

# 実 船 計 測 用 加 速 度 計

吉 識 雅 夫 ・ 竹 鼻 三 雄 ・ 助 川 政 之

(1957 年. 10 月 16 日 受 理)

## Accelerometer for Marine Use

Masao Yoshiki, Mitsuo Takehana and Masayuki Sukegawa

(Received October 16, 1957)

**ABSTRACT:** Three types of accelerometers are designed which are suitable to measure pitching and heaving of ship, ship's hull vibration and acceleration due to slamming in rough sea on board ship. In this paper the design details and the experimental results about these newly made accelerometers are described.

In part I, there are described about type IIA and IIIA (both bonded wire strain gauge type) which are made to measure pitching and heaving acceleration and acceleration due to slamming. Their natural frequencies are 33 c/s and 14 c/s, and measurable ranges of frequencies are 1 to 7 c/s and 1/10 to 4 c/s respectively. CR networks are used to obtain the electrical output proportional to heaving displacement directly from the measured heaving acceleration. These accelerometers showed satisfactory results in "Ginga-Maru" experiment done in Jan. 1956 in North Pacific Ocean.

In part II, descriptions about type IV and V (both bonded wire strain gauge type) are given which are made to measure ship's hull vibration. Their natural frequencies are both 30 c/s, with suitable damping by silicone oil, so as to make measurable range of frequency as 1 to 10 c/s. These accelerometers worked satisfactory in vibration experiments at sea trial tests.

In part III, details of newly designed DTF type accelerometer (differential transformer type) for ship's use and its amplifier are described. It's natural frequency is 16 c/s and this accelerometer showed excellent characteristics in its high sensitivity and stability.

## 結 言

船体構造の合理的設計を行うためには、船舶が航行中に受ける動的外力を把握し、船体の動的縦強度、振動特性などを明らかにする必要がある。

船舶が波浪中に受ける動的縦強度を論ずるには波と船との相対位置、波浪の動的圧力を知ると共に、船体の縦揺、上下揺等の加速度をも知ることが要する。また波の衝撃によるスラミング現象を知るためには波浪中の船体の位置・姿勢・相対速

度と衝撃加速度を求めることを要する。一方船体振動に対してはその振動数、振幅を実測してその特性、振動源を調べ、振動を軽減しうる設計資料を得ることが望ましい。

以上のような各種の計測を波浪中を航走する船舶について行うために、測定器の計測方法はその設置場所として利用し得る場所の狭いこと、航行中近接し難い場所をも測定せねばならぬこと、測定人員も制限せられることが多いことなどのため、電気計器による遠隔測定法を採用せねばなら

ない、しかもその計器は航行中の横揺、縦揺、上下揺などの船体の運動や船体振動下で作動し、かつ長時間にわたり安定性の良いことを第一に考える必要がある。また取扱の簡易なことが望ましい。これらの観点から実船実験に使用し得る計器としては加速度計型のものを採用し動揺、振動、衝撃加速度を測定し、変位の必要なものには加速度の二重積分によつて得ることが適当であると判断し、それぞれの用途に適した加速度計を試作し、実船の計測にこれらを使用した。

著者等は 1953 年度および 1955 年度に行はれた練習船北斗丸<sup>1)</sup> および銀河丸<sup>2)</sup> による実船航走時の強度試験に際し、電気抵抗線型加速度計とその附属装置の試作研究を行い、船体加速度および上下揺変位の測定に満足すべき結果を得た。またこの加速度計を改良した電気抵抗線型加速度振動計を試作し、航走時の船体振動の測定に成功することができた。さらに振動測定用として性能のすぐれた電磁型加速度計を試作した。その出力は抵抗線型に比較して格段に高いので、これを電氣的に二重積分すれば振巾を直接測定しうるものである。

本報告は 3 部からなり、第 I 部は船体運動測定用加速度計および二重積分装置の試作と銀河丸での計測例を、第 II 部は電気抵抗線型加速度振動計の試作とその計測例を、第 III 部は電磁型加速度振動計の試作について述べ、かつこの振動計の変換部分である差動トランスの二三の特性についての実験結果を纏めたものである。

## I. 船体運動計測

### 1. 1 船体運動における加速度の測定

波浪中を航行する船体を受ける上下方向の運動とその加速度を分類すると第 1 表に示す通りであり、これらを 1 種類の計器で測定することは不可能である。そこで加速度ピックアップを 2 種類製作し、第 2 表のように上下揺計測を主とするもの (II A 型) 3 個と、振動、衝撃の計測を主とするもの (II A 型) 1 個とに分けた。II A 型は波浪による衝撃加速度を記録するために船首部におき、III A 型は船の縦揺と上下揺の加速度を記録するため、船首部、中央部、船尾部に配置した。中央部の 1 個は後述の二重積分装置に接続して上下揺変

位をも同時に記録した。

第 1 表 船の上下方向加速度  
(長さ 100 m 前後の船)

種 類	振 幅	振動数 c/s	最 大 加速度 g	備 考
縦 揺	2~6 m	1/5~1/7	1	船首尾にて
上 下 揺	2~4 m	1/6~1/8	0.5	船体中央部に て
基本振動	1~2 mm	2.5~3.5	0.07	船首尾にて
高次振動	0.1 mm	6~8	0.03	船首尾にて
衝 撃	—	—	0.2	船速によつて 非常に違うこ の値は低速船

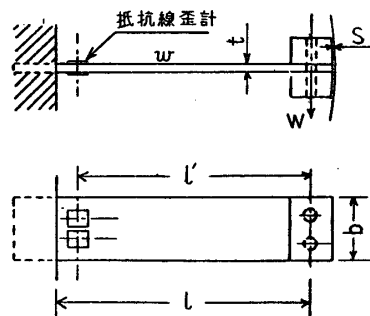
第 2 表 加速度ピックアップの分類

型名	測定振動数 c/s	最大加速度 g	電気出力 mV/g	備 考
II A	1~10	1.5	約 0.5	—
III A	1/10~4	1.0	約 1.0	静止点クラン プ装置附加

これらの計器には抵抗線歪計を使用し、加速度の値に比例した抵抗変化を生ずるようにして、動歪測定器を介して電磁オツシログラフに記録するようにした。オツシログラフの記録は、予め加速度ピックアップの加速度感度を校正しておけば、所要の加速度の値が得られる。上下揺の変位を知るためには加速度曲線を時間に対して二重積分すれば得られる。

### 1. 2 加速度ピックアップの概要

加速度ピックアップは第 1 図に示すように先端に重錘  $W$  gr を有する厚さ  $t$  mm, 幅  $b$  mm, 長



第 1 図 加速度ピックアップの振動エレメント

さ  $l$  mm の板ばねの他端をケースに固定したものゝを振子とし、このケース内にシリコン油を満して適当な減衰を与えたものである。この振子の固有振動数  $f_0$  c/s は粘性減衰および附加質量の影響

を無視すると式 (1) で示される.

