計¹⁾は (1) の回路、気象研型自記波浪計 MR-Mark III²⁾を若し長波計として使用すれば(3)の回路、また Frank E. Snodgrass の発表した記録計³⁾は (4) の回路を採用している。

今これらの回路の周波数特性を考えると、(1) (2) (3) の回路は、Frequency Response Function の形は同形となり、次式で示される。

$$A(j\omega) = \frac{j(\omega/\omega_0)}{1 + 3j(\omega/\omega_0) - (\omega/\omega_0)^2} = \frac{j(\omega/\omega_0)}{[1 + 2.62j(\omega/\omega_0)][1 + 0.38j(\omega/\omega_0)]} \quad (1)$$

ここに $1/\omega_0 = CR$ である。 $|A(j\omega)|$ は $\omega = \omega_0$ で最大となり、その値は 0.33 である。また $A(j\omega)$ の位相角 φ を求めれば

$$\varphi = 90^\circ - \tan^{-1} \frac{3(\omega/\omega_0)}{1 - (\omega/\omega_0)^2} \quad (2)$$

である。

次に Fig. 3(4) の回路は、その $A(j\omega)$ を求めると、

$$\begin{aligned} A(j\omega) &= \frac{\alpha^2 - 1}{\alpha^2} \frac{j(\omega/\omega_1)}{[1 + j(\omega/\omega_1)][1 + j(\omega/\omega_2)]} \\ &= \frac{\alpha^2 - 1}{\alpha^2} \frac{j\alpha(\omega/\omega_0)}{[1 + j\alpha(\omega/\omega_0)][1 + j\frac{1}{\alpha}(\omega/\omega_0)]} \end{aligned} \quad (3)$$

の形となる。

ここに $1/\omega_1 = C_1R_1$, $1/\omega_2 = C_2R_2$, $\omega_1\omega_2 = \omega_0^2$

$$\omega_1 = \omega_0/\alpha, \quad \omega_2 = \alpha\omega_0$$

1) Wm. G. VAN DORN, "A New Long-period Wave Recorder," *Journ. Geophys. Research*, **65** (1960), 1007.

2) 降旗常雄「沿岸観測所用一遠隔自記波浪計 MR-Mark III について」第7回海岸工学講演会講演集 (1960), 81.

3) Frank E. SNODGRASS, "Shore Based Recorder of Low Frequency Ocean Waves", *Trans. Amer. Geophys. Union*, **39** (1958), 109.

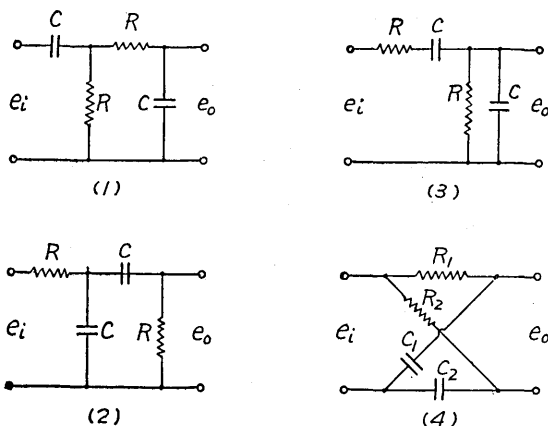


Fig. 3 Circuits of CR band pass filters.

である。また位相角を φ とすると

$$\varphi = 90^\circ - \tan^{-1} \frac{\alpha^2 + 1}{\alpha} \frac{\omega}{\omega_0} \quad (4)$$

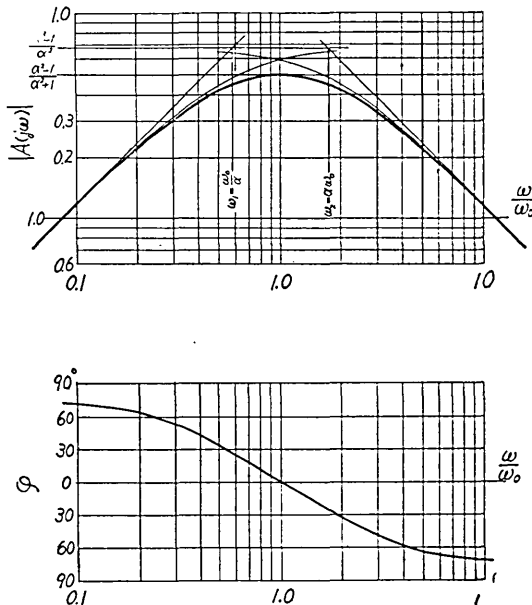


Fig. 4 Amplitude and phase response of the CR band pass filter.

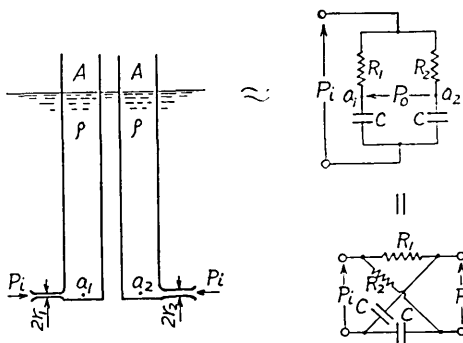


Fig. 5 Equivalent circuits of the hydraulic filter.

