

洋上波浪計および波浪解析器について

木村 稔*・藤原信夫**

ON THE OCEAN WAVE RECORDER AND WAVE ANALYSER

Minoru Kimura and Nobuo Fujiwara

Received 19 July 1972

Abstract

In this paper, an Ocean Wave Recorder developed by the Japan Hydrographic Department is described. The instrument is essentially a Froude's type wave pole, combined with a step resistance wave recorder, and is designed for the purpose of measuring large oceanic waves on the high sea.

The sea water forms a part of electric circuit and the change of water level corresponds linearly to that of the electric current intensity. The latter is converted into the frequency change of 1.0-2.0 kHz and recorded on a magnetic tape in the instrument. It is also possible to monitor the operation on board a ship by means of cable.

Furthermore, a wave analyser for processing the data by the instrument has been also developed. This wave analyser computes automatically the H-mean, H-1/3 and H-1/10 from the magnetic tape.

Field observations using this instrument has been carried out several times and the results are satisfactory for the most part.

1. ま え が き

洋上における波浪の資料は、船舶の安全運航に関するだけでなく、漁業等の海上作業や船舶の設計、ブイまたは海洋開発に伴なう海上浮遊および固定構造物の設計、運用のための基礎資料として極めて重要なものである。しかるに現状においては外洋における波浪に関する資料は極めて少なく、またその大部分が目視観測によるもので、観測者の個人誤差が考えられ信頼できる波浪資料は殆んどないため各方面から早急に観測面の強化をはかることを強く要望されてきた。このため海上保安庁水路部では昭和42年度から昭和44年度にかけて「洋上における波浪観測技術の研究」を実施、浮遊型洋上波浪計を試作し、その後も現在に至るまで実験を重さね、その都度部分的な改造を施し、ほぼ実用に供し得る洋上波浪計を完成した。またその測定した資料の解析を行なうため「波浪解析器」もあわせて試作したのでこれらについて報告する。

2. 洋上波浪計の原理

本洋上波浪計は水深の大きな大洋上の波浪観測を目的とするため、観測地点に固定または係留することは極め

* 海象課 ** 編暦課 (前海象課)

て困難であると考えられるので従来から洋上の波浪観測に用いられてきたフルード (Froude) の波高計に階段抵抗式測定機構を組合わせ、測定を電氣的に自動化させたものである。すなわち、水密な測定桿に等間隔に電極、 P_1, P_2, \dots, P_n を埋込み各電極に固定抵抗 R_1, R_2, \dots, R_n を接続してある。(Fig. 1)

今この電極の P_1 だけが海水に浸ったとすると P_1 と E は導通するので、電流計④に流れる電流 I_1 は

$$I_1 = V \times 1/R_1 \text{ で}$$

また P_1 と P_2 が海水に浸れば P_1, P_2 と E が導通するから電流計④に流れる電流 I_2 は

$$I_2 = V \times (1/R_1 + 1/R_2) \text{ となる。}$$

一般に P_n まで海水に浸ると

$$I_n = (1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n) \text{ となる。}$$

ここで $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ であるとすれば

$$I_1 = 1/R \times 1$$

$$I_2 = 1/R \times 2$$

⋮

$$I_n = 1/R \times n$$

となり、電極が海水に浸った数と電流計に流れる電流とは比例するので、この電流計の値は海面の昇降と比例することになり、その極大極小の差により波の高さを知ることができる。実際には直流電源を使用すると電極の分極作用が起るため、直流12Vの電源から電流をインバータを介して1 kHzの交流信号として使用し出力信号を磁気テープに記録させる。この場合回路の中にある整流器の非直線性のため抵抗回路中の電流が直線変化をしても出力は非直線的になるのでこの抵抗回路の中の抵抗の値を適当に選んで直線的な信号が得られるように補正してある。

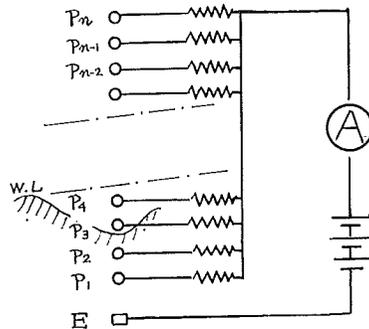


Fig. 1 Theory of Ocean Wave Recorder.

3. 波浪計の構成

本波浪計は Fig. 2 に示すように波力による破損を防ぐと共に各部の支持架を兼ねる保護枠内にプラスチック製水密構造の電極桿および水密構造耐圧容器に収納される測定機構部が支持された波浪計の本体と、これが波の上下動に追従することを防ぐためのグラスファイバー製の連結桿により接続されるシーアンカーとにより構成されている。電極桿には10cmの間隔で電極が埋込まれており、また本体保護枠の下部には波浪計全体の喫水線を調節するための浮力体が取付けてあり、シーアンカーの下部には同じく浮力調節用の重錘を取付けてある。そのほか長時間観測のため洋上に放置したのち収容することを考慮してその搜索を容易にするために本体の頂部にマ