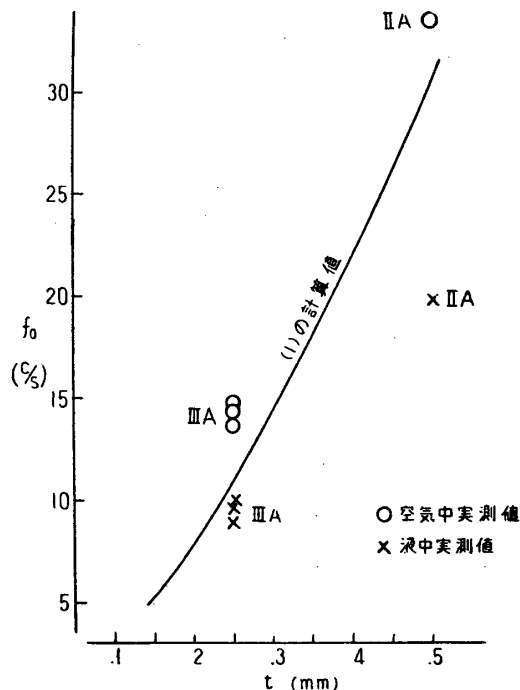
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E \cdot g \cdot b \cdot t^3}{4l^3(W + 0.23w)}} \quad (1)$$

ここに  $w$  gr はばねの重さ,  $E$  はばね材料のヤング係数,  $g$  は重力の加速度 ( $980 \text{ cm/sec}^2$ ). である. この板ばねの振幅を測る代りに, ばねの根本近くに表裏 2 枚ずつの抵抗線型歪計を貼り付け, 4 辺ブリッジ接続として歪を測ることとした. この振子が  $1g$  の加速度を受けて生ずる歪  $\varepsilon$  は式 (2) で示される.

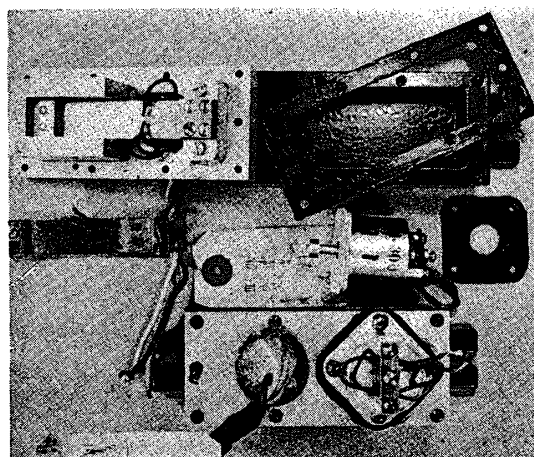
$$\varepsilon = \frac{6(W + 0.23w)}{Ebt^2} \cdot 2l'\eta \quad (2)$$

ただし  $l'$  は歪計の中心から重錘の重心までの距離,  $\eta$  は歪計のゲージファクターであつて, 歪測定器のゲージファクター調節つまみは 2.00 にセットするものとする. 加速度ピックアップに抵抗線歪計を使用したのは, 他の船体応力等と同一の出力レベルで同時測定を行うのに便利な為である. また振子全体をシリコン油中に浸したのは, 比較的粘度の低い油で適当な減衰が得られることと, シリコン油が化学的に安定で電気絶縁性も良いことを利用して抵抗線歪計の保護の意味をも兼ねさせる為である. 加速度計の外形寸法は底面  $137 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ , 高さ  $40 \text{ mm}$  であつてこれに高さ  $37 \text{ mm}$  のマグネットが附属する. 振子の寸法は  $l=60 \text{ mm}$ ,  $t=0.5 \text{ mm}$  (ⅡA 型),  $0.25 \text{ mm}$  (ⅢA 型),  $b=15 \text{ mm}$ ,  $W=11.5 \text{ gr}$  に定めた. これらはばねの固有振動数を第 2 表に示す測定すべき最大振動数の約 3 倍に選ぶためである. この振子の空気中およびシリコン油中における固有振動数の実測値と (1) 式の計算値との比較を示すと第 2 図の通りである. 空気中にては抵抗線歪計の貼付等の影響によつて計算値よりも高く, 液中にては附加質量の効果によつて計算値よりも相当低い固有振動数を示す.

ⅢA 型のケースと内部を第 3 図に示す. 図において上段左は蓋の裏面, 右はケースとパッキング, 中段左は振子, 右はクランプ用マグネットを示し, 下段は外観を示す. ⅡA 型はクランプ用マグネットがなく, リード線引出口の形状が ⅢA 型と異なる. ケースはアルミ合金鋳物製で耐蝕塗料を焼付け, 蓋はアルミ合金板製でアルマイト加工とした.



第 2 図 振子の空気中及びシリコン油中に於ける固有振動数の実測値と (1) 式の計算値との比較



第 3 図 ⅢA 型のケースと内部

ⅢA 型のリード線引出口は蓋に埋込んだポリエステル樹脂製ターミナル板を用い, ⅡA 型ではプラグ形式のものを用いて, 何れも油密の構造となつている. 振子の中央から先端部分は, ばねとの間隙  $0.5 \text{ mm}$  をおいて金具で屏風状に掩い, シリコン油の減衰作用がよく効くようにしてある. 抵抗線歪計は LW-5 (東京測器特註品, 抵抗  $120 \pm 0.3 \Omega$ , ゲージ長  $5 \text{ mm}$ , ゲージファクター 1.88, 2 エレメント並列型) を使用し, コーティングとしてシエラック下塗, アクリル酸上塗を施してある. パッキングはネオプレンでオイルシール (東芝製) を両面に塗付してシリコン油の漏洩を防ぐようにしてある.

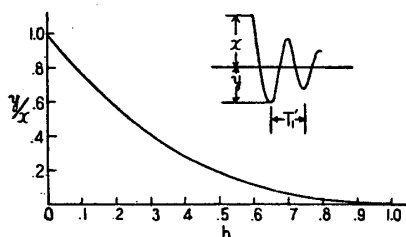
振子はⅢA型では蓋の裏側に取付けてクランプ用マグネットの動作を容易にしてあるが、ⅡA型では高い振動がパッキングによつて吸収せられないように、振子はケース側に取り付けてある。本ピックアップの重量はⅢA型が 550 gr, ⅡA型では 540 gr である。

1954 年 1 月に練習船北斗丸によつて行つた計器性能試験の結果、船体運動測定用加速度ピックアップには次の条件が必要ながことが判明した<sup>1)</sup>。

1. 上下揺測定のためには 1.5 mV/g 程度の感度を有するピックアップが必要である。
2. 実験中も随時遠隔操作によつて船の静止状態に対応する位置をオシログラフに記録できること。
3. 使用する抵抗線歪計の安定とリード線引出部分の疲労強度に注意を要すること。
4. 衝撃測定用として固有振動数の高いピックアップを別に要すること。