つて Fig. 5 の左側の流体系は、右側に示した電気回路と等価であるので、タンク内底部 a_1 および a_2 の圧力の差を取り出し記録するようにすれば、所要の特性の回路を実現で

(1) と (3), (2) と (4) は夫々同様な形を示すが、Fig. 4 に $\alpha = \sqrt{3}$ の場合の $A(j\omega)$ と φ の曲線を示してある。この場合 $|A(j\omega)|$ の最大値は $\omega = \omega_0$ で、0.50 となる。流体濾波器回路としていずれの回路を採用するも、大きい違いはないが、(4) の回路は Time constant $C \times R$ の異つた 2 つの回路の差を取り出すだけであり、回路構成を考えるには容易である。また最大レスポンスは (4) 回路の方がやや大きい。

今 (4) の回路で流体濾波器を構成することとし、流体回路素子を考える。流体回路でキャパシタンスは、自由表面を持つタンク内の流体の、重力作用によつても実現できる。

Fig. 5 において、左側に示してあるような断面積 A のタンクに、密度 ρ の流体が、その表面を大気に開放されている場合、タンクの入口 a_1 または a_2 と一定圧力の静止点との間に容量作用が現われる。等価電気容量 C は $C = A/\rho g$ で示される。但し g は重力の加速度である。またタンクの流体流入口に半径 r_1 または r_2 の細管を設ければ、その細管内を流体が通過する際に、流体粘性による抵抗作用が生ずる。細管の半径を r 、長さを l 、流体の粘性係数を μ とすれば、 $R = 8\mu l/\pi r^4$ で等価電気抵抗が表わされる。従

きることになる。

3. 震研 III 型津波計

地震研究所江の島津波観測所では、1941年に津波用検潮儀⁴⁾が設置されたが、不幸台風
の激浪に破壊されて、1942年以來観測が中絶された。しかし1954年に圧力式の検潮器が
設置された。これは前に設置されたものが機械式記録であるため、激浪などの障害に弱か
つたことを考慮して、遠隔記録方式が採用された。これは沓波器を有せず、また遠隔記録
といつても空気圧をパイプを通して伝達する形式であつて、倍率その他充分なことができ
ないため、沓波器を持つた電気式遠隔記録の計器が望まれていた。この要求に応ずるた
め、前節で述べた沓波器方式の震研 III 型津波計が設計された。この計器は1956年に江の
島津波観測所に設置され、その後 IGY 期間中および、IGC 期間中を通じて観測が継続
されたが、同期間の観測および、この計器についてはすでに報告されている⁵⁾。しかしな
がら1961年10月、台風24号、および26号が三陸東方海上を通過した際、まれに見
る高浪が押し寄せて、津波観測所の津波計井戸が転倒、計器も海中に没して観測は中絶さ
れた。

4. 震研 IV 型津波計

1959年伊豆大島に津波観測所が開設されることになり、それを機に III 型津波計の経験
をもとに、改良した新しい計器を製作した。改良の主要な点は、III型津波計では海水を沓
波器の流体として使用しているため、抵抗細管が海水中のゴミなどによつてつまり易く、
また海水の粘性は比較的小さいので、乱流になり易く、抵抗が速度に対して非直線になる
という欠点があるので、この計器では沓波器用流体として、粘性の高いシリコンオイル
を使用したことである。

測定範囲は $\pm 2.5\text{ m}$ および $\pm 0.5\text{ m}$ の2種の範囲とし、夫々別の記録器に、記録紙
速度 60 mm/h で記録する。沓波器の中心周期は20分に選んだ。

a. 流体沓波器

この計器の流体沓波器としても、前述の沓波器の方式を採用した。その構成は Fig. 6
に示す通りである。C としては2本の stand pipe (公称 1" 真鍮パイプ、長さ 6 m) を
油タンクとして使用、その容量作用が使われている。R としては stand pipe の入口に
内径 4 mm、長さ 185 mm、および内径 3 mm、長さ 177 mm の銅管が取付けてある。
この銅管は充分な容積を持つた oil reservoir に開口しており、流体沓波器の作働油はこ
の oil reservoir から銅管を通つて stand pipe に供給される。oil reservoir の下部は
コックにより海水と連絡して、海面の昇降による圧力変化が伝達される。oil reser-

4) 高橋龍太郎「津浪用検潮儀の製作」日本海洋学会誌 1 (1942), 25.

5) R. TAKAHASHI, K. HIRANO, I. AIDA, T. HATORI and S. SHIMIZU, "Observations at Miyagi-
Enoshima Tsunami Observatory during the IGY Period," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 39 (1961),
491.

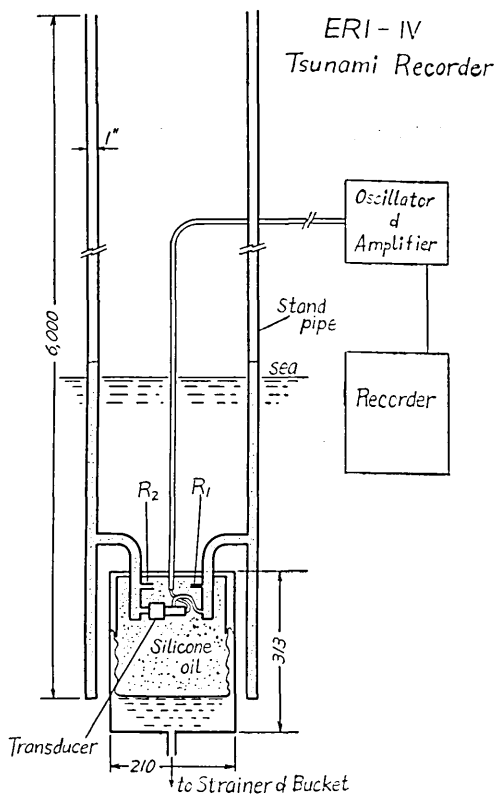


Fig. 6 Schematic diagram of the hydraulic filter of the ERI-IV tsunami recorder.