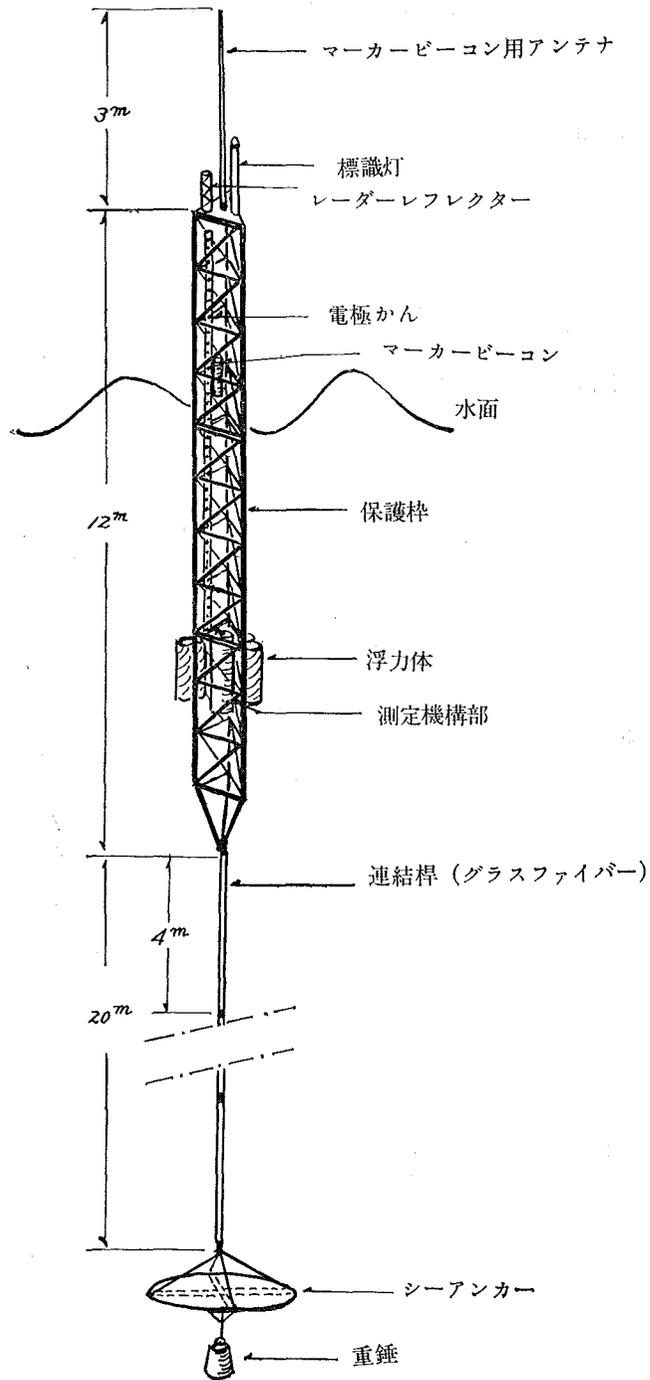


Fig. 2 General view of Ocean Wave Recorder.

カービーコンとレーダーレフレクターおよび標識灯を取付けることができるようになっている。これら全体を組立てた時の全長は約 35m, 空中重量約 250kg, 水中重量約 160kg である。次章に洋上波浪計を構成する各部の構造と機能の概要について説明する。

4. 波浪計各部の構造

イ) 電極棒

電極棒は Fig. 3 に示すように長さ 3.6m, 幅 10cm の凸型断面のプラスチック製でその凸面に真ちゅう製電極が 10cm 間隔で埋込んであり, その裏面には耐蝕アルミニウム製のアース板が張り合わせてあり, 全体を水密処理してある。これを 2 本上下に連結して電極数 71 個で最大 7 m までの観測ができるように組み合わせる。電極棒の内部には各電極と抵抗を結ぶコードが収納されておりクリスタルワックスが充てんされている。この電極棒は保護枠内部に U 型ボルトにより適当な位置に装着される。

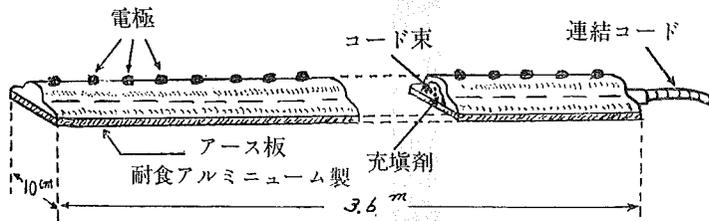


Fig. 3 An electrode pole.

ロ) 測定機構部

測定機構部は耐蝕アルミニウム製の長さ約 1.1m, 径 17cm の耐圧水密容器内に収納され保護枠下部に特製支持架によって取付けられ, この容器内に電源電池, 測定値変換機構部, 磁気テープ記録装置が収納されている。電池はアルカリ電池 1.2V のものを 10 個直列に連結し計 12V 15AH で使用している。測定値変換機構部は検出機構部, 変換機構部と観測時間をコントロールする時計装置等があり, 磁気テープ記録装置につながる。測定機構部のブロックダイアグラムを Fig. 4 に示す。磁気テープ記録装置は西ドイツ, テレフレンケン社製小型ワイヤーレコーダー (商品名, ミニフォンスペシャル) を使用してある。

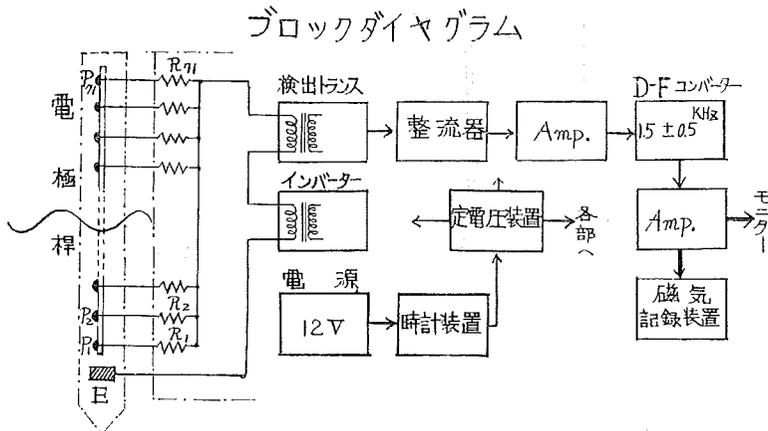


Fig. 4 Block diagram of the Ocean Wave Recorder.

