



Title	船の動揺のスペクトラム解析機について
Author(s)	川島, 利兵衛
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 12(4), 265-278
Issue Date	1962-02
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23144
Type	bulletin (article)
File Information	12(4)_P265-278.pdf



[Instructions for use](#)

船の動揺のスペクトラム解析機について

川島利兵衛

(北海道大学水産学部船舶運用学教室)

On a Spectrum Analyser for Ship's Oscillations

Rihei KAWASHIMA

Abstract

According to the several papers concerning studies of ship's oscillations in a seaway, their frequency domains are in the range from 0.03 c/s to 1.00 c/s. In order to analyse these low frequency phenomena, a wave analyser, analog type, was designed and tested.

This instrument consists of 4 parts, viz: a function generator, computer, servo system and recorder. An overall view of the instrument and a diagram illustrating its principle are shown in Photo. 1 and Fig. 1, respectively.

As to the diagram of Fig. 1, the film on which the ship's oscillations to be analysed are recorded is placed on a variable speed rotating wheel whose surface is plated with chrome for reflecting the light and made periodically by repetition. Thus, the ship's oscillations which are converted to electrical signals are regenerated by the photoelectrical system. Those signals are put into the filter circuit, then rectified, amplified and applied in the recorder which is controlled by the servo system. Changing the speed of rotation of the rotating wheel to slow down from maximum speed under frictional forces, which has the same effect as using the filter continuously in the above noted frequency range, one obtains a continuous spectrum of the ship's oscillations.

In this instrument, the specified items are as follow:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| (1) Diameter of the rotating wheel: | 54.0 cm |
| (2) Maximum speed of the rotating wheel: | 360.0 RPM |
| (3) Wave length able to be analyses: | From 0.1 cm to 3.0 cm on the film |
| (4) Value of tuned circuit: | 312 c/s, Q=32 |
| (5) Time needed for analyses: | About 18 minutes |
| (6) Errors: | Below 13% |

The author calculated test examples by means of this instrument. They are shown in Figs. 8, 9, 10 and 11.

1 緒 言

海洋波及び大洋を航行する船が海洋波によって誘起される動揺は、1 c/s 以下の超低周波の極めて不規則な変動現象である。これらの現象の解析を目的として 0.03 c/s から 1 c/s の周波数範囲を解析できる波形分析機を設計した。

この種の解析機には、N. F. Barber, F. Usell, M. J. Tucker 等¹⁾によって設計された海洋波の解析を目的とするフーリエ解析機がある。観測によって得られた波形の一定の時間の長さを一周期とし

て電気的な波形にかえて演算するアナログ型計算機で、4 吋巾の演算用記録紙に波形を白黒にして再現し回転円筒の周囲に沿わせて捲き、これに線光源からの光を波形に対して直角方向に当てその反射光を光電管によって取り出すと、波形は電氣的に変換される、又円筒の回転速度に従って周波数変換もされる。この電気的な波形を増巾して電磁オッシロのガルバーに導くと、その同調特性がフィルターの役割をして同調周波数に対応する成分だけを取り出し、且つ円筒の回転速度を連続的に変えると、連続したフーリエスペクトラムが得られる。同じ様な方式を用いて、T. B. Whiteley 等²⁾は回転円筒に直径 12 吋のプラスチックドラムを使用し、35 mm フィルムに演算する波形を記録し、記録の光電変換には透過光を、又 CR フィルター回路を演算に用いている。

最近では、東大地震研究所の波形解析機も同じ様な方式を用いている。更に気象研究所の MERIAC-IF はフーリエ解析用電子計算機³⁾として海洋波の解析を目的として製作され、その分析精度は 1.5% と発表されている。

海洋波によって誘起される船の動揺の解析については、スペクトラム解析が用いられている。例えば、種々の条件の下における動揺のスペクトラムの比較、例としては 3 種の船型を選んで船速、針路、海面の状態によって示される船型間の耐波性の差についての資料としての航行中の動揺のスペクトラム、或いは波浪中波の進行方向と船の針路との相対角に対する動揺のスペクトラム等⁴⁾がある。更に定量的な解析として動揺の線型理論に基いて海洋波のスペクトラムが求められとその波による船の動揺のスペクトラムを求めれば両者の線型関係から船の動揺の応答を知ることが出来る。

本文にのべる解析機の構成は大別して次の 3 項になる。

- 1) 函数発生装置 2) 演算装置 3) 演算出力記録装置

設計に当って、型式は相似型計算機とした。その機構は、光電系によって変換された電気的変動を一定値のフィルターによってそのフーリエ成分を取り出し、XY レコーダー方式によって Y 軸に、X 軸に周波数をとってサーボ機構により走査せしめ連続スペクトラムを記録する。

次に、解析せんとする周波数範囲を決めるために、動揺論の立場から重要な意味のある船体動揺の固有周期を考慮した。即ち、横揺れの周期は 3 秒 (0.33 c/s) から 15 秒 (0.067 c/s)、縦揺れ及び上下揺れは 2 秒 (0.5 c/sec) から 7 秒 (0.14 c/sec) である。更に船の動揺を誘起する原因となる海洋波の周期は 1 秒 (1 c/sec) から 30 秒 (0.033 c/sec) 程度である。

又、解析せんとする記録の時間の長さは 15 分から 20 分の連続観測について、解析フィルム上 1 秒間を 1 至乃 2 mm の長さとして再現することを基準とし、周波数範囲の決定と相俟ってフィルターの値及び Q を決めた。