voir の内部で海水と作働油が接するが、直接の接触による油の変質や、微小なゴミの混入を防ぐため、厚さ 0.04 mm のポリエチレンの袋により、油と海水が直接接触しないように設計された。沷波器用作働油としては電気絶縁性のよい、粘性の温度係数の小さいシリコンオイルを採用し、粘性係数 50 c.s. のものを使用した。

また oil reservoir 下部のコックは、ビニールホースによつて strainer に連なり、海水中のゴミを沷過するようになつてゐる。

さてこの沷波器構成で Fig. 3 (4) に示した等価回路が得られるはずであるが、なお 2, 3 の検討を要する点がある。

その 1 は流体の慣性作用の影響である。stand pipe 内の流体は、重力によるものと、慣性作用によるものとの 2 種の力を底面におよぼすが、stand pipe の断面積を A 、流体の密度を ρ 、pipe 内の流体の質量を M とすれば、stand pipe 底部へ流入する流量が q である時、底部の圧力変化分は、

$$\text{重力によるもの} \quad \delta p_1 = \frac{\rho g}{A} q dt$$

$$\text{慣性作用によるもの} \quad \delta p_2 = \frac{M}{2A^2} \left(\frac{d^2 q}{dt^2} \right) dt$$

であるから、 $\delta p_2 / \delta p_1 = \gamma$ とすると、流入流量が $q = q_0 \sin \omega t$ で正弦的に変化した場合、この計器の定数を入れて計算すると、 $\omega = 0.1$ 即ち周期 62.8 sec で $\gamma = 0.13 \times 10^{-2}$ となる。慣性作用によるものは周期約 1 min. でも 1/800 になるということになる。従つてこの計器で問題とする 5~90 min. では、慣性作用の影響は完全に無視できる程小さい。

注意すべきことの第 2 は抵抗細管の v^2 項の影響である。2 つの水槽が pipe で連絡されており、pipe 内の粘性流体の流れが、ラミナ流である場合、水槽の水位差 H は Hagen-Poiseuille の法則で次式で表わされる。

$$H = \frac{8\mu l}{\rho g r^2} v_m + \frac{\lambda}{g} v_m^2$$

ここに v_m は pipe 内の平均流速, λ は補正の係数で $\lambda = 1.12$ である. この計器の抵抗細管において, v^2 項の影響がどの位あるかをしらべて見る. 最もきつい条件として, ± 2.5 m, 周期 15 min. の正弦波入力を与えられたと仮定する. その時内径 3 mm のキャピラリー管内の流速最大値は $v = \pm 101$ cm/sec となる. これはラミナ流の限界流速 $v_e = 3300$ cm/sec ($\mu = 50$ c.s. として) の範囲内であるから, 充分前式が成立つことがわかる. 従つて今前式に実際の数値を代入すると第 2 項は第 1 項の約 3% にしかならない. 即ちこの沓波器の抵抗細管は殆んど完全に流速に比例する抵抗作用を示すと考えてよい.

注意事項の第 3 は oil reservoir 内のポリエチレン袋の弾性と, 海水とシリコン・オイルの流体境界面の容量作用である. 流量 q によつてポリエチレン袋が上に押し上げられ, 流体境界面が δh 移動したとすると, 境界面の上部と下部との間の圧力差の変化分は,

$$\delta p = (\rho_w - \rho_o) g \delta h + k \delta h / A_r$$

ここに ρ_w は海水の密度, ρ_o はシリコンオイルの密度, k はポリエチレン袋の弾性係数, A_r は oil reservoir の断面積である. この式は容量作用を示しており, 等価電気容量は,

$$C_o = \frac{1}{\frac{(\rho_w - \rho_o) g}{A_r} + \frac{k}{A_r^2}}$$

となり, 分母の第 1 項は流体境界面による容量の逆数, 第 2 項はポリエチレン袋の弾性による容量の逆数である. A_r は stand pipe の断面積より 2 桁位大きくなつてゐるし, また k はポリエチレンの薄膜を使用しているのもので非常に小さい. 従つて C_o は stand pipe の容量に比べて非常に大きくなる. この C_o は前述等価回路の入力側に直列に入ることになるが, 容量が非常に大きくなるので無視することができる.

また海水の流入する oil reservoir の下部のコックその他海水の導管類の抵抗も, 回路に直列に入るはずであるが, これも海水の粘性はシリコンオイルの粘性に比べて約 1/50 であり, 導管の太さも充分にとつて, 粘性抵抗が無視できるようにしてある.

b. 計器の構成

以上述べた沓波器の 2 本の stand pipe の底部の圧力差を測定することによつて, 希望の周期特性の response を得ることができるが, この圧力差を測定するために, 非接着型抵抗線歪計式圧力変換器を採用した. これは圧力差によつてベローズが変位し, その変位を抵抗線歪計で測定するようになってゐるものである. 圧力変換器の 4 本の端子は, 4 芯のシールドキャプタイヤコードによつて, 観測所内に導入される. 観測所内には, 歪計ブリッジに供給する発振器, ブリッジの出力を増巾, 検波する増巾器, および増巾器の出力電流を記録する記録電流計などが置かれる. これらの構成のブロック図は Fig. 7 に示され

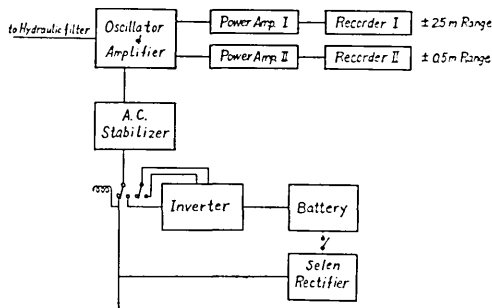


Fig. 7 Block diagram of the ERI-IV tsunami recorder.