ハ) 保護枠

保護枠は電極棒が波によって損壊するのを防ぎ、それと共に波浪計各構成部分の組立基本部となるもので、各4cmの長さの上、中、下の各段に分割出来る構造となっている。主材は重量の軽減を図るため耐蝕アルミニウム材を用い、径3cmのパイプ材3本を縦通材とし、4cm幅のアンゲル材の桁を1m間隔に入れて、一辺が40cmの正三角形断面に組み、強度を増すため同じアンゲル材でシングルワーレン型トラス構造にアルゴン熔接工法で組上げてある。強度は一応、波高7mまでの波浪に対し中立状態で安全であることになっている。保護枠の頂部には標識灯、マーカビーコンアンテナ、レーダーレフレクターの取付板があり最下部には連結棒の取付部がある。保護枠の縦通材は水密とし浮力体としての役割を兼ねさせてある。

ニ) 連結棒

連結棒は波浪計本体が波の上下動に追従するのを抑制するためのシーアンカーと測定部を連結するものであるが特に波が下る場合、ロープ等ではシーアンカーが抵抗板の役をなさない可能性があるため剛性を連結部に持たせるためとこの部分の重量を軽減し、設置、揚収時に無理な力が加わっても破損することのないように可撓性を持たせるため、グラスファイバー製の径4.5cm、長さ4mのポールとしてある。これを現在は5本リングジョイントで連結し全長20mで使用しているが、測定する波の状況に応じて4m単位で増減が可能である。

ホ) シーアンカー

シーアンカーは鉄製径1.5mの円形棒に布製またはビニールクロスを張ったものを使用している。

ヘ) 浮力体

波浪計全体の浮力を調節し、平均喫水線の保持を図るため保護枠の下部に浮力体を取付けてある。この浮力体は当初鉄製の径20cm、長さ1m20cmのものを6本使用していたが、波浪計を設置揚収する際に舷側等に衝突し破損浸水することが多く、浸水に対する安全性を高めるため径6cm、長さ1mの発泡スチロール円筒をキャンバスシートで包んだものを現在は使用している。水圧によって変形し浮力が減少するのを防ぐためこの円筒は耐水圧縮加工を施してある。またこの浮力体は波浪計本体の防敵物の役割をも兼ねるものである。なお浮力の微調節には発泡スチロール製の漁網用浮子を適当に取付けて調節する。

ト) 付加装置の概要

本波浪計には位置標示用として標識灯、レーダーレフレクター、マーカビーコンが取付けられるがそれらの概要は次のとおりである。

標識灯……標識灯は単一乾電池4個を電源とする0.7~1.0秒に1閃する赤色灯で昼夜自動点滅式である。

レーダーレフレクター……洋上波浪計の頂部に装着し、幅10cm、厚さ1.5mmの耐蝕アルミニウム板を隣接する各面が互に直角になるように折り曲げ接合したもので、全長は70cmで海水による腐蝕を防止するためシリコングラスファイバー発泡ポリスチロールにより筒型に被覆されている。

マーカビーコン……マーカビーコンは大井電機製TC-2型洋上波浪計用マーカビーコンでその要目は下表のとおりであり、波浪計の上部に装着する。

(1) 送信設備

電波の発射方法	方 法	備 考
	3分間発射, 17分間休止の連続	3分間6回発射
有効到達距離	100km	ただし電界強度 40db とした場合

(2) 送信装置

定格出力	8 W				
発射の可能な電波の型式および周波数範囲	型 式	周波数範囲	備 考		
	A ₁	1972.5 kHz 一波	符号 MS 104		
発射の方式および周波数の範囲	方 式	周波数範囲	備 考		
	水晶発振	1972.5 kHz	—		
変調方式および最大変調度	方 式	最大変調度	備 考		
	A ₁ 符号板自動回転式電鍵操作	—	—		
電源設備	パック式 RB-7 E乾電池 2個並列 (3 V電鍵装置, 30V送信器)				
送信空中線	型式	構 成	高さ	周 波 数	備考
	垂直	ローディングコイル付	3 m	1972.5 kHz 1波	—

(3) 空中線性

種 類	型 式	備 考
合成樹脂	自立式	波浪計構造物 頂部に取付け

5. 洋上波浪計の作動機構

本波浪計の観測機構は時計装置を介して行なわれ、まず時計接点によりリレーが働き、1 kHz、1.5 kHz、2 kHzの順でマーカ-信号が各12秒前後送られたのち、波浪信号が1.0~2.0 kHzの範囲で波高に相当する周波数信号として記録される。測定の時間は10分/1時間と10分/2時間のいずれかを時計装置を介した切替スイッチにより選択できるようになっている。波浪信号は波高に比例し1 kHz~2 kHzの間で直線的に変化する。Fig. 5 に波浪観測のタイムチャートとそのアナログ記録を示す。