以上の対策として、1, ゲージ長さの短い抵抗線歪計を 4 辺ブリッジ接続として使用すると共に、固有振動数になるべく低くすることによつて感度を上昇する。2, 第 3 図に示す様なマグネットを置き、電流を通ずると押え金具がマグネットに吸引せられてコイルばねの圧力に抗して下降し振子の先端に接触すると共にこれを吸着するようにした。押え金具の高さは入港中に振子をその静止位置にクランプしうるように調整しておく。マグネット用電源としてはセレン整流器 (入力 AC 100 V, 出力 DC 75 V, 300 mA) を使用した。3, の対策としては歪計の引出線部分を補強した特注品を使用し十分なコーティングを施すこととした。4, の対策としては船首部に別にⅡA型を取付けることとした。

振子を最適減衰状態 (減衰常数  $h^2 \doteq 0.5$ ) に置くためにシリコン油の粘度を次の方法で定めた。振子の先端を僅かに押下げて急に離すと、第 4 図

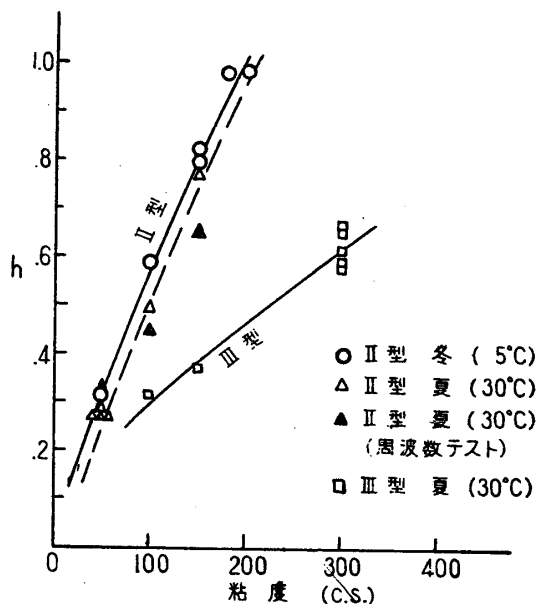


第 4 図 減衰波形と  $h$  の関係

上に示すような減衰振動を行いはじめの押え量  $x$  と行きすぎの量  $y$  との比  $x/y$  と  $h$  との間に下図のような関係があるから<sup>4)</sup>  $h^2 = 0.5$  となるようにシリコン油の粘度が調整する。シリコン油は標準粘度として 20, 50, 100, 300, 500 c.s. (センチストークス) のものが市販せられているが、粘度  $\nu_1$  の油 A gr,  $\nu_2$  の油 B gr を混合したときの粘度  $\nu$  は、

$$(A+B) \log \nu = A \log \nu_1 + B \log \nu_2 \quad (3)$$

によつて与えられる。これで任意の中間粘度のものが得られる。第 5 図にこの方法の結果から得られた  $h$  と油の粘度との関係を示した。供試ピック



第 5 図  $h$  と油の粘度との関係

アップはいずれも試作過程のもので図中Ⅱ型とあるのはⅡA型のケースに  $t=0.25$  mm のばねをつけたもの、Ⅲ型とあるのはⅢA型のケースに同じばねをつけたものである。Ⅱ型の実験においては夏 30°C と冬 5°C の実験値を比較してあるが  $h$  の値はほとんど変らない。Ⅲ型がⅡ型にくらべ同じ板厚のばねでありながら低い  $h$  の値を示しているのは、ばねとケースの間隙の相違が減衰に影響のあることを示している。いずれの曲線も粘度と  $h$  はほぼ比例することを示している。

### 1, 3 加速度ピックアップの較正

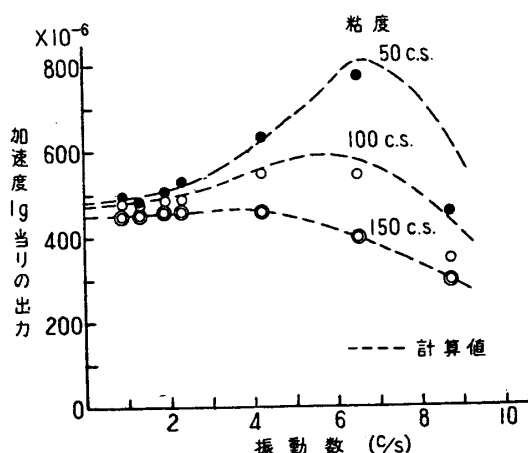
加速度ピックアップの感度 (加速度 1g 当りの動歪計のよみ) は振動数の函数であるからそれを歪にてあらわしたものを

$$\beta = k \cdot D \quad (4)$$

とする。ここに  $\beta$  は歪に相応するもので  $10^{-6}$  の単位であらわし、 $k$  は液中固有振動数  $f_0'$ 、ばね寸法および抵抗線歪計によつて定まり、 $D$  は外力の振動数を  $p(\text{c/s})$  とすると  $\omega = p/f_0$  と  $h$  により次式で求められる。

$$D = \frac{1}{\sqrt{(1-\omega^2)^2 + 4h^2\omega^2}} \quad (5)$$

1 例として II 型に様々の粘度の油を入れた場合の感度の実験値と式 (5) による計算値を第 6 図に



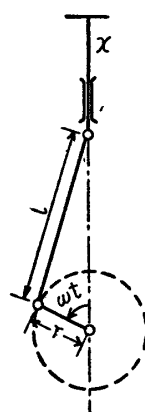
第 6 図 各種粘度の振動数による加速度  
1 g 当りの出力

比較した。ただし  $f_0 = 13.9 \text{ c/s}$ ,  $f_0' = 7.6 \text{ c/s}$ ,  $h^2 = 0.10$  (50 c.s.),  $0.20$  (100 c.s.),  $0.43$  (150 c.s.) として計算してある。

加速度ピックアップの振動数特性を調べるためには正弦波加速度を発生する可変振動数の振動台を必要とするが、ここでは振巾によつて次の 3 種のものを使用した。すなわち振巾の大なる場合はクランク機構式振動台を用い、振巾の小なる場合(高振動数の場合)は不平衡重錘の回転を利用した松平式振動台を使用した。いずれも最大加速度を  $1g$  附近に止め使用振動数範囲を第 3 表のように定めた。

第 3 表 振動台の要目

振 幅 mm	型 式	振動数 c/s	加速度 g
44.5	クランク機構式	0.75~2.5	0.1 ~ 1.1
4.1	同 上	2.5 ~ 8	0.1 ~ 1.1
1.5(可変)	不平衡重錘式	5~20	0.15~2.4



第 7 図  
クランク機構

クランク機構式は第 7 図に示すように、連桿の長さ  $l$  が短いとピストンの加速度に回転数の高次の項が多くなり誤差が大になるから注意を要する。ピストンの加速度  $\ddot{x}_p$  は