ている。記録電流計は測定範囲 ± 2.5 m 用と ± 0.5 m 用の 2 台が用いられている。また電源は商用交流 100V, 50 \sim を使用し、トランジスター式安定化電源装置で電圧を一定に保っている。また停電時でも観測が中断されないように、蓄電池 (24V 120AH) とインバーター (100V 2A) を備えていて、リレーによつて自動的に切り換えが行われる。蓄電池は約 7 時間程度までの停電には、充分耐え得る容量がある。充電はセレン整

流器により随時行われる。

発振器は 5000 \sim , 3V の電圧を常時圧力交換器の歪計ブリッジに供給しているが、この電圧は電圧計により 1 日 1 回チェックされ調整される。また増巾器利得は、ブリッジに予め定めた一定の不均衡抵抗を加えることによつて記録器に振れを与え、その振れが定められた値になるように調整することによつて、いつも一定に保たれている。この利得調整は 1 ヶ月 1 度程度行う。

c. 特性およびその試験法

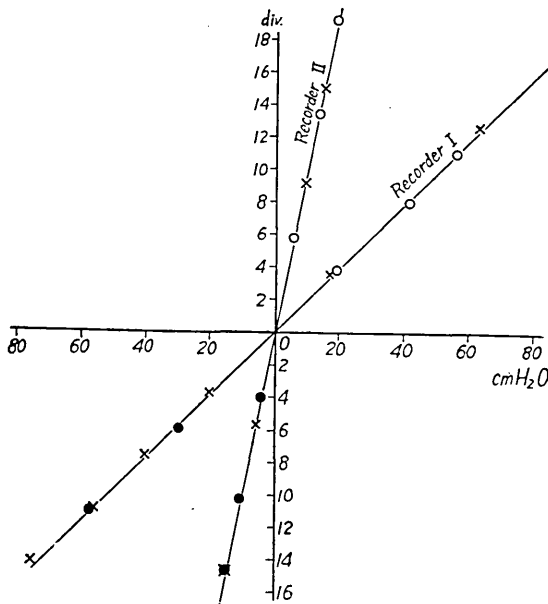


Fig. 8 Linearity of the ERI-IV tsunami recorder.

直線性については、圧力変換器に、増巾器系および記録器を接続し、圧力変換器に空気圧を加え、記録器の振れを読み取り検定を行った。Fig. 8 は縦軸に記録器の振れを div. で、横軸には圧力変換器に加えた圧力を水柱の高さ cm で示した直線特性である。図のように殆んど完全に直線性が保たれている。

次に周期特性についての試験法について述べる。このために、適当なバケツ (断面積が stand pipe 断面積の 100 倍程度のもの) を使用して仮静水面を作り、そのバケツからゴム管を浪波器入力コックに連結する。今バケツを突然上げ、あるいは下げてバケツ内の水

面を高さ H cm だけ変化させると、沓波器に入力として、高さ H cmH₂O の階段波入力を与えられたことになる。この時の response をしらべて見ると、まずこの沓波器の frequency response function $A(j\omega)$ は前出 (3) 式の通り、

$$A(j\omega) = \frac{\alpha^2 - 1}{\alpha^2} \frac{j\alpha \frac{\omega}{\omega_0}}{\left(1 + j\alpha \frac{\omega}{\omega_0}\right) \left(1 + j \frac{1}{\alpha} \frac{\omega}{\omega_0}\right)} \quad (3)$$

である。また高さ H の step-function の Fourier 変換は $H/j\omega$ であるから、沓波器入力に H の step-function が加えられた時の response を $r(t)$ とすれば

$$\begin{aligned} r(t) &= \frac{H}{2\pi} \frac{\alpha^2 - 1}{\alpha} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{j\omega} \frac{j \frac{\omega}{\omega_0} e^{j\omega t}}{\left(1 + j\alpha \frac{\omega}{\omega_0}\right) \left(1 + j \frac{1}{\alpha} \frac{\omega}{\omega_0}\right)} d\omega \\ &= H \left(e^{-\frac{\omega_0}{\alpha} t} - e^{-\alpha\omega_0 t} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

となる。

圧力変換器入力から記録器振巾までの変換総合感度を D div./cmH₂O とすれば、記録器の response $R(t)$ は、

$$R(t) = DH \left(e^{-\frac{\omega_0}{\alpha} t} - e^{-\alpha\omega_0 t} \right) \quad (6)$$

従つて記録器には Fig. 9 に示すような曲線が画かれる。この図は震研IV型津波計を実際にこの方法で step test を行つた際に得られた記録である。この曲線から周波数特性曲線を求めるために、 D , ω_0 , α の3つの未知数を決定しなければならない。