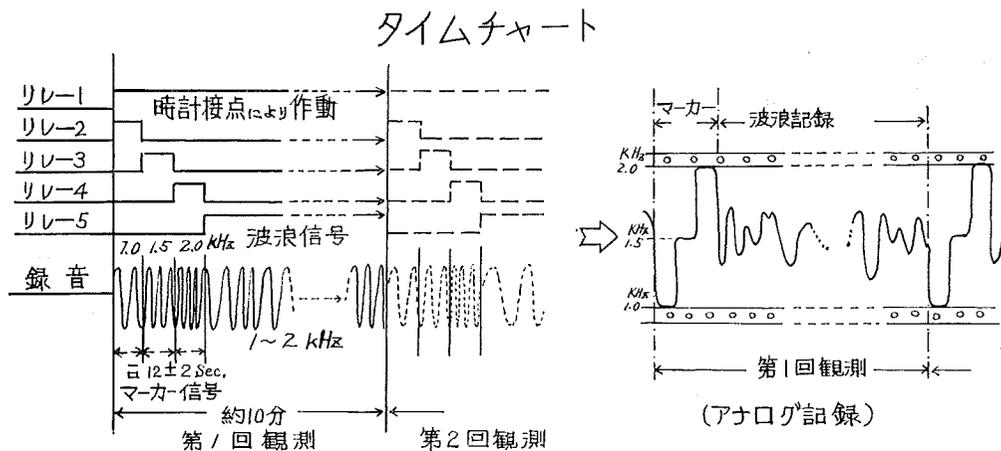


Fig. 5 Time chart of Ocean Wave Recorder.

また Fig. 6 に本波浪計の電極番号と発生周波数の関係および、観測作業を実施した際のキャリブレーションの例を併示する。本波浪計による波浪観測の場合波高は極大極小の差によって得られるため、その時の波浪計の平均喫水面の釣合の状態記録の平均水面が観測の都度多少変わるので電極番号と波高は一致しないが、周波数差と波高の比は一定である。

また本波浪計の作動状況を確認するために測定機構部からモニターコードを観測船上に引き、スピーカーまたはイヤホン等により発生している周波数を音に再生し作動の状況を確認できるようになっている。このモニターコードは作動確認後、その端末を水密処理し、ブイ等を付けて放置するが、このコードにより観測船上でテープに記録すると同時にペンオシログラフによりアナログ記録を得ることもできるようになっている。また同時にこのコードにより観測船上からの電力供給も可能なシステムとなっている。磁気記録は10分/2時間で作動させた場合、約1週間の連続観測が可能となっている。測定された記録はペンオシログラフによりアナログ記録に再生し検討すると共に波浪解析器によって各種波高をデジタル表示すると共にテープさん孔、デジタル印字も可能である。

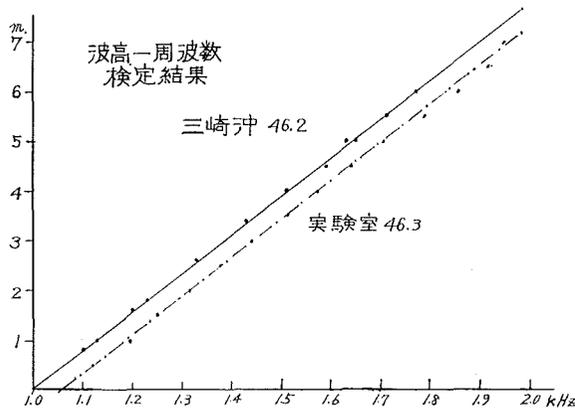


Fig. 6 H-F curve (Wave High-Frequency relation).

6. 洋上波浪計の設置

本洋上波浪計は組立てると全長が30mを越す長さとなるため、観測船上での組立ては困難であるので、観測に際してはあらかじめ岸壁等の平坦な長い場所で横にした状態で組立てる。そしてそのままの状態観測船の舷に横抱きの形で観測地点に運搬する方法をとっている。本波浪計を中立浮遊させた時の平均喫水のバランスをとるための浮力体と重錘の量は一応きまっているが、そのチェックと付加物の増減等があった場合の釣合関係の微調整をするため実際には観測地点に向う前に本波浪計の長さより深い静かな海面を選んでその調整を行なっている。洋上波浪計の設置作業は下部から徐々に海面に降下させて行く方法をとっているが、全体の重量はそれほど重くはないけれど、細長い形であるため海面で中立浮遊している状態では構造的に十分な強度はあるが空中で一点だけで本波浪計の全重量を支えるような形で降下させると、先に水中に入っているシーアンカーが抵抗板となって、船の波による上下動の力が加わり支持点付近を損壊するおそれがあるので、波浪計に加わる力を分散させ損壊を防ぐため、なるべく多くの個所に支持索をつけ、波浪計の降下して行く角度に応じて、それぞれの支持索をのびしながら降下させる方法をとる。揚収に当っては、前以って設置の際シーアンカーと保護棒最下部にロープを取り付けておきその一端を保護棒の水面上の部分に固縛しておいたものを船上に取り込み、シーアンカーから引き上げ、次いで保護棒下部のロープを引き上げ波浪計を横にしてから全体を引き上げ舷側に固縛する。その状況をPhoto 1 に示す。

7. 洋上波浪計のシーアンカーの位置について

本洋上波浪計のシーアンカーの位置を決める連結棒の本数の決定は下記の根拠によっている。すなわち、一般

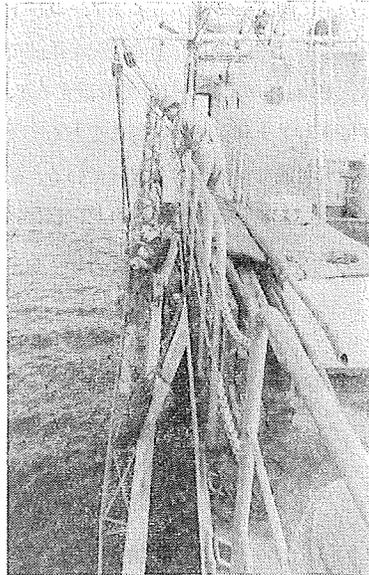


Photo 1 Setting work of Ocean Wave Recorder.