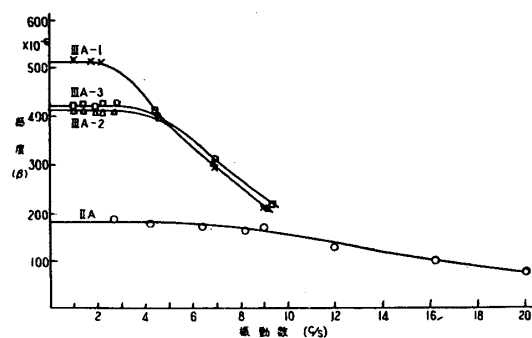
$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{p \max} &= r\omega^2 \cos \omega t (1 + r/l) \\ \ddot{x}_{p \min} &= r\omega^2 \cos \omega t (1 - r/l) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

第 4 表の振動台においては  $l = 300 \text{ mm}$  としたので、加速度誤差は振巾  $44.5 \text{ mm}$  と  $4.1 \text{ mm}$  に応じそれぞれ  $15\%$ ,  $1.4\%$  となり、振巾  $44.5 \text{ mm}$  に対しては無視出来ないの、実験値から感度を求める場合には peak-to-peak をとつて誤差を打消した。

第 4 表 加速度ピックアップの要目

計器名	$f_0 \text{ c/s}$	$f_1 \text{ c/s}$	$h^2$	粘度 c/s	$k \times 10^{-6}$	最高測定 振動数 c/s
II A	33.3	19.8	0.57	500	180	7
III A-1	13.7	9.8	0.50	300	510	3.1
III A-2	14.6	9.8	0.36	300	410	5.0
III A-3	14.7	8.9	0.56	300	420	4.7

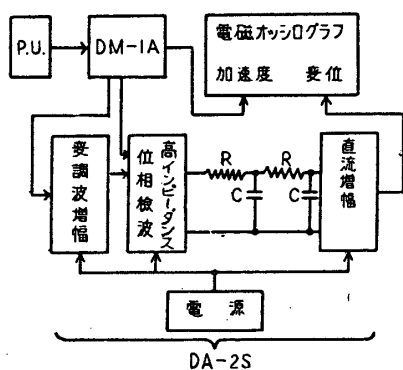
加速度ピックアップの要目を第 4 表に、振動数特性を第 8 図に示す。測定可能振動数の範囲は誤差  $\pm 5\%$  以内になるようにとつてある。



第 8 図 振動数特性

#### 1, 4 電氣的二重積分装置の概要

加速度ピックアップの電気出力を時間について二重積分して上下揺変位に比例した出力を得るた



第 9 図 二重積分装置ブロックダイアグラム

め第 9 図の構成の装置を試作した。本機は DA-2S (共和無線特注品) と称し, DM-1A (共和無線線 1 エレメント動歪測定機) と組合せて使用するようになっている, DM-1A の出力を変調波の状態のまま取出し (搬送波 5,000 c/s), 増幅した後高インピーダンス位相検波を行い, CR 回路を 2 段通して最後に直流増幅しインピーダンスを下げて電磁オシロに記録するもので, この装置を併用しても DM-1A の加速度出力は支障なく電磁オシロに記録できる。

CR 二重積分回路に定常正弦波入力  $E_i = E_m \sin pt$  が入れられた場合に出力の二重積分誤差および位相差はそれぞれ  $K^2$ ,  $2\delta$  で示される。ここに一回積分の場合の出力  $E_0$  は

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= \Gamma e^{-t/CR} + \frac{E_m}{pCR} \cdot K \cdot \sin(pt - \delta) \\ K &= \left[ 1 + \frac{1}{(pCR)^2} \right]^{-1/2} \\ \delta &= \tan^{-1} pCR \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

本回路においては  $CR = 16 \text{ sec}$  にとつてあるから二重積分誤差は第 5 表のようになる。

第 5 表 二重積分誤差

周期 $2\pi/p$ sec	$pCR$	$K^2$	$2\delta$ degree	波高誤差 %	時間おくれ sec
12	8.36	0.986	166.4	1.4	0.456
10	10.06	0.990	168.7	1.0	0.316
8	12.56	0.994	170.9	0.6	0.204
6	16.76	0.996	173.2	0.4	0.114
4	25.14	0.998	175.5	6.2	0.051

定常波においては  $pCR = 10$  でほぼ満足すべき

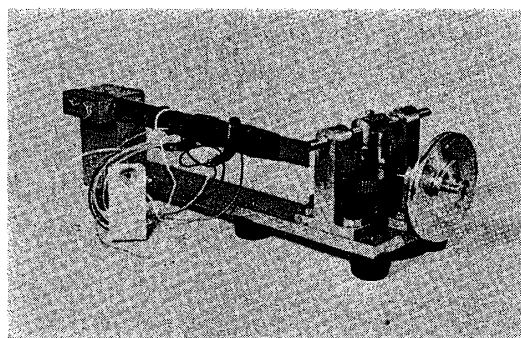
結果が得られるが, 非定常波においては (7) 式の減衰項の値がきいてくるので,  $pCR > 50$  にする必要があるが, 出力もはなはだしく減衰するから週期 10 秒程度の非定常の超低周波では二重積分が相当困難である。この場合には低速型のアナログコンピューターの積分回路を使用することにより困難を避け得られるが, 電源等の問題もあつて差当り本回路を使用することにした。本装置は出力のドリフトの点においても電気回路等に細心の注意をはらい, 平衡回路を採用し, CR 回路の C には MP コンデンサー ( $1,000 \text{ M}\Omega/16 \mu\text{F}$ ) を使用したので, 定常波に対して長時間安定に動作する。しかし波浪中の実験のような非定常波の場合にはしばしばスケールアウトすることがあるのは, 止むを得ないことである。

### 1. 5 二重積分装置の較正と特性

正弦波加速度を二重積分した出力は  $pCR$  が充分大なる場には

$$E_0 = -\frac{E_m}{p^2} \frac{1}{(CR)^2} \quad (8)$$

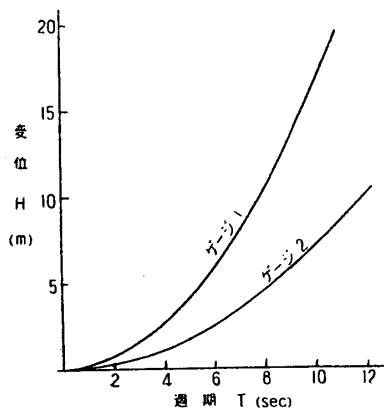
となり変位出力は  $E_m$  の値のみならず, 振動数  $p/2\pi$  の函数となる。従つて加速度ピックアップには船体の上下運動と同じ週期と変位を与えなければ必要な較正を行うことができない。しかしこれには非常に大きな装置を必要とし実用的でない。加速ピックアップは振動数特性が平坦であるから単独に加速度によつて較正し, 二重積分装置には加速度ピックアップの  $0.5g \sim 0.2g$  程度に当る一定正弦波歪を 12~1 秒の週期で発生する較正機の出力によつて較正を行つた。第 10 図