著者はこの解析機によって海洋波による船の動揺についての実験の解析を試みたので報告する。

2 海洋波による船の動揺のスペクトラム解析

- 1) 解析のための動揺記録からのサンプリング。⁵⁾⁶⁾

船の動揺、例えば横揺れ角、縦揺れ角又は波の高さ、傾斜等の時間的変化はある時間区間 $[-t, t]$ で定義される一価連続函数 $X=f(t)$ で表わすことができる。よって海上に於いて計測される船の動揺のある時間の連続記録は、計測機器の特性を考えないとすると上に定義された部分区間における連続函数となる。

即ち、部分区間 $[t_0, t_0+T]$ $X_i=f_i(t)$ (1)

この様に定義されている時系列の周波数スペクトルは $f(t)$ のフーリエ変換として次式で与えられる。

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad \text{但し } \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

解析機によって実測して得た動揺の連続記録から周波数スペクトルを演算する場合、記録されている函数 $f_i(t)$ を等時隔 Δt 毎にデジタルに読み取り、解析用フィルム上に再現する。これは函数 $f_i(t)$ を Δt で分割して得られる時点 $t_0, t_0+\Delta t, t_0+2\Delta t, \dots, t_0+n\Delta t$ に対する標本列 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$ を取ることになる。Shannon の標本化定理によれば、時間函数 $f(t)$ のスペクトルが、0 c/sec から W c/sec までとすると

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_k \frac{\sin \pi(2Wt-k)}{\pi(2Wt-k)} \quad \text{但し } X_k = f\left(\frac{k}{2\pi}\right) \quad (3)$$

$f(t)$ は $\frac{1}{2W}$ 秒毎に振幅値を取ると完全に決定される。即ち周波数帯域巾が限定されている時間函数に対しては標本点だけを考えればよい。函数 $f(t)$ が時間 T に定されていると、この区間内の標本点の数は $2WT$ 個である。従って周波数帯域巾 W 、時間 T に限定された函数 $f(t)$ については $2WT$ 個の標本点の値を与えると充分正確に決定される。

2) 線型振動系としての船の海洋波による動揺応答⁷⁾⁸⁾⁹⁾

線型動揺系があり、その衝撃波応答函数 $k(t)$ 、周波数応答函数 $\phi(j\omega)$ とは互にフーリエ変換の関係にある。

$$k(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(j\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad \phi(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} k(t) e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

之に、海洋波 $m(t)$ を定常確率過程と考へてその自己相関係数 $R_m(\tau)$ 及びスペクトル密度 $S_m(\omega)$ とすると、この海洋波によって誘起される動揺の応答 $x(t)$ は次式で与えられる一つの定常確率過程となる。

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} m(t-\lambda) k(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

この動揺の応答 $x(t)$ の自己相関係数 $R_x(t)$ 、スペクトル密度 $S_x(m)$ とすると

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t+\tau) \cdot x(t) dt \quad (6)$$

(5) 式を (6) 式に代入して計算すると

$$R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} d\lambda \int_{-\infty}^{\infty} k(\eta) k(\lambda) R_m(\tau+\lambda-\eta) d\eta \quad (7)$$

この式は海洋波の函数 $m(t)$ と船の動揺応答 $x(t)$ との自己相関係数の関係を示している。これらの自己相関係数とスペクトル密度との関係はフーリエ変換の関係にある。

$$S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau, \quad S_m(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_m(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (8)$$

よってこれらの関係から次式が導かれる。

$$S_x(\omega) = |\phi(j\omega)|^2 \cdot S_m(\omega) \quad (9)$$

次に、海洋波 $m(t)$ と船の動揺応答 $x(t)$ との相互相関係数 $R_{xm}(\tau)$ は次式で表わされる。

$$R_{xm}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T m(t-\tau) \cdot x(t) dt \quad (10)$$

(5) 式を (10) 式に代入して計算すると

$$R_{xm}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} R_m(\tau-\lambda) \cdot k(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

今、海洋波 $m(t)$ が所謂白い雑音とすると

$$R_m(\tau) = \delta(\tau) \quad \text{但し } \delta(\tau) = \text{デルタ函数}$$

よって, (11) 式から

$$R_{xm}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\tau-\lambda) k(\lambda) d\lambda = k(\tau) \quad (12)$$

従って (4) 式の関係から

$$\phi(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xm}(\tau) e^{-j\omega\lambda} d\lambda \quad (13)$$

以上の様に, 動揺応答を求める上にフーリエ変換の演算が必要である。Akcasu A. Z.¹⁰⁾ によれば, $X_i=f_i(t)$ から直接フーリエ解析してパワースペクトラムを求めても同じ結果が得られる。

3 スペクトラム解析機

海洋波の中の船の動揺を解析する目的で, スペクトラム解析機として, T. B. Whiteley 等の Photo-mechanical wave analyser や, 東大地震研究所の波形分析機と同一方式によるアナログ型電算機を設計した。この解析機の全景は Photo. 1 に示され, その作動原理図は Fig. 1 に示される。原理図から分る様に, 1) 函数及びサーボ信号発生装置, 2) フーリエ演算回路, 3) サーボ機構, 4) 演算出力の記録 (スペクトラム) の各部から構成されている。