に知られている無限小振幅理論によれば海面の水の上下運動を η_0 とし海面下 y の位置における水の上下運動を η_y とすると、

$$\begin{cases} \eta_0 = a \sin(kx - \sigma t) \\ \eta_y = a \sin(kx - \sigma t) \frac{\sinh k(h-y)}{\sinh kh} \end{cases} \quad \begin{array}{l} k \dots \text{波数} \\ h \dots \text{水深} \\ y \dots \text{表面下 } y \text{ の位置} \\ \sigma \dots \text{角振動数} \end{array}$$

で表わされる。洋上の波についてみると $h \gg \lambda$ と考えてよいから、従って

$$\sinh k(h-y) / \sinh kh \doteq 1/e^{ky} \quad \text{となる。}$$

今仮に波の波長を λ として表面下 $\lambda/2, \lambda$ の位置での水の上下運動の比率を求めてみると、

$$\left. \begin{array}{l} \eta_{\lambda} / \eta_0 = e^{-k\lambda} / e^{-k0} = e^{-2\pi} \doteq 0.002 \\ \eta_{\lambda/2} / \eta_0 = e^{-k\frac{\lambda}{2}} / e^{-k0} = e^{-\pi} \doteq 0.043 \end{array} \right\}$$

となり $\pm 5\%$ 誤差を許すならばシーアンカーの位置は $\lambda/2$ 程度でよいことになる。ところで一般に波長を測定することはむずかしいので周期との関係 $\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}$ から推定するが、洋上の場合 $h \gg \lambda$ と考えられる

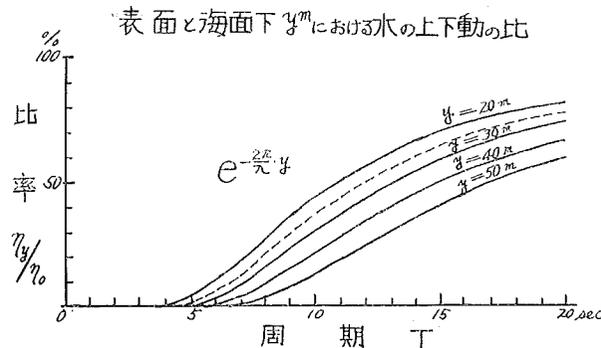


Fig. 7 Relation between surface wave and under wave.

ので $\tan h \frac{2\pi h}{\lambda} \rightarrow 1$ と考えられ $\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2$ で表わされることになる。この関係を用いて海面下のシーアンカーの位置と周期 T の関係を見ると Fig. 7 のようになる。したがってシーアンカーの深度を決定するときは予想される波の周期と許容誤差をどの程度にするかによって決めなければならない。本洋上波浪計の場合は一応電極の間隔が10cmであり、 ± 10 cmの誤差はあるわけであり、また試作1号機で機能テストに重点を置いているのであまり長大な連絡棒を用いると観測船での設置揚収が困難であるので現在は海面下約25m程度にシーアンカーの位置を設定しているが、この場合は周期が7sec程度の波では、その測得波高には約10%の誤差が含まれることになる。

8. 洋上波浪計による波浪観測

本洋上波浪計が昭和44年度に完成して以来、昭和45年度から毎年1～2回の実用試験観測を洋上において実施してきたが、そのうち昭和46年夏期に測量船「海洋」で相模湾および駿河湾で実施した観測について報告する。

イ) 観測の概況

昭和46年7月22日から7月31日にかけて Fig. 8 に示す観測点において本波浪計を使用して各点それぞれ2～3回、1時間間隔でおおの約10分間の波浪観測を実施した。時期が夏期であり期待された台風の接近もなか

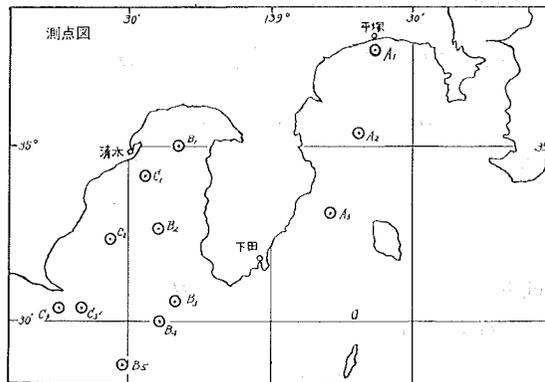


Fig. 8 Wave observation Stations.

ったため全般に静穏な天候が続き波浪は小さく、海面状況は風浪よりも遠方からくる小さいうねりが卓越している時が多く、期待された大きな波の測定はできなかったが、本波浪計の設置揚収法の検討および、波浪計各部の作動状態の検討についてかなりの成果を挙げることができた。Photo 2 に観測中の波浪計を示す。

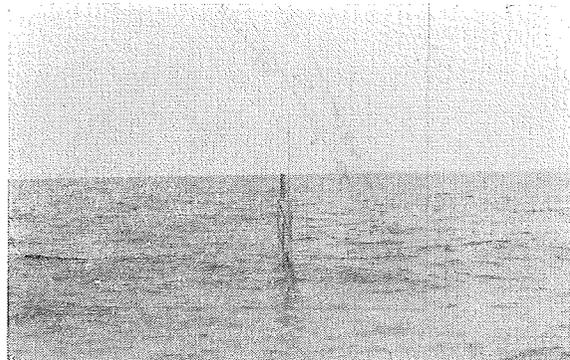


Photo 2 Wave observation with Ocean Wave Recorder.