第 10 図 積分較正機

に較正機を示す。主要部分は厚さ 1 mm, 幅 20 mm, 長さ 210 mm の鋼板の一端をクランプし, 他端は 1/12 馬力直巻電動機によつて回転する円

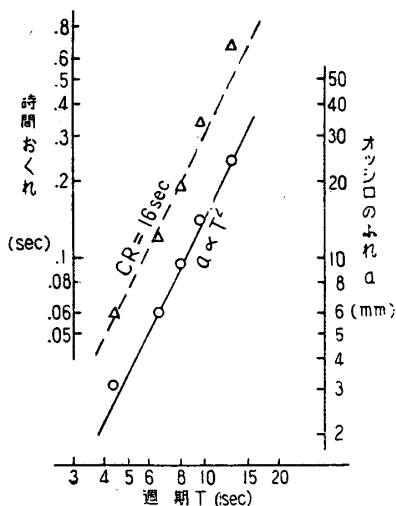
板から滑りカム機構によつて水平の正弦波運動をする押棒に接触させたものであつて、鋼板の適当な位置 2 箇所の表裏に 4 枚の歪計（加速度ピックアップと同一のもの）を貼り付けてブリッジに組んである。この滑りカム機構はクランク機構のように加速度に波形歪がないので二重積分装置の特性をみるのに適している。発生する正弦波歪は  $335 \times 10^{-6}$  および  $145 \times 10^{-6}$  で **Ⅲ A-3** 加速度ピックアップの出力に換算すると  $0.65g$  および  $0.28g$  である。従つて週期と変位との関係は第 11 図のようになり、実船の上下動の範囲を充分カバーしている。



第 11 図 週期と変位との関係

較正機出力歪を  $A \times 10^{-6}$ 、加速度ピックアップの  $1g$  当りの出力  $\beta \times 10^{-6}$ 、較正週期を  $T$  秒とすると仮想した加速度ピックアップの振巾  $Hm$  は

$$H = 0.248 \frac{AT^2}{\beta} \quad (9)$$



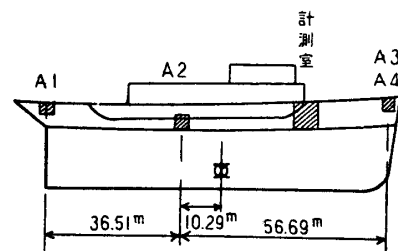
第 12 図 較正機による二重積分装置の出力値と週期との関係及び時間おくれと週期との関係

第 12 図にこの較正機を使用して二重積分装置の出力をオシログラムより読みとつた値と週期との関係および時間おくれと週期の関係を示しているが、週期 4 秒～10 秒まで (7) および (9) の関係式が成立していることを明らかにしている。

### 1. 6 実船計測と解析例

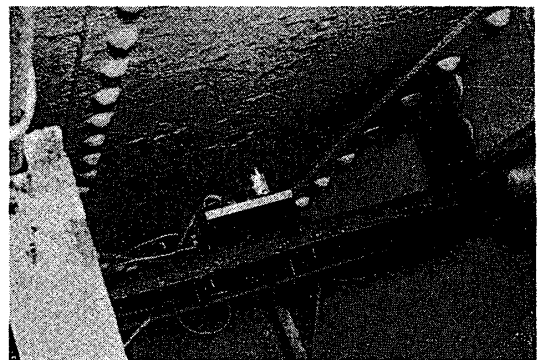
1956 年 1 月に練習船銀河丸（総噸数 3,170 噸）によつて主として三陸沖東経  $145^\circ$  附近で行われた航走時強度試験に本試作の加速度計を装置し計測を行つた。その結果の概要を以下にする。

加速度ピックアップは第 13 図に示す位置に配



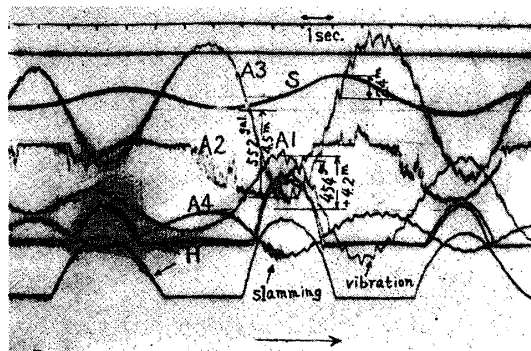
第 13 図 銀河丸加速度計配置図

置した。A1, A3, A4, は遮浪甲板の下側に, A2 は機関室内で上甲板の位置にとりつけた。船首における加速度ピックアップの取付状況を第 14 図



第 14 図 加速度ピックアップ取付状況

に示す。すなはち甲板下の肋骨にまたがつて溝型鋼を熔接し、その上側に加速度ピックアップをボルトで取付けた。写真の右側が船首で、手前のが **Ⅲ A 型**、奥のが **Ⅱ A 型** のピックアップである。実験で得られたオシログラムの 1 例を第 15 図に示す。図中  $H$  は船首船底の水圧計の記録を示す。加速度 A1～A4 は図中上方が上向変位を示し、A2 を二重積分した変位  $S$ （下方が上向変位）を示す。A4 に **Slamming** とするしてあるのはここで船首部が波によつて衝撃をうけたことを示し（同一位置の A3 にもあらわれている）、その後



第15図 銀河丸実験のオシログラム

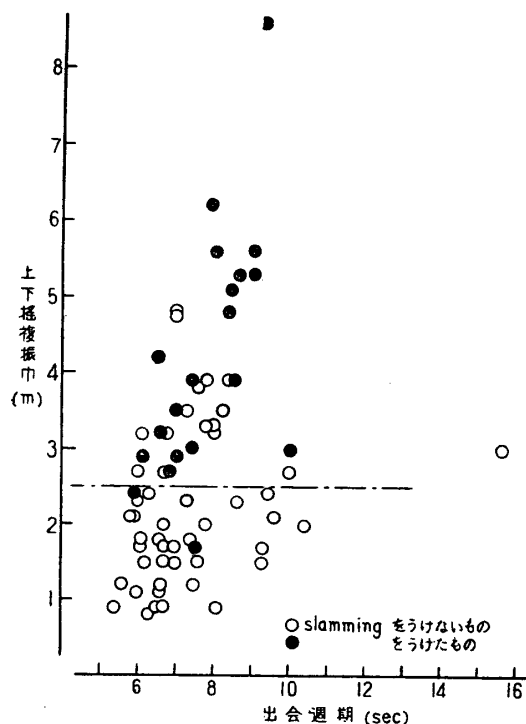
数秒間は **Vibration** と示すように船体が上下の撓み振動をしている。ここに示す記録例では船首尾は約 4.3 m のピッチング，船体中央部は約 2.4 m のヒーピングをしていて，実験航海中で最も海の荒れた場合の一つで，船首部の衝撃が絶えず起つている。