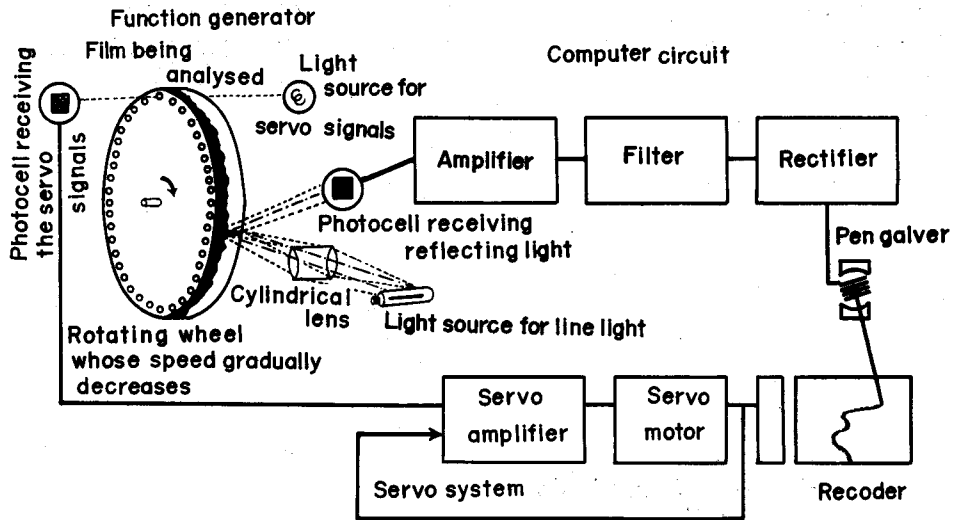


Fig. 1. Diagram illustrating the principles of the analyser

Function generator, Film being analysed, Light source, Photocell receiving the servo signals, Photocell receiving reflected light, Rotating wheel whose speed gradually decrease, Cylindrical lens, Light source for line light, Computer circuit, Amplifier, Filter, Rectifier, Pen galver, Recorder, Servo system, Servo motor, Servo amplifier

(1) 函数及びサーボ信号の発生

解析するために, 観測によって得られた動揺記録又はその標本列に従って 35 mm フィルムの上に函数 $f_i(t)$ を白黒に再現する, この方法としては次の二つの方法を適宜に使用した。

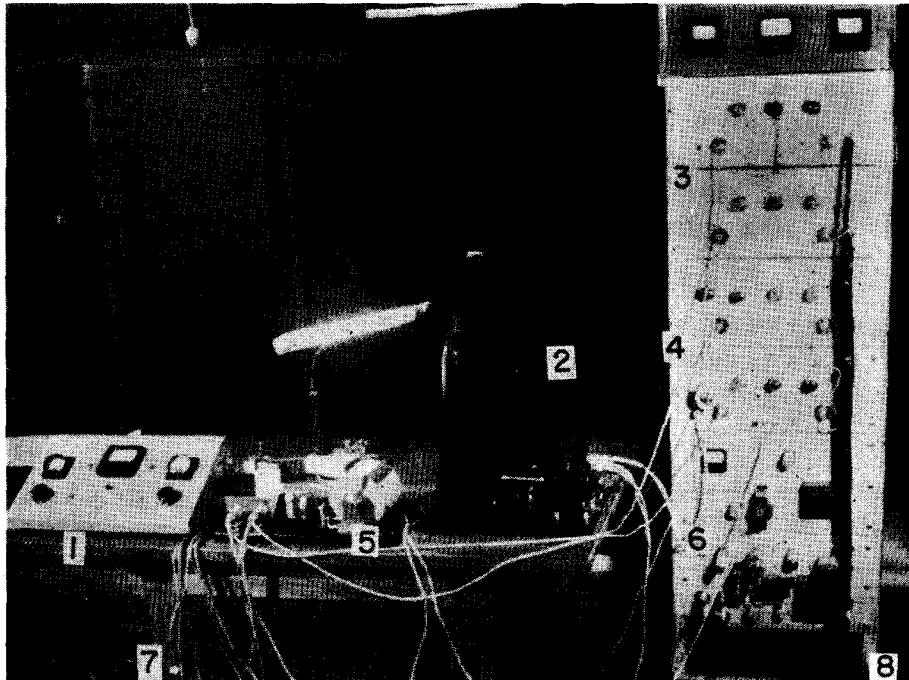


Photo. 1. View of the entire instrument

1. Control panel 2. Function generator 3. Tuned amplifier detector
4. Servo amplifier 5. Recorder 6. Power supply 7. Battery supply

a) 函数 $f_i(t)$ をトレーシンググラフ紙上に書き、曲線の片側を黒くする。この場合最大振巾を 10 mm とし、時間軸については、サンプリングの時間区隔及び演算回路のフィルターの値により決まる。これを 35 mm フィルムの上に沿わせてガラスで押え露光する。

b) Photo. 2 に示す変換器を用いる方法で主に連続記録から直接解所用フィルムを得る場合に使用する。記録紙上の変動の振巾及び時間軸は 5 : 1 の比でフィルム上に再現される。

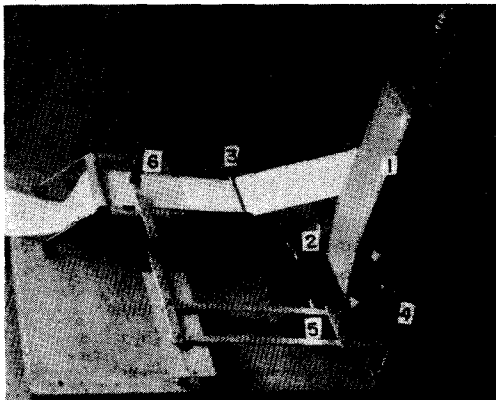


Photo. 2. Apparatus for making the film for analysis from observed data

1. Source of line light
2. Motor and gear
3. Observed record
4. Film magazine
5. Film to be analysed
6. Stylus

函数の発生

解析用のフィルムを直径 540 mm の回転ドラムの外側に取り付け円輪として閉じる。このフィルムの長さは 159.6 cm である。ドラムの外側はクロム鍍金し鏡面としてあるので、フィルムに線光源からの光を振幅の方向に当てること、フィルム面上の白即ち透明な部分の長さの光が反射されて Photo-cell に入る。よって、回転ドラムの駆動によりフィルム上の函数は電氣的変動に変換されて再現できる。線光源は、長さ約 35 mm の単一フィラメントの白熱電球と、反射鏡、シリンドリカルレンズ及びスリットによって形成される。電源には直流 6V フィルム上の線状光線の幅の調整はスリットによって行い、解析せんとする波の長さの $\frac{1}{10}$ 以下とした。次に、回転ドラムを最大回転数になるまで電動機により駆動し、これより空気抵抗によって減速させると、一つのフィルター回路を用いることによって適当な周波数範囲のスペクトラムを得ることが出来る。この場合、周波数範囲は解析用フィルムの上の波の長さの範囲に対応する。この解析機では、回転ドラムの最大速度は 360RPM である。