今 (6) 式で $R(t)$ が最大になる時間 t_m を求めると、

$$t_m = \frac{2\alpha \log_e \alpha}{\omega_0 (\alpha^2 - 1)} \quad (7)$$

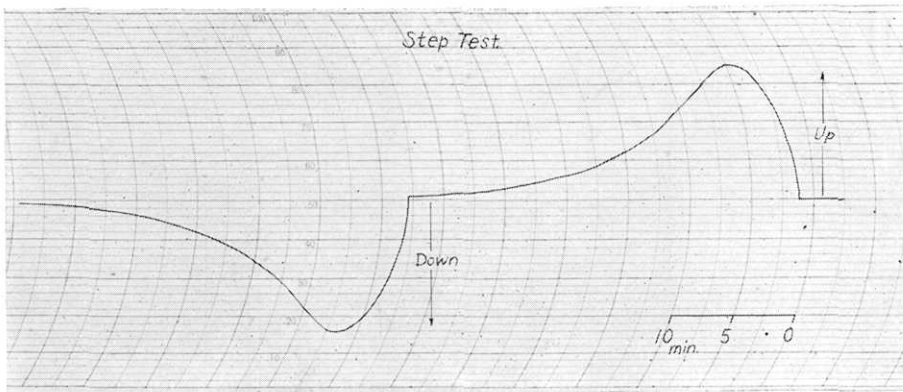


Fig. 9 Record obtained by the step test.

となり、またこの時の response は

$$R(t)_{t=t_m} = DH \left(\alpha^{-\frac{2}{\alpha^2-1}} - \alpha^{-\frac{2\alpha^2}{\alpha^2-1}} \right) \quad (8)$$

である。また $t=0$ の時の response 曲線の傾斜を求めると、

$$\left[\frac{dR(t)}{dt} \right]_{t=0} = DH \frac{\alpha^2-1}{\alpha} \omega_0 = DH \frac{2 \log_e \alpha}{t_m} \quad (9)$$

となる。故に Fig. 9 の response curve の上で、 t_m , $R(t)_{t=t_m}$, $[dR(t)/dt]_{t=0}$ を読み取り (7) (8) (9) 式より D , ω_0 , α を求めることができる。しかしながら $[dR(t)/dt]_{t=0}$ は読み取りがかなりむづかしく誤差が大きくなるおそれがある。

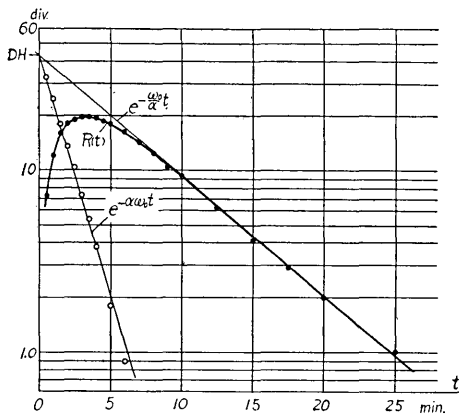


Fig. 10 Graphical method for the determination of D , ω_0 and α .

今一つの方法は、(6) 式を見ると t の大きなところでは、 $e^{-\alpha\omega_0 t}$ の項は $e^{-\frac{\omega_0}{\alpha} t}$ の項に比べて小さくなるから、

$$R(t) \doteq DH e^{-\frac{\omega_0}{\alpha} t}$$

と考えられる。従つて Fig. 10 に示すように、横軸に時間 t を、縦軸に対数目盛で response $R(t)$ をプロットする。そうすると $R(t)$ 曲線の t の大きい部分で、曲線への切線を引けばその傾斜から ω_0/α が求められる。またこの切線の縦軸との交点は DH を示す。

次にこの切線と $R(t)$ 曲線との差は $DH e^{-\alpha\omega_0 t}$ であるから、これを同図白丸で示すようにプロットする。この傾斜から $\alpha\omega_0$ が求められる。以上で DH , ω_0/α , $\alpha\omega_0$ の3つが得られたのでこれから D , ω_0 , α を求める。

これから周波数特性曲線を描くには、(3) 式の沪波器の response と、綜合変換感度 D の積の曲線でよいから、両対数方眼紙の縦軸に水面差 1 cm あたりの frequency response を取り、横軸に ω を取つて、まず縦軸に $D(\alpha^2-1)/\alpha^2$ を取り水平線を引く。その線上に ω_0/α , $\alpha\omega_0$ を取り 45° の直線を引く。

$$\left| j\alpha \frac{\omega}{\omega_0} / \left(1 + j\alpha \frac{\omega}{\omega_0} \right) \right| \text{ および } \left| 1 / \left(1 + j \frac{1}{\alpha} \frac{\omega}{\omega_0} \right) \right|$$

の曲線を描けば、上の直線に漸近して画かれる。この曲線を合成すれば求める周波数特性曲線となる。ここでは横軸を ω にとつたが、実際使用に際しては、周期 T の方が便利な場合が多い。この場合は $T_1 = 2\pi/\omega_1 = 2\pi\alpha/\omega_0$, $T_2 = 2\pi/\omega_2 = 2\pi/\alpha\omega_0$ として周期に直して同様作図することができる。