この実験で加速度計の零点がはつきりしていたために果たした役割は大きく他の水圧計，船体応力計等が零点の不確定であつた点を相当程度補っている。

実験により得られた結果の数例を以下に示す。

(1) ヒーピング量および出会週期とスラミングとの関係。

第16図は A2 を二重積分した読みから求めたヒーピング量（上下揺の複振巾）と出会週期の関

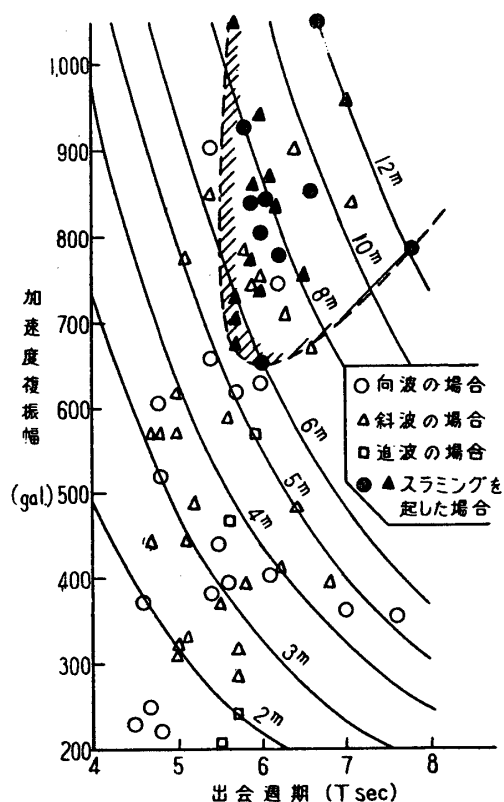


第16図 出会週期と上下揺複振巾の関係

係を示す。全実験回数についてその最大値を示した値1個宛をとり，スラミングの起つたものと起らないものを区別して示した。週期に関係なくヒーピング量 2.5 m 以上ではスラミングの起りやすいことを示している。

(2) 船首部加速度振巾および出会週期とスラミングとの関係。

第17図に船首部加速度 A3 の記録についてスラミングが起つたか起らなかったかの関係を示



第17図 出会週期と加速度複振巾の関係

す。斜線内はスラミングを起しやすい領域である。パラメーターは船首部の上下運動の複振巾（正弦波の仮定により加速度と週期の測定値より計算した値）である。上下運動の複振巾が 5.5 m 以上の場合にスラミングの起りやすいこと，斜波の場合に比較的短い週期で起ることを示している。

(3) 船体振動

加速度計の特性は 4 c/s 附近まで平坦であるから船体の 2～3 節上下振動はこれで測定できる。航行中は相当多くの振動が計測せられたがその主なものと原因を第6表に示す。なお投錨作業中に振動を計測し3節の振動が起ることを確めた。こ



第 6 表 船体振動

節 数	実測振動数 c. p. m	備 考
2	162~167	船首船底の波浪による衝撃. 数秒間継続.
3	273~285	機関回転数の 2 倍.

れらは上甲板に貼つた歪計からの計測結果とよく一致している。

#### (4) 船首部にうける衝撃

船首部の加速度ピックアップ A4 はスラミング時に衝撃を記録しているが、その大いさは最大  $200 \text{ cm/sec}^2$  の程度で模型実験などによる値よりも遙かに小さい。これは船の低速のためと船型の関係で衝撃が瞬時的に起らなかったことによるものとみられる。すなわち第 15 図にみられるように、船首部が下降し水中に入ってからしばらくしてほとんど突込みの極点に達する直前に衝撃が起っている。

## II. 船体振動の計測

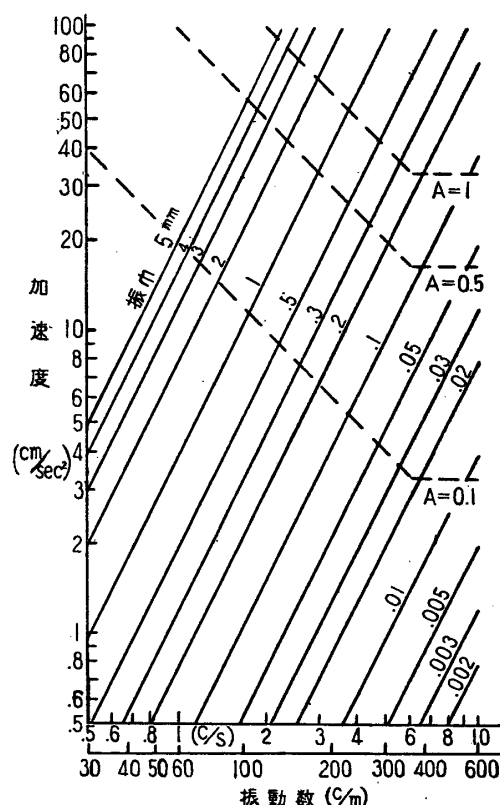
### 2, 1 加速度型振動計による船体振動計測

緒言に述べたように変位型振動計により船体振動を測定しようとする、その振子は 2 秒以上の長周期のものとせねばならない。その結果安定性も悪くなり、かつ数秒乃至十数秒の週期を有する船体動揺に対しては非常に感度のよい加速度計として動作することとなり、わずかの動揺でもスケールアウトし、また船の回転運動、傾斜に対して不安定となり、航行中の振動計測用としては工合が悪い。短周期振子による加速度型振動計を使用した場合は振幅感度が振動数の 2 乗に逆比例して変化するなどの欠点があり、正確な振動計測には両型式の振動計を上手に使いわけける必要がある。

船舶の上下および水平の撓み振動は船の大きさ、構造方式、積荷の状態等によつて相当まちまちの結果を示すが、上下 2 節固有振動数についての大体的目安としては船の長さ 50 m で約 250 c. p. m, 100 m で 100~160 c. p. m, 200 m で 50~60 c. p. m であり、水平 2 節は上下の約 1.5 倍前後となる。また高次の固有振動数は大体節数に比例して増加する<sup>5)</sup>。以上のことを考慮に入れると船舶用の振動計としては最低 50 c. p. m より最高 500 c. p. m にいたるまで測定可能のものが