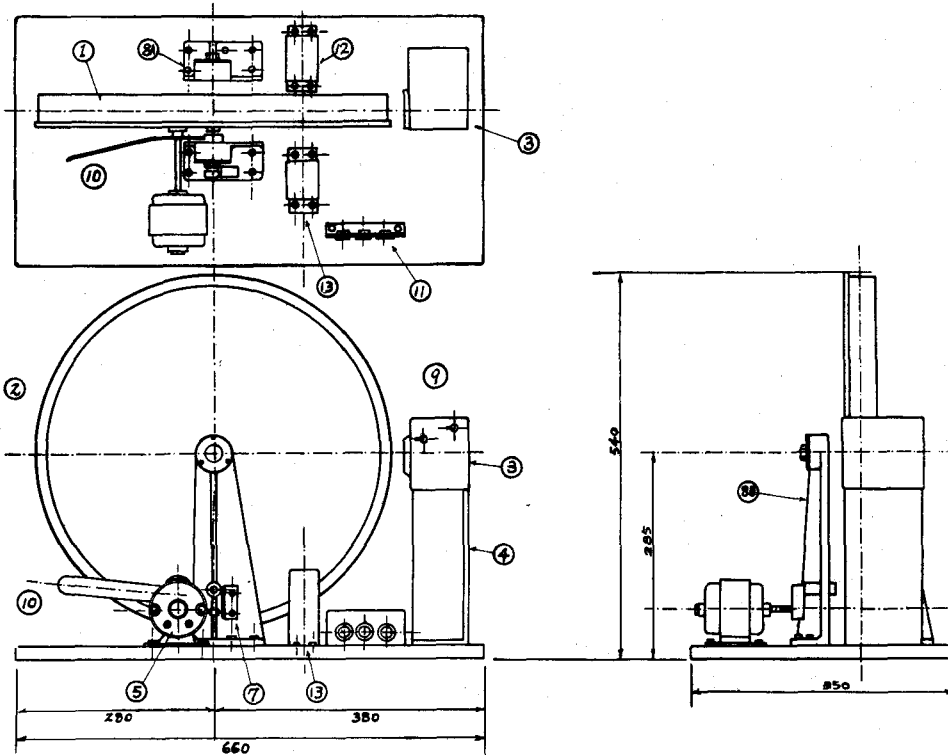


Fig. 2. Diagram of the mechanical part of the function and signal generator

1. Chrome plating, 2. Rotating wheel, 3. Photoelectrical pick up,
4. Bracket, 5. Motor to drive the rotating wheel, 7. Micro switch for driving motor, 8. Bracket for the rotating wheel, 10. Motor driving lever, 11. Plugs, 12. Lamp for the servo signal, 13. Photo-cell for the servo signal

サーボ信号の発生

演算したスペクトラムの記録するために、演算される各フーリエ成分の周波数に対応して記録ドラムを回転する。周波数の変化は、回転ドラムの減速による。従って、この減速量によって記録ドラムの回転を制御する。このためにサーボ機構を用いた。これは、Photo. 3 に示す様に、回転ドラムに 40 個の穴をあけ、光電系によって減速量をパルスの変化量として検出する。

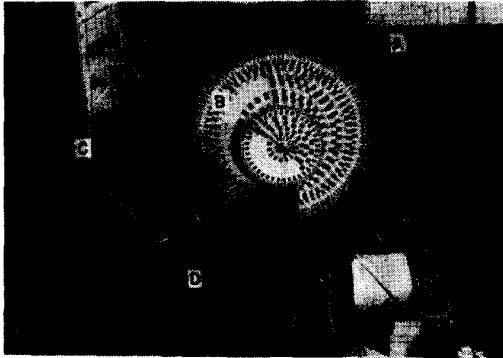


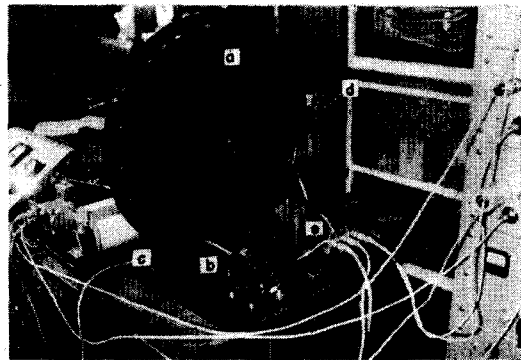
Photo. 3. Mechanical part of the function generator

- A. Rotating wheel
- B. Strobo image for speed counter
- C. Photoelectric pick-up
- D. Photoelectric pick-up

以上の操作には、Photo. 4 の電動機の駆動挺を押えると、これに連結されたマイクロスイッチによって駆動用電動機が起動して回転ドラムが作動する。このドラムの側面に、光源 50 c/s に対するストロボ像が 20 RPM 毎に、360 RPM から 20 RPM まで作られておいて回転数を表示する。回転ドラムの減衰は Fig. 4 に示される。