ロ) 資料整理の方法

各測点で観測された波のアナログ記録から連続した100個程度の波を対象に、波高は極大極小法により、周期は極大点間隔で読み取り整理し、おのおの平均波 \bar{H} 、1/3最高波 $H\frac{1}{3}$ 、1/10最高波 $H\frac{1}{10}$ 、最高波 H_{max} 、について統計した。普通波浪観測の実務では、ゼロアップクロス法が標準とされているが、今回は波浪計のシーアンカーの位置を水面下25m前後として観測したため、周期の長い波のときは波浪計自体の上下動がさげられないため、平均喫水線が変り、記録にドリフトが見られるため上記の方法によって整理した。従ってゼロアップクロス法にくらべて、平均波高は小さくなり、また周期の長い波の上下動に波浪計が追随する結果、測定された波高は実際波高よりやや小さく観測された可能性が多分にあるものと考えられる。

ハ) 波浪の概況について

前記の方法によって整理した今回の観測の結果は、夏期の静穏時期の観測であったため、当然予想されるように全般に波浪は小さく、観測した波の最も高かったのは相模湾のA₁測点で観測した1.40mであり、大部分の波は1.0m以下の波であった。以下に観測した波の統計的性質について調査の結果を記す。

イ) 波高

観測された波の各種平均波の波高は相模湾、駿河湾の両海域をまとめて、それぞれ $H\frac{1}{3}=1.626\bar{H}$ 、 $H\frac{1}{10}=2.133\bar{H}$ となり (Fig. 9) Longuet-Higgins が示した

$$P(H) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{H}{\bar{H}^2} \cdot e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2} dH \quad (P(H) \text{ は波高の確率密度, } \bar{H} \text{ は平均波高})$$

の Rayleigh 分布から計算される $H\frac{1}{10}=2.17\bar{H}$ 、 $H\frac{1}{3}=1.60\bar{H}$ ときわめて近い値となっている。観測した波高の10cmごとの階級別出現状況を各海域ごとにまとめた結果を Fig. 10 に示す。最も多かった波高は両海域とも極めて低い0.2m台で全波の30%に当り、次位は0.4mであり、また観測した波の90%までは0.5m以下で、1.0mを越す波は相模湾で3%、駿河湾で1%弱であった。波高の分布は Longuet-Higgins によって示された Rayleigh 分布の形と似ているが最大値は \bar{H} より低いところに現われている。この理由としては波浪計の測定部が10cm間隔の階段抵抗式であるためその測定値が階段的であり、また全般に波高が小さかったため生じたものと考えられるので、波高の分布はかなり理論値と合値しているといえよう。

平均波高と $H\frac{1}{3}$ 、 $H\frac{1}{10}$ の関係

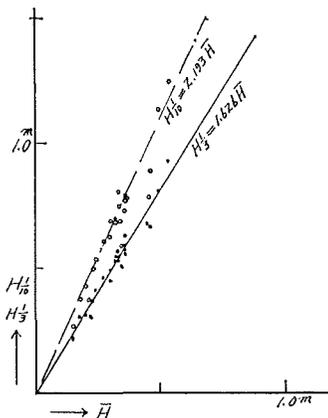


Fig. 9 Relation between \bar{H} and $H\frac{1}{3}$, $H\frac{1}{10}$

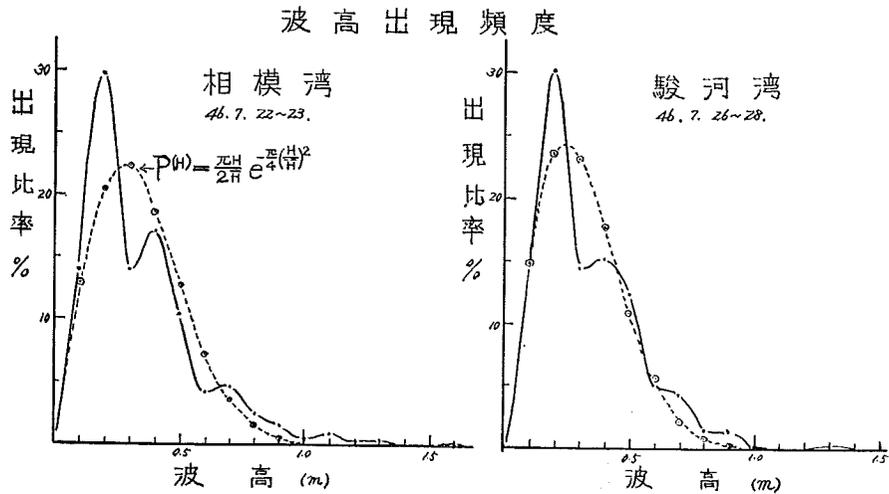


Fig. 10 Histogram of wave height.

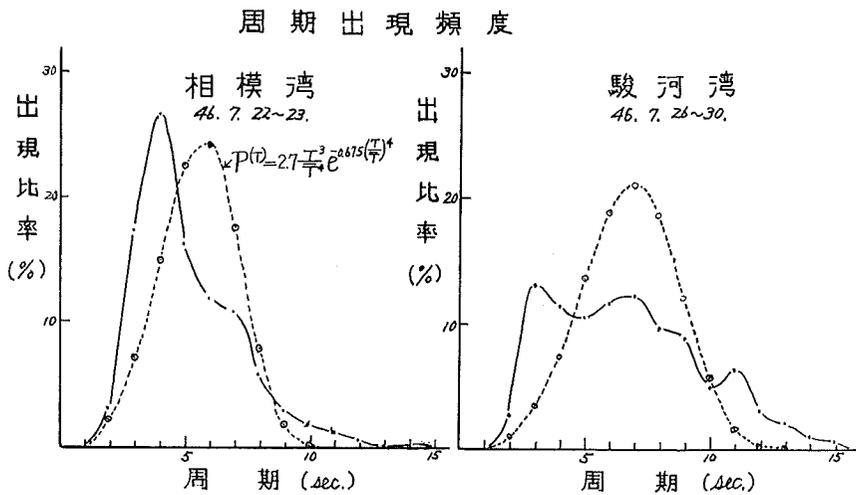


Fig. 11 Histogram of wave period.