必要である。

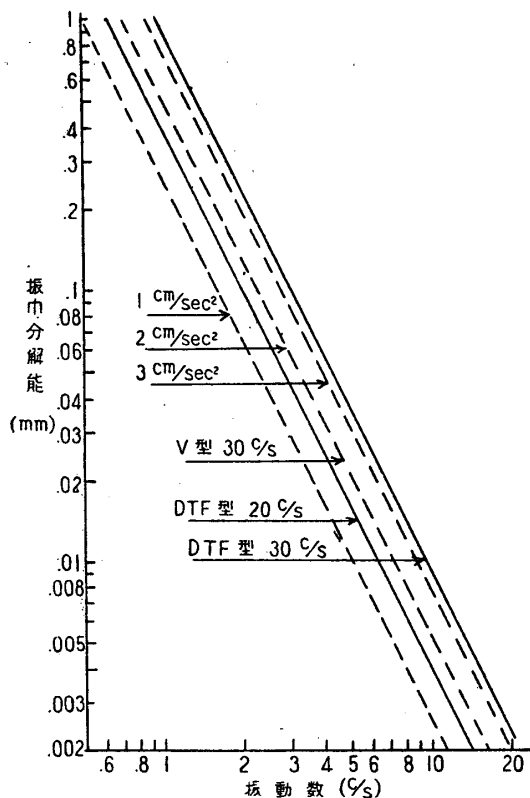
次に振幅の分解能について考へる。通常変位分解能は全レンジに亘つて  $0.05 \text{ mm}$  が必要であると考えられているが、自動車、鉄道車輛などに用いられている乗心地<sup>6)</sup> (不快の下限界を乗心地係数 1 とする) を考慮すると第 18 図のように加速



第 18 図 振動数と加速度の関係及び乗心地係数

度であらわした場合に乗心地係数 0.1 を分解能とすれば変位の分解能は  $500 \text{ c. p. m}$  にて  $1/100 \text{ mm}$  を要するが、低い振動数では  $1/10 \text{ mm}$  の程度で充分であることを示している。従つてピックアップが加速度型である場合には分解能を  $3 \text{ cm/sec}^2$  程度とすると最もよくこの乗心地の概念に一致した精度が得られる。勿論この乗心地は船舶用のものではないから、数値には多少の相違があろうが、この程度の分解能を持たせれば船舶用としても一応充分と考えられるであろう。

第 19 図に抵抗線歪計使用のもの (V 型感度  $500 \times 10^{-6}/g$ ) と、差動トランス使用のもの (DTF 型) との分解能について示した。ここに歪計の分解能を  $10^{-6}$ 、差動トランスの分解能を  $10^{-3} \text{ mm}$  とし、固有振動数 20 c/s と 30 c/s のものについて従来の設計例から概算した。



第 19 図 振動数と振幅分解能の関係

次に遠隔測定のための電気変換器（トランジェーサー）の問題であるが第 I 部に述べた抵抗線歪計利用のものは、歪計自身の不安定、電気出力の低いための外部誘導等による妨害、増幅器、発振器の利得の高いことによる不利等々の欠点があるが、製作および修理の容易なこと、測定器として市販の動歪計がそのまま利用できる点で最も安価に製作できる。これに対し差動トランス使用のものは出力レベルが高いので、出力を二重積分することが容易であり、機械的にも堅牢であるが、電磁誘導を受けやすい点に注意する必要がある。

第 II 部では抵抗線歪計使用の加速度型振動計 2 種の試作と新に製作した計器用検定台について述べ、実船の振動測定の際の回路、方法と測定例の二三について報告する。

## 2.2 加速度型振動計の概要

加速度型振動計の設計に当つては、次の各点に注意した。

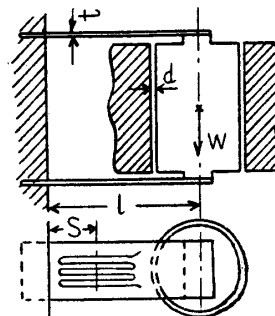
(1) 固有振動数を約 30 c/s とし、ダンパー油の附加質量効果による振動数低下をなるべく少なくするよう形状に注意し、測定範囲の狭くなることを防ぐこと。

(2) 抵抗線歪計を更に安定にし、かつ感度の

向上をはかること。

(3) ケースを強固にし、かつ耐水性として実船計測に耐えること。

振動エレメントは第 20 図に示すように寸法等



第 20 図 振動エレメント

はばねの質量を無視して

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2Egbt^3}{4l^3W}} \quad (10)$$

ここに  $g$  は重力の加速度、 $E$  はばねのヤング係数である。

感度のあらわし方は (4) 式と同じく加速度  $1g$  ( $980 \text{ cm/sec}^2$ ) 当りの見かけの歪  $\beta \times 10^{-6}$  とする。

第 20 図において抵抗線歪計の中心がクランプ端より  $S \text{ mm}$  の距離にあると、 $1g$  の加速度のかかった場合の見かけの歪感度  $k$  は歪計のゲージファクターを  $\eta$ 、測定器のゲージファクターセットを 2.00 として 4 辺ブリッジの場合には

$$k = \frac{6\eta W(l-S)}{Ebt^2} \quad (11)$$

(10), (11) 式より

$$\left. \begin{aligned} k &= \frac{3\eta g}{4\pi^2} \frac{t(l-S)}{l^3} \cdot \frac{1}{f_0^2} \\ f_0 &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E \cdot g \cdot b}{2W}} (t/l)^{3/2} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

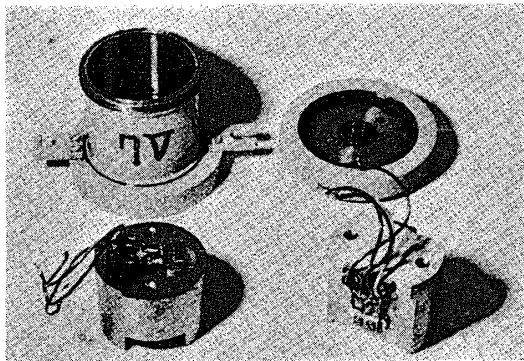
(12) 式において  $f_0 = \text{const.}$  とすると  $t/l = \text{const.}$  したがって  $f_0$  を定めたら、歪計はなるべく標点距離の短いものを使用し、ばねの長さは歪計のベースぎりぎりにとり、その他の寸法は  $f_0$  を一定に保つように決定する。ただしばねの機械加工の影響と歪計の貼りつけによつてばねの剛性の増加をみておかねばならないから、数種の厚さの板ばねについて実験を行い最適の厚さのものを定めな

ければならない\*。

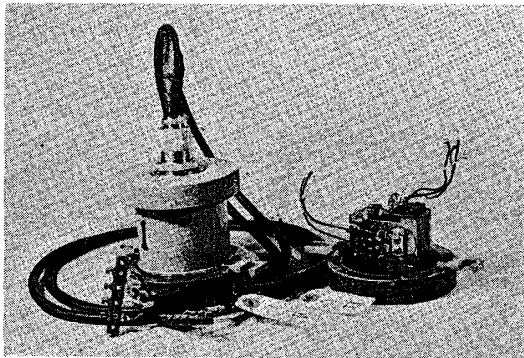
減衰機構は主として重錘と壁との円筒状間隙  $d$  ( $0.25 \sim 0.3 \text{ mm}$ ) の間のシリコン油の粘性減衰によるようにした。