Fig. 9 の IV 型津波計の response curve から、この計器の特性を求めると $D=0.84$

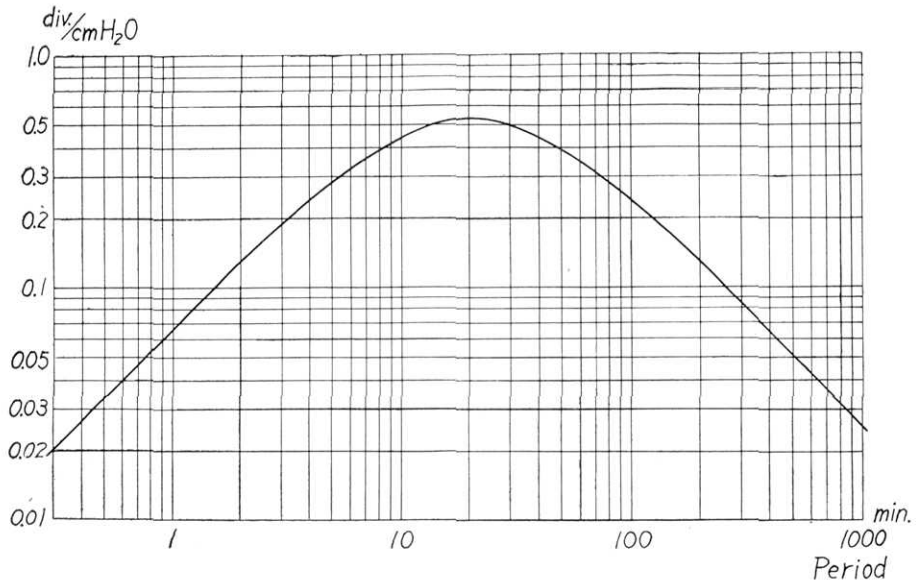


Fig. 11 Spectral response curve of the ERI-IV tsunami recorder.

div./cmH₂O, $\omega_0=0.321$, $\alpha=2.05$ であり $T_1=41.3$ min., $T_2=9.8$ min. となる. この数値から周期特性曲線を描くと Fig 11 に示すようになる.

即ちこの計器は中心周期 20 min., 最大感度 0.52 div./cmH₂O となっていて, もう1つの記録器はこの 1/5 の感度である.

d. 据付および観測

この計器は 1960 年 9 月, 地震研究所伊豆大島津波観測所に据付けを行った⁶⁾. 観測はそれより殆んど欠測なしに, 満足に行われている. Fig. 12 に実際の計器の濾波器部分の中, oil reseroir の写真を示す. また実際観測中の記録器の部分の写真を Fig. 13 に示す. 図中右から記録器 2 台, 発振増巾器, 電源となつている.

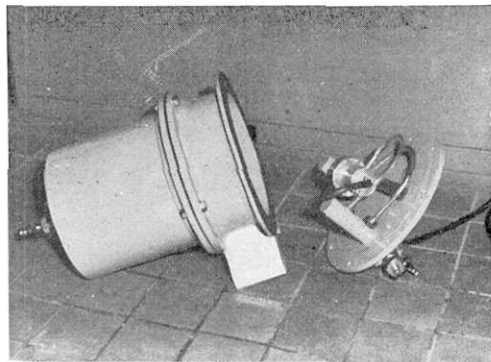


Fig. 12 Oil reservoir of the hydraulic filter of the ERI-IV tsunami recorder.

5. この濾波器方式の応用

例えば気体系では, 気体の圧縮性によ

6) 高橋龍太郎・相田 勇 「伊豆大島で観測された長周期波の周期分析」 地震研究所彙報 40 (1962), 561.

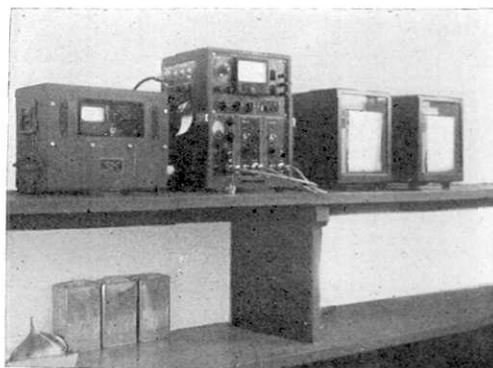


Fig. 13 The oscillator, the amplifier and the recorders of the ERI-IV tsunami recorder.

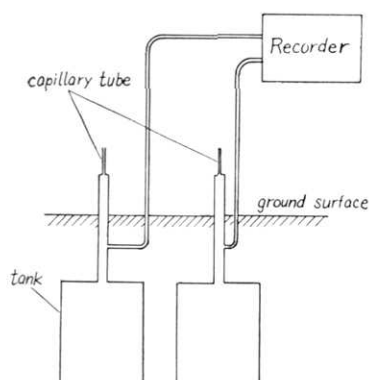


Fig. 14 Schematic diagram of a microbarograph.

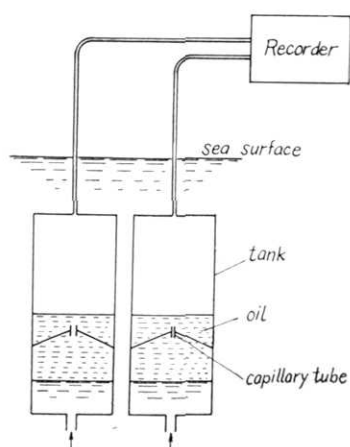


Fig. 15 Schematic diagram of a portable long wave recorder.