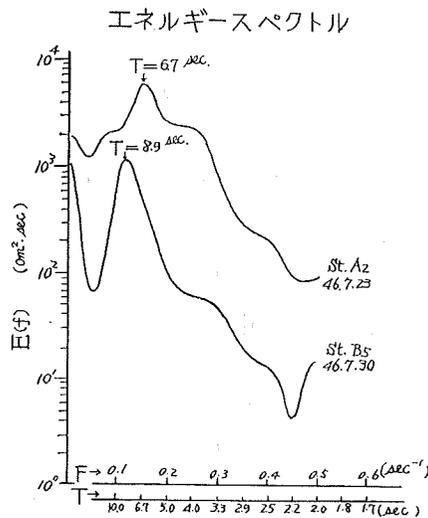
ii) 周期

各海域ごとの周期の1秒ごとの出現頻度分布を Fig. 11 に示す。これをみると相模湾では4秒台の波の30%を最高として3~7秒台の周期の波が全波の80%をしめ、又駿河湾では3秒台から9秒台までの周期の波が10%前後の比率で並びきわだったピークのないなだらかな台状に近い形の分布をしている。これをBretschneiderの示した周期の Rayleigh 分布 $P(T) = 2.7 \frac{T^3}{\bar{T}^4} e^{-0.675 \left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^4}$ と比較すると両海域とも Rayleigh 分布より長い周期のものが現われており分布域が広がっている。また平均周期 \bar{T} より短い周期に極大が現われており、周期については理論値とあまり似ていないようである。両海域での周期の分布状態のちがいは、相模湾ではやや風が強く風浪が見られたが、駿河湾では風がよわく、風浪よりうねりの成分が多く、それに小さい風浪が重なっていたため、周期の分布域が広がったものとみられ、海域のちがいによるものではないと思われる。次に統計された各種平均波の周期の関係をみると、波高における関係にくらべて相関度は悪いが、一応 $T_{1/2} = 1.19\bar{T}$ 、 $T_{1/10} = 1.26\bar{T}$ の関係がみられた。この周期の関係でパラツキが大きいのは、

うねりの時の状態と風浪の状態での観測を一緒に統計したためと考えられる。

iii) エネルギースペクトル

この観測期間中風浪の卓越した時のエネルギースペクトルをA₂測点のものについて、またうねりの卓越していた時のエネルギースペクトルの例をB 5 測点のものについて HIPAC-103 で計算した結果を Fig. 12 に示す。この観測は全般に波高が小さかったため、エネルギー総量は小さかったが、それでも波の比較的高かったA₂測点と波の極めて低く周期の長かったB 5 測点では、明らかにエネルギー分布のちがいがみられ、それぞれの波のエネルギーの卓越している周波数帯域も、風浪の発達していたA₂測点では0.15 (周期6.7秒), うねりの多かったB 5 測点では 0.11 (周期8.9秒) 付近にあらわれている。



本洋上波浪計を使用して実施した波浪の観測の概要は以上のとおりであるが、その結果は波の統計的性質について多くの研究者によって示されている大洋の波浪の性質とよく合致しており、本波浪計の機能面での十分な実用性を裏付けたものといえよう。

9. 波浪解析器について

一般に観測された波浪の統計的性質を調べるのに最高波 H_{max} , 1/10最高波 ($H_{1/10}$), 1/3最高波 ($H_{1/3}$, 有義波), 平均波を記録から読取って計算するが、この作業は波数が多いため多大の労力と時間を要する。本波浪解析器はこの問題を解消することを目的として、洋上波浪計で観測された波の磁気記録から各統計波高を算出し、プリンターで表示すると共にデジタル記録装置によって紙テープにさん孔記録までをさせるよう試作したものである。以下にその概要について報告する。

(イ) 波浪解析器の原理

波浪の統計的性質として $H_{1/10}$, $H_{1/3}$ 各最高波高および平均波高と波浪のエネルギー的性格を持つ E なる値との間には、Longuet-Higgins によって次の関係のあることが示されている。

$$\text{すなわち} \quad H_{1/10} = 3.60 \sqrt{E}.$$

$$H_{1/3} = 2.83 \sqrt{E}. \quad (E = 2 \sum a_i / n, \quad a_i = b_i - \sum b_i / n = b_i - \bar{b}, \quad n \dots \dots \text{個数})$$

$$H_{mean} = 1.77 \sqrt{E}.$$

(Fig. 13 参照)

本波浪計はこの関係を用い、自動的に洋上波浪計によって得られた波浪の磁気記録から一定間隔に a_i をサンプリングして、 \sqrt{E} を求め、上記の各係数を順次掛けることにより、波高各要素を知るものである。

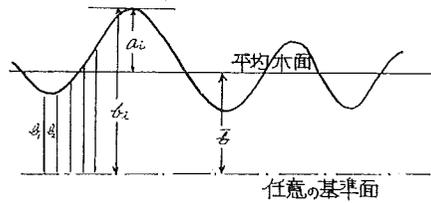


Fig. 13

(ロ) 波浪解析器の構成

本装置は波高計算装置とデジタル記録装置から構成されており、波高計算装置には印字器と記録計が付随しており、デジタル記録装置にはさん孔器とワインダーが付随している。本装置の外観を Photo 3 に示す。

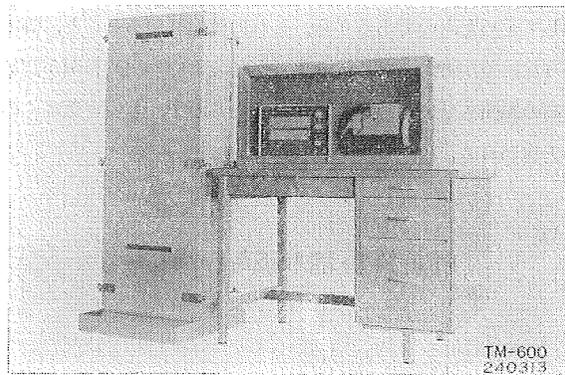


Photo 3 Wave analyser.