Photo. 4. Rotating wheel

- a. Rotating wheel
- b. Driving motor
- c. Lever for driving motor
- d. Photoelectric pick-up
- e. Light source for servo signal



(2) 演算回路

光電系によって電気的変動に変換された函数 $X_i = f_i(t)$ は、増幅されて中心周波数 f_0 の CR フィルター回路に入り、フーリエ成分が取出され、更に電力増幅回路を通して整流されペン書きオシロに入る。上記の函数発生機構と相俟って連続スペクトルが得られる。この場合に、フィルターの帯域幅及びこの帯域幅と周波数の変化量、言換えると回転ドラムの減衰量との関係は演算の精度に関係する。この点について Chang S. S. L., Whiteley T. B. 等によって論ぜられている。

この解析機については、 $f_0 = 312$ c/s, $Q = 32$ このフィルター特性を Fig. 5 に示す。

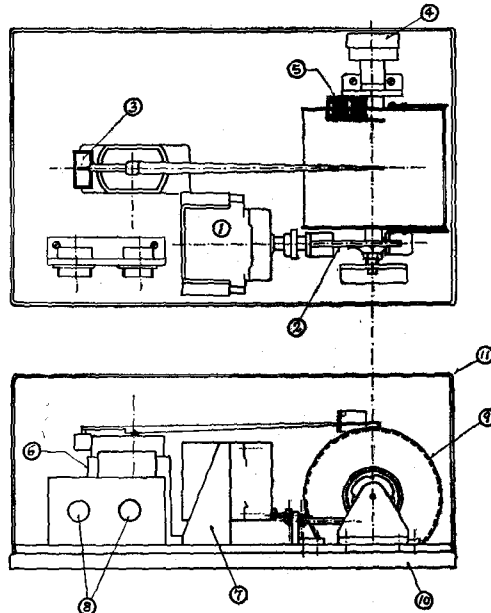


Fig. 3. Diagram of the recorder system

1. Balancing motor, geared down to 60:1 ratio
2. Gear, 50:1 ratio
3. Oil damper for pen galver
4. Variable resistance, 3 kΩ
5. Timer
6. Pen galver
7. Motor bracket
8. Recording drum
9. Steel case

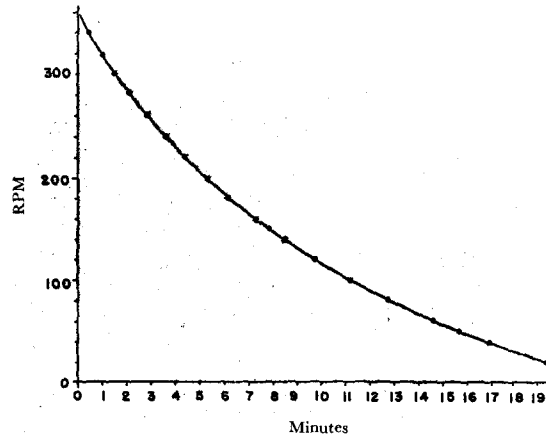


Fig. 4. Speed versus time for the rotating wheel

尚, この演算の意味については, 函数 $f(t)$ をフーリエ級数で表わすと次式で与えられる。

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ a_n \cos \frac{2\pi n}{T} \cdot t + b_n \cdot \sin \frac{2\pi n}{T} \cdot t \right\}$$

$$\text{但し } a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos \frac{2\pi n}{T} \cdot t, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \frac{2\pi n}{T} \cdot t \quad (14)$$

[0 < t < T]

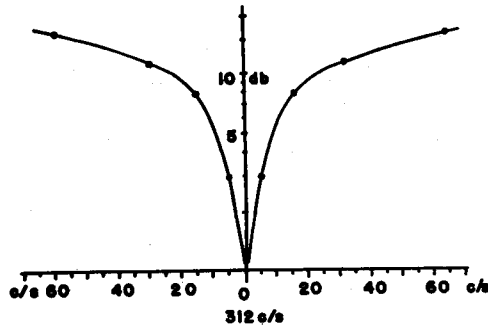


Fig. 5. Frequency characteristic of CR tuned circuit

次に

$$c_n^2 = a_n^2 + b_n^2 \quad (15)$$

とおくと、 c_n^2 は角周波数 $\omega_{n-\frac{1}{2}} = \frac{2\pi(n-\frac{1}{2})}{T}$ から $\omega_{n+\frac{1}{2}} = \frac{2\pi(n+\frac{1}{2})}{T}$ の周波数帯域幅に含まれる $f(t)$ のエネルギーに相当する。この解析機においては $\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ を出力としてペン書きオシロによって取り出している。

(3) スペクトラムの記録

ペン書きオシロによって、記録ドラムの軸方向、Y 軸に $X_i = f_i(t)$ のフーリエ成分又は第2節の演算によるフーリエ成分を、ドラムの回転方向、X 軸に周波数又はこの逆数として解析用フィルム上の長さ(時隔)をとる。回転ドラムが 360 RPM から減衰して 20 RPM になる間に、記録ドラムは長さ 1 mm から 30 mm の間を走査しつつ一回転する。この間にストロボ像による回転数表示に従って記録紙上にマーカーによって標すると、Fig. 7 によって X 軸が較正される。