つて弾性が表われ、容量作用を示す。即ち体積 V を持ったタンクがあり、その内部圧力が p_0 であつたとすると、その等価電気容量は、 $C = V/p_0$ で表わされる。従つて Fig. 14 に示すように、2つのタンクに太さの異なる capillary tube を連結して大気に通じて置き、そのタンク内圧力の差を記録器で記録させれば、大気圧の変動の内、風などによる短周期の擾乱や、低気圧の移動などによる長周期の気圧変動を除いて記録されるので、いわゆる微気圧計とすることができる。この場合タンクは地中に埋没するなど、温度の変化によるタンク内圧力の変化を防ぐ手段を講ずる必要がある。

また Fig. 15 に示すように、長筒形のタンク内に capillary tube を設け、その上下に油を満たし、油の上部に適当な空気室を設ける。タンクを海中適当な深さに設置すれば、下部の口より海水がタンク内に押し込み、タンク上部の空気を圧縮する。この空気室の容積を V とし、平均水面の時のタンク内圧力を p_0 とすれば、 $C = V/p_0$ の容量となる。また capillary tube に油が通る際の粘性による抵抗 R があるので、1つのタンクは、 R と C の直列回路になっている。従つて2つのタンクの capillary tube の太さを変えておけば、両タンクの圧力差を記録器で記録させることによつて、長周期波記録計となる。この型のものは、記録器に、空気圧を直接機械的に記録するようなものを使用すれば、携帯用として有効である。

6. 種々な周期の重畳した記録の汙波装置

例えば検潮儀による津波の記録のように、大振幅長周期の潮汐や、短周期の湾の静振などが交り合った記録は、吾々がしばしば接するものである。このような記録は、位相の識別、波形の比較などにあたつてまことに見難いものである。このような記録から、不用と思われる長周期や、ごく短い周期を消去できるならば極めて見易い記録が得られる筈である。

かつて三東哲夫は機械的低域汙波器を作り⁷⁾、下鶴大輔、三東哲夫によつて南海地震津波の反射波の検出が報告されている⁸⁾。このような目的に使用するための汙波装置としては、長周期波記録計に使用したような特性の汙波器が都合がよい。ここで簡単な CR 帯域汙波器をもつた汉波装置を組立てた。

この汉波器の入力装置として、記録の波形を電圧に変換する装置が必要であるが、これには、建築物の地震時のレスポンスを求める Response Analyser⁹⁾ のために製作した記録変換装置の一部を加工して使用した。即ちドラムに巻かれた記録を、手で追尾する指標があるが、この指標を動かすことによつて、ポテンショメーターの接触子が動くようになつている。ポテンショメーターは絶縁棒に抵抗線を密に巻いて作つてある。ポテンショメーターの両端に電池から電圧を加えれば、その接触子から記録波形に比例した電圧を取り出すことができる。これを汉波器の input に入れ output は X-Y 軸レコーダーを使用して X 軸に記録させる。

次に記録の時間軸は、記録を巻いたドラムの軸に、回転型ポテンショメーターを直結し、その出力を X-Y 軸レコーダーの Y 軸に記録させる。即ちドラムを極くゆっくり回転させながら、指標を見て記録を追跡すると、X-Y 軸レコーダーに汉波された波形が画かれることになる。装置の結線の要領を Fig. 16 に示す。

観測記録を巻付けたドラムの 1 回転に要する時間は 30 min. になつていて、円周は 600 mm である。従つて記録上例えば 20 mm の波長の波を追跡すると 1 min. の周期の電気出力が、ポテンショメーター P_1 から得られる。汉波器の中心周期は $T = 2\pi CR$ であるから $C = 2000 \mu F$ とすれば、 $R = 4.75 k\Omega$ で中心周期 1 min. が得られることになる。

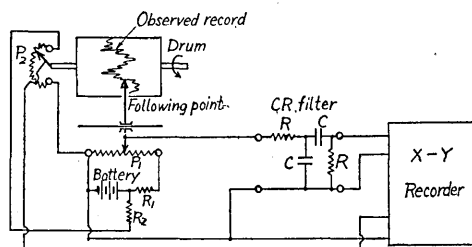


Fig. 16 Connections of the filtering device.

7) T. AKIMA, "A New Mechanical Low-pass Filter for Seismogram Analyses," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 30 (1952), 53.

8) D. SHIMOZURU and T. AKIMA, "Reflections on the Tsunami of December 21, 1946," *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 30 (1952), 223.

9) R. TAKAHASHI, "A Response computer preliminary report," *Proceedings of the 3rd Japan National Congress for Applied Mechanics* (1953).

この程度のコンデンサーは電解コンデンサーを使用すれば容易に求められる。しかし電解コンデンサーは公称容量にも相当誤差が多く、また製造後の経過日数などでもかなり変化する。従つて実際の使用にあつては、浪波器入力に step function を与えてその response から、震研IV型津波計の特性を求めたと同様のやり方で、浪波器の特性を求めることとした。今公称 $2000 \mu\text{F}$ の電解コンデンサーと $5 \text{ k}\Omega$ の抵抗を接続した浪波器で、この方法で特性を求めて見ると、中心周期はドラムに巻付けた観測記録上の波長に換算し

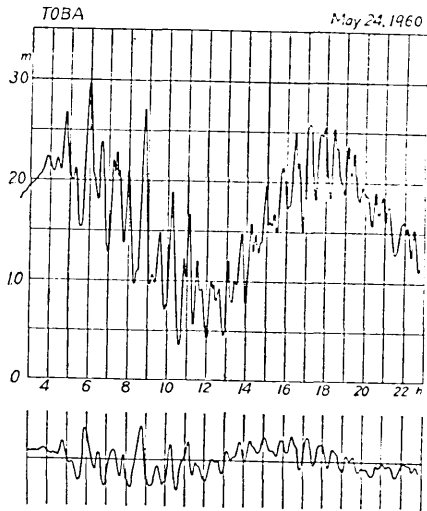


Fig. 17 Result of filtering of the tsunami record.
above: Tide gauge record of the Chilean tsunami on May 24, 1960 observed at Toba.
below: Filtered record.