また、波高計算装置の回路構成は Fig. 14 のとおりである。

波高計算装置回路構成

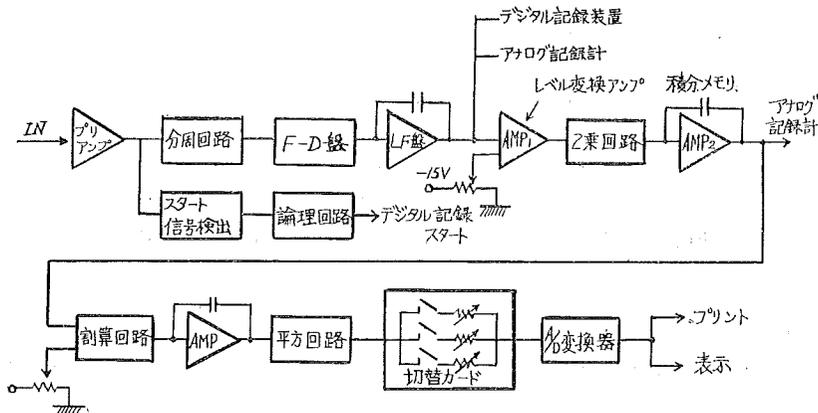


Fig. 14 Block diagram of Wave Analyser.

(ハ) 波浪解析器の機能

磁気レコーダーから 1 kHz ~ 2 kHz の間で変化する周波数として入力された波浪情報は、増幅されたのち分周

回路で 125~250 Hz に変換され、更に 0~2 V の直流電圧に変換される。この出力はアナログ記録とデジタル記録装置の入力としても使用される。それから、自乗、積分、平方、割算の各回路を経て *E-Value* に相当する値として出力される。データのサンプリングは、0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 秒の 5 通り撰択できるようになっている。

(二) 使用結果

昭和46年2月相模湾において実施した観測の記録について、アナログ記録に再生して読取り整理した成果と本波浪解析器に磁気観測記録を入力して得た結果との $H/1/2$ について比較したものを Fig. 15 に示す。この結果をみると、ややバラツキがあるが、その原因としては次のようなことが考えられる。すなわち

i) 前8項でふれたように洋上波浪計のドリフトがこの時の観測においても見られたが、解析器は一定基準面から無作為に読取り積算を行なって行くため、ドリフトした分が結果に加わっていること、

ii) アナログ記録の読取の際の読取誤差が考えられること。

iii) Longuet-Higgins による *E-Value* 係数と各統計波の関係についても必ずしも絶対的なものではなく、多くの資料を統計して定めたものであるから、これには偏差があること、等である。

しかしながら以上のような誤差が考えられるにせよ、かなりよい一次的相関が認められる。いまだ波浪観測の資料が少なく、また波高の範囲もせいぜい 2 m ばかりであるので、もっと数多くの資料が蓄積されればよりよい結果が得られるものと思われる。

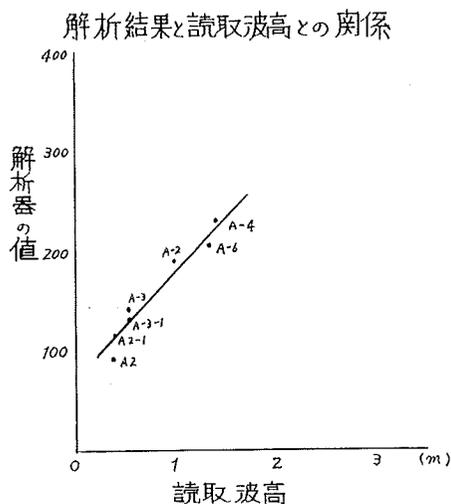


Fig. 15 Relation between wave high and Analyser value.

10. むすび

以上、洋上波浪計および波浪解析器の概要と、これを使用して実施した波浪観測の概要について報告したが、本洋上波浪計は型式を中立浮遊型としているため、喫水線の保持が困難であり、予備浮力が少なく、万一海上を漂流する物体と衝突する等の事故が生じた場合沈没するおそれのあること、また波の上下動に波浪計が追従するのを防ぐためのシーアンカーの位置が実用する際には $\lambda/2$ 程度を要し、連結桿が長大なものとなるため、その設置、揚収が極めて困難となる等の問題点はあるが、洋上における波浪を直接的に測定可能で、一応実用に耐える

ものと認められるであろう。また波浪解析器についても、いまだ実験資料が少なく実用するまでにはいたっていないが、資料がふえるにしたがって、その効果を發揮するものと考えられる。

なお、本洋上波浪計の製作は協和商工株式会社、波浪解析器の製作は大井電気株式会社がそれぞれ担当した。

ここに報告を終るに当たり、本洋上波浪計並びに波浪解析器の試作に御指導を賜った庄司水路部参事官（前海象課長）、これら機器の製作、実験、改良に終始努力された倉品公害課専門官（前海象課波浪係長）および関係官、ならびに実験、観測に甚大なご協力を賜った測量船「海洋」および「明洋」の乗組員各位に対し深く感謝の意を表する次第である。

（海象課）

参 考 文 献

Balair Kinsman, 1965, Wind Waves

合田良平, 永井康平 1971, 港湾技研資料 No. 61, No. 120