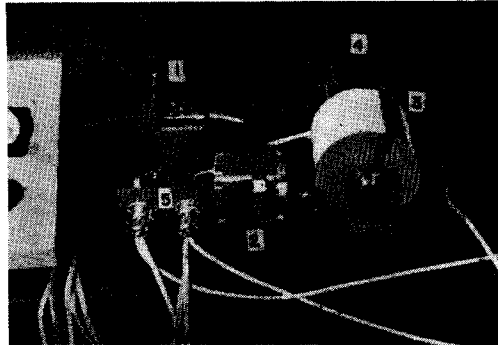


Photo 5. Recorder

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. Pen galver | 2. Balancing motor |
| 3. Recording drum | 4. Timer 5. Plugs |

Calibration

海洋波や船の動揺の様な Random Oscillation の場合、G. Neuman, W. J. Pierson 等による理論に従って沢山の正弦波の重量であると考えることが出来る。よってこの解析機についても、解析出来る波の長さは、解析フィルムの長さ、フィルターの高周波数値、回転ドラムの回転速度によって決まるの

でこの範囲 1 mm から 30 mm について基準となる正弦波の解析用フィルムを作り、演算してスペクトラムを求め X, Y 軸の目盛基準とした。

a) 解析用フィルム上の波の長さ 8 mm から 28 mm まで、長さ 4 mm 毎に、その振幅 2 mm の正弦として解析用フィルムを作り、光源電圧を一定として求めたスペクトラムを Fig. 6-a に示す。これは、正弦波を時間函数として長さ 1 mm を 1 秒に対応させると、上記の正弦波は夫々周期 8 秒から 4 秒間隔にとった周期 28 秒の波に相当する。

Fig. 6-a は、この解析機の周波数特性を示すもので、この範囲では演算出力は殆んど変わらないことを示している。このことから、正弦波の波長を一定としてその振幅を変えた場合のスペクトラムを求め Y 軸の目盛を得ることができる。即ち、波の長さ 20 mm の正弦波の振幅を、各々 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, とした場合のスペクトラと光源電圧との関係を求めて Fig. 6-b に示す。

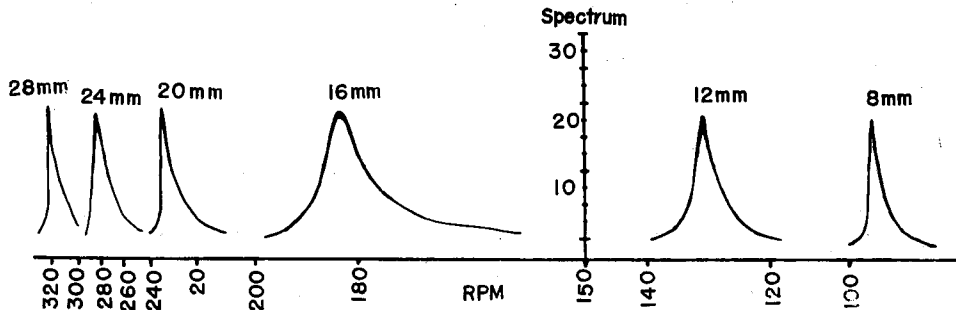


Fig. 6-a. Frequency characteristic of the analyser

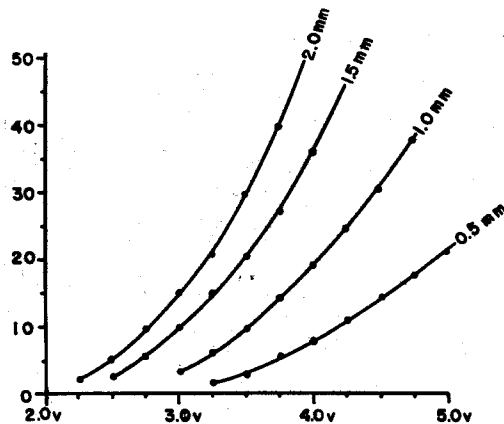


Fig. 6-b. Standard sine wave amplitude versus the voltage of battery supply for lamp

b) スペクトラムの X 軸は、周波数又は周期であるがこの解析機の操作上、解析用フィルムにおける波の長さとして表わされる。フィルムの全長、回転ドラムの回転速度範囲、フィルター中心周波数の値の関係から解析可能な波の周期又は周波数、或いは波の長さの範囲が決まるが、この場合は上記されている様に、1 mm から 30 mm の波の長さの範囲である。従って、波の長さ 4 mm から 2 mm 毎に 28 mm までの 13 個の正弦波について、振幅 1 mm とし全部の波を合成しフィルム上に再現

してスペクトラムを求めると、各正弦波に対応する 13 個の離散したスペクトルが得られる。これを Fig. 7 に示す。スペクトラム上の回転ドラムの 20 RPM 毎の標に対して 13 個の点をとれば、波の長さの目盛となる。この波の長さ、1 mm を 1 秒に対応させると、13 個の点は、周期 4 秒から 28 秒までを意味する。

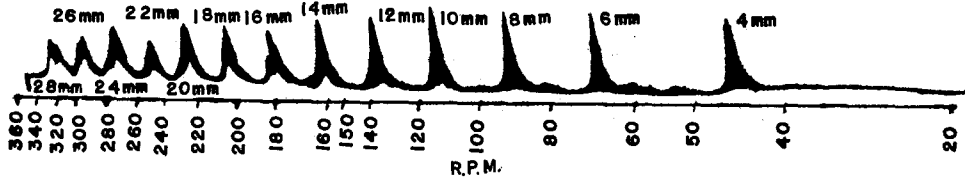


Fig. 7. Revolutions per minute versus frequency (Length of waves)