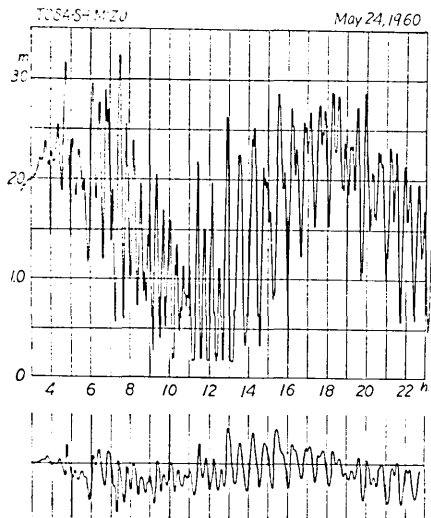
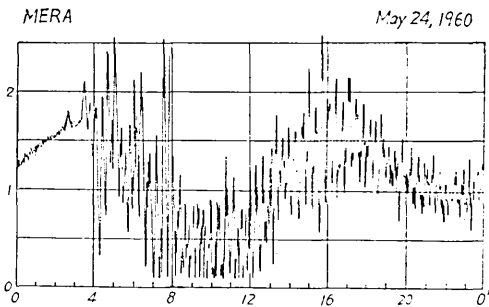
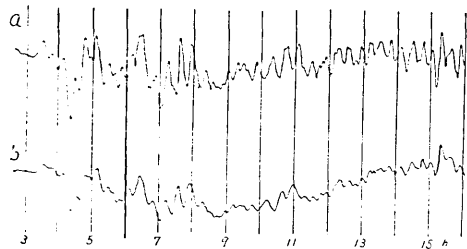


Fig. 18. Result of filtering of the tsunami record.
above: Tide gauge record of the Chilean tsunami on May 24, 1960 observed at Tosa-Shimizu.
below: Filtered record.



Tide gauge record of the Chilean tsunami on May 24, 1960 observed at Mera.



Filtered record.

- a: with single stage high cut filter.
- b: with two-stage high cut filter.

Fig. 19 Result of filtering of the tsunami record.

て 28.2 mm となつた。

この沓波装置を使用して、1960年5月24日に日本各地で観測されたチリ地震津波の検潮記録を沓波した例を、Fig. 17, 18 に示してある。この場合の沓波中心周期は 85 min. に相当している。

また high cut, low cut 各 1 段だけでは沓波が充分でない場合には、CR 回路を更に縦続することによつて、特性を鋭くすることができる。Fig. 19 は high cut filter を 1 段の場合と 2 段の場合とを比較して示したものである。

6. むすび

沓波器をもつた長周期波記録計が、設計製作されて、宮城県江の島、伊豆大島に実際に設置され、観測を行つている。江の島の観測結果についてはすでに報告されているが^{10) 11)}、このような計器の観測結果が増えると共に、長周期波に対する種々な事実が明らかにされることが期待される。

この研究にあつて、終始御懇切な御指導を賜つた高橋龍太郎教授に厚く御礼申上げる。また計器の設置にあつては平能金太郎氏の御援助を得たことを記して感謝の意を表す次第である。なお計器製作費は地震研究所に与えられた地球物理観測費の一部によつた。

26. *Design and Construction of Long-period Wave Recorders.*

By Isamu AIDA,
Earthquake Research Institute.

It is well known that the spectrum of ocean waves has a wide range of periods from capillary waves to tides. In that spectrum, long period waves, which have the periods of about 5 to 90 minutes, have been investigated with regard to destructive tsunamis and storm surges, but in recent years small tsunamis caused by earthquakes of small magnitude or long period fluctuations of the sea level caused by meteorological disturbances are being studied.

Because the energy of these long period waves is very small in comparison with gravity waves or tides, a specially designed instrument with a band pass filter is necessary for the observation of such waves. The writer illustrates long period wave recorders which are provided with a hydraulic filter and a pressure transducer under water.

First of all, the characteristic of the hydraulic filter was investigated by means of the equivalent electric circuits, and the ERI-III type and the ERI-IV type tsunami recorders were designed. The ERI-IV type tsunami recorder is provided with the hydraulic filter which is represented by equivalent circuits shown in Fig. 3 (4), and the schematic diagram

10) 前出 5)

11) 高橋龍太郎・相田勇 「津波スペクトルの研究」地震研究所彙報 39 (1961), 523.

of the instrument is shown in Fig. 6, where the two stand pipes act as capacities and the two capillary tubes shown by marks R_1 , R_2 , act as resistances. The calibration of this instrument was carried out by means of the application of the water pressure of step function type, and the spectral response curve obtained by this calibration is shown in Fig. 11.

This instrument was installed at the Izu-Ōshima tsunami observatory of the Earthquake Research Institute in 1960, and now is in continuous operation with a satisfactory performance. The filter similar to the above stated may be applied to other instruments, for example, to the portable long wave recorder (Fig. 15), or the microbarograph (Fig. 16), etc..

As another application of this filtering system, a filtering device was constructed to make easy inspection of a record by attenuating the longer and the shorter period components of waves and taking out a particular period band. This device is schematically shown in Fig. 17. For example, if a tsunami record observed by a tide gauge is put on this device, it will be translated into a simple record, because the tide of long period and the short period waves such as seiches of a bay where the tide gauge station is located, will be attenuated in their amplitudes. These practical examples are shown in Figs. 18, 19, 20.