4 波による船の横揺れについての演算

海洋波の中の船の横揺れ応答についての研究に関連して、実験水槽の中で海洋波を再現し、船体模型の横揺れ角を測定してスペクトラム解析を行った。Fig. 8 は、この実験における海洋波の波高、波傾斜及び船の横揺れ角の記録の一部分である。この記録から、3 節(1) a の方法でフィルムを作り、この解析機で求めたスペクトラを Fig. 9 に示す。但し、波高は、1 cm を 1 mm に、波傾斜及び横揺れ角は、1 度を 1 mm とし、2 mm を $\frac{1}{5}$ 秒としてフィルム上に再現した。

次に、同様に、Fig. 8 について $\frac{1}{5}$ 秒の時隔で振幅を読み取って、デジタル型自己相関係数計算機により、波傾斜と横揺れ角のコログラム及び両者のクロスコログラムを計算し Fig. 10 に示す。これらについてこの解析機によるフーリエ変換を Fig. 11 に示す。

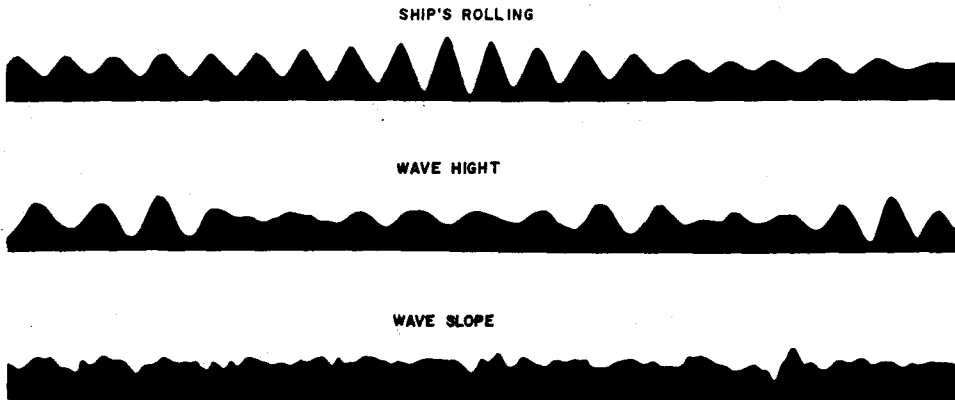


Fig. 8. Sample record of the ship's oscillations, wave heights and slopes

5 解析機の精度

上記の様に、この解析機による演算操作は、波高や動揺振幅等の変動を、計測記録から時間函数として取り出し、フィルム上に再現しスペクトラムを求めることである。この間の誤差の原因として次の各項がある。

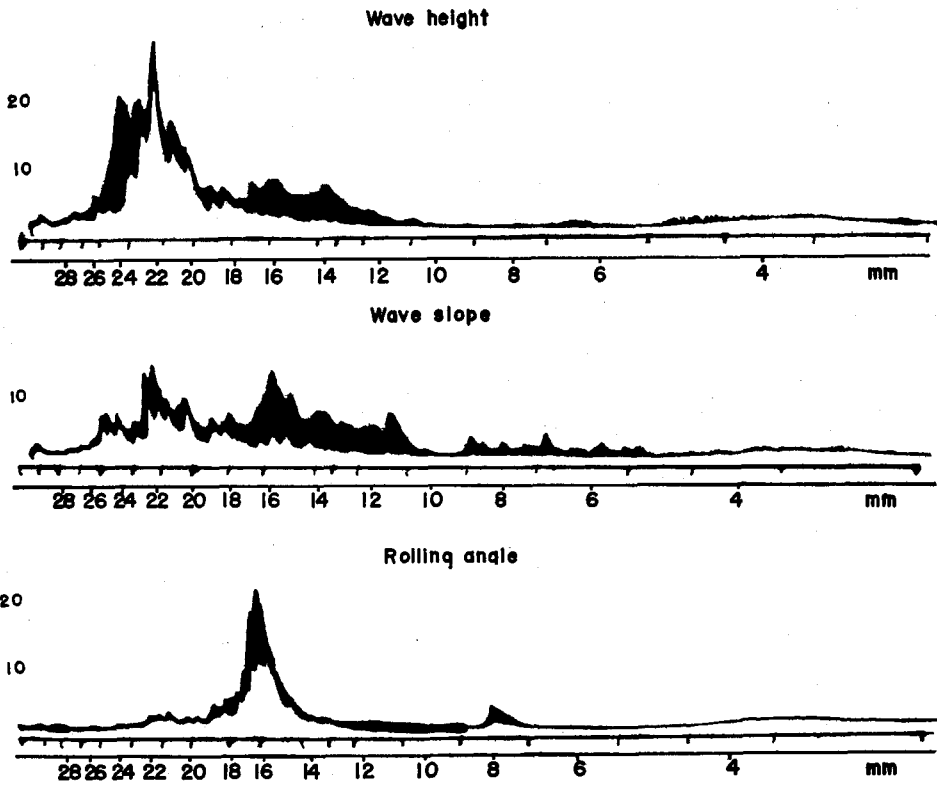


Fig. 9. Spectra for the ship's oscillations, wave heights and slopes

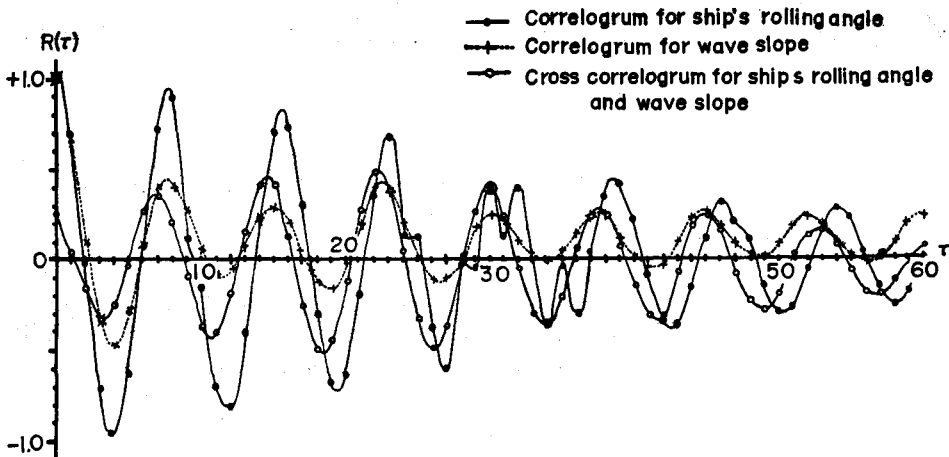


Fig. 10. Correlograms for the ship's oscillations and wave slopes, cross correlogram for the ship's oscillations and wave slopes

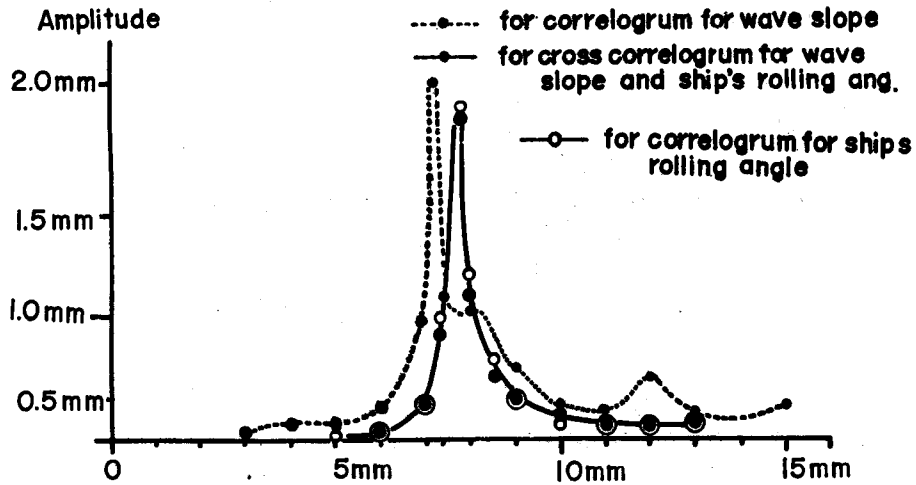


Fig. 11. Spectra calculated by the instrument from correlograms and cross correlogram

- 1) 計測記録を読み取り、フィルム上に函数を白黒に再現する場合
- 2) 解析用フィルム上の函数を光電系によって電気的変動に変換する場合
- 3) 演算回路に於ける演算過程
- 4) 電源電圧の変動オシロ用ペンの磨擦その他

第1項については、フィルム上への再現の方法によって多少の相違があるが、第1項から第3項までの総合した誤差を推定するために、第3節に述べた基準正弦波について繰返しスペクトラム演算をした。

その結果、総合的な誤差は12%である。尚、記録の読み取り誤差等を5%以内とすると、

$$\text{全誤差} < (12^2 + 5^2)^{\frac{1}{2}} = 13\%$$

となる。第4項については、演算操作によって又は Calibration 用の基準波形のスペクトラム演算を繰近しすることによって、殆んど無視出来る。

6 結 言

大洋の中を航行する船舶において、海洋波によって誘起される船体運動は極めて複雑である。このために実船において計測される横揺れや縦揺れの振幅或いは角速度の時間函数から操船のための意義を見出すには沢山のデータ処理が必要である。現在の段階においては、この解析機は、データ処理の自動化の方法として意義をもつものとする。

終りに、本機を設計するに当って東大地震研究所高橋教授の御指導並びに同研究所員相田氏の御助力に深謝する。又製作には、機械的部分は東京都協和商工株式会社、電気的部分は函館市精進電工業社の御協力を得た。

尚、この解析機は、文部省科学研究交付金により製作した。

文 献

- 1) Barber, N. F., Ursell, F., Darbyshire, J. & Tucker, M. J. (1946). A frequency analyser

- used in the study of ocean waves. *Nature* 158, 329-332.
- 2) Whiteley, T. B. & Alledredge, L. R. (1952). A photomechanical wave analyser for Fourier analysis of transient wave forms. *Jour. Sci. Inst.* 29 (II), 358-362.
 - 3) 降旗常雄 (1956). 新しい自動データ処理機械 MERIAC-1-F について. 気象と統計 10 (1), 23-31.
 - 4) Bledsoe, B. & Cummins, W. E. (1960) Seakeeping trial on three Dutch destroyer. *Trans. Inst. Nav. Arch. Mar. Eng.* 68, 39-137.
 - 5) 関 英男 (1955). 情報理論 岩波講座. 現代物理学. 59 p. 東京; 岩波書店.
 - 6) 喜安善市他 (1957). 情報理論 岩波講座. 現代応用数学. 111 p. 東京; 岩波書店.
 - 7) 山内保文 (1961). 船の波浪中の動揺応答の解析法について (その 1). 日本造船協会論文集 (109), 377-391.
 - 8) 宮脇一男 (1961). 雑音解析. 221 p. 東京; 朝倉書店.
 - 9) Thomas, J. B. (1960). *Introduction to the statistical dynamics of automatic control systems by V. V. Solodovnikov.* 307 p. New York; Dover Pub. INC.
 - 10) Akcasu, A. Z. (1961). Measurement of noise power spectra by Fourier analysis. *Jour. App. Phy.* 32 (4), 565-568.
 - 11) Chang, S. S. L. (1954). On the filter problem of the power-spectrum analyser. *Pro. Inst. Rad. Eng. N. Y.* 42 (8), 1278-1282.