水平振動測定に対しては同一寸法のケース (Ⅰ型), 又は垂直用ケース (Ⅴ型) の中に同一寸法の振動エレメントを水平に入れることによつて行うようにした。

試作した加速度型振動計Ⅳ型およびⅤ型を第21図および第22図に示す。Ⅳ型(第21図)は垂直用と水平用の2種別々になつており, Ⅴ型(第22図)は垂直, 水平の2エレメントが入っている。第7表にそれ等の要目を示す。



第21図 加速度型振動計Ⅳ型



第22図 加速度型振動計Ⅴ型

第7表 加速度型振動計の要目

外形寸法	蓋の直径 105 mm, 本体の高さ 100 mm, プラグ頂部迄の高さ 142 mm
取付寸法	6 mm $\phi$ ボルト, 間隔 $120 \pm 5 \text{ mm}$ にて取付
重 量	3.6 kg (プラグ, コードを除く)
ケース・蓋材料・仕上	鋼材, 灰色焼付塗装
附 属 品	4 芯シールドキャブタイヤコード 1 m 及プラグ, コネクター

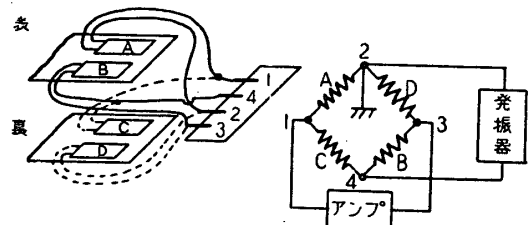
\* 紙ベースゲージの厚さは  $0.1 \text{ mm}$  程度あるから,  $t=0.2 \sim 0.4 \text{ mm}$  程度の板ばねの両面に貼ると相当剛性が増加する。

第8表に振動エレメントの要目を示す。

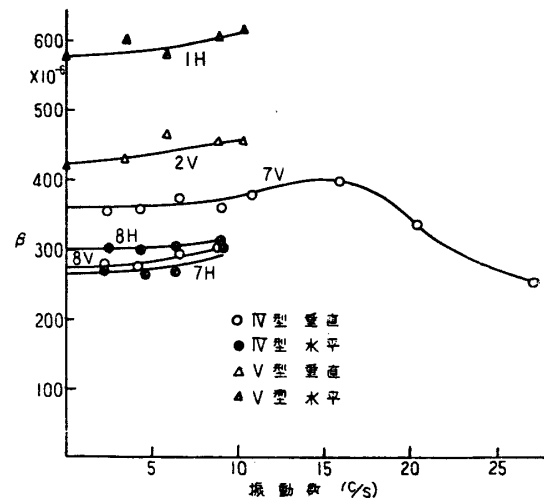
第8表 振動エレメント要目

ばね寸法	$l=30 \text{ mm}, b=16 \text{ mm}, t=0.25 \text{ mm}$
重錘の重さ	156 gr
間隙寸法	$d=0.25 \sim 0.3 \text{ mm}$
抵抗線歪計	LW-10, ゲージ長さ 10 mm, 抵抗 $120 \pm 0.3 \Omega$ , ゲージファクター 2.05, 2 エレメント並列
パッキンとシール材	ネオプレン, オイルシール 1 号
シリコン油	KF-96
固有振動数	$f_0=29 \sim 31 \text{ c/s}$
減衰常数	$h^2=0.4 \sim 0.5$
感 度	$300 \sim 400 \times 10^{-6} / 1 g$ (Ⅳ 型) $500 \sim 600 \times 10^{-6} / 1 g$ (Ⅴ 型)
測定範囲	1 g まで直線, $1 \sim 10 \text{ c/s}$ の範囲で平坦

歪計の結線は第23図のようにして, 板ばねが下に押されたときに引張歪が記録せられる。従つて振動計のとりつけ方向を例えば下方変位右方変位が引張歪になるように定めることができる。

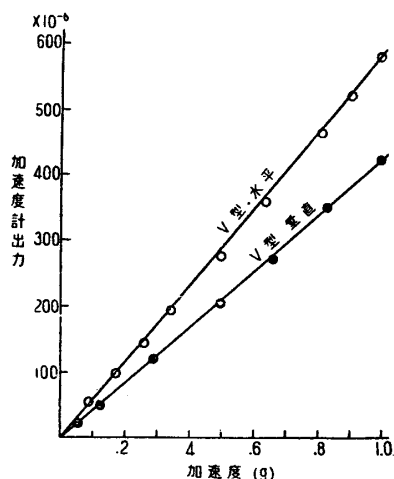


第23図 歪計の結線



第24図 振動数特性

第24図に振動数特性を, 第25図に振巾特性を示した。振動数特性の測定には後述の計器用検

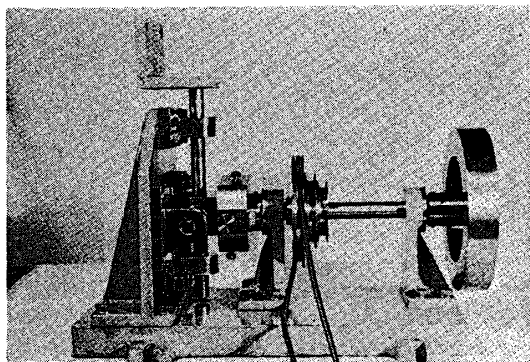


第 25 図 振巾特性

定台を用いた。振幅特性は角度  $\theta$  だけ振動計を傾斜させた場合に垂直用には  $g(1-\cos\theta)$ 、水平用には  $g \sin\theta$  の加速度が加はることを利用して求めたものである。

### 2, 3 計器用検定台の試作

加速度型振動計の振動数特性の検定を能率よく行うために、垂直・水平共用の可変振幅滑りカム機構による計器用検定台を試作した。本検定台の主要部分は、三相超分捲電動機により駆動せられる円板に位置を変えられる軸が突出し、この軸に水平方向に滑りうる滑り子がはまつており、滑り子に直結した棒の上部に計器用台がある。従つて



第 26 図 検 定 台

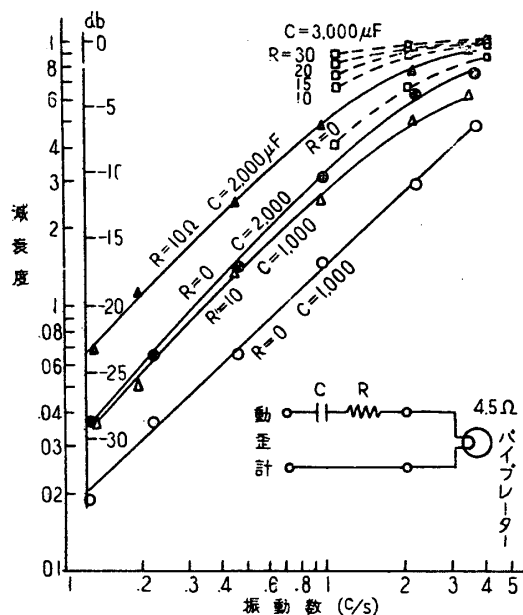
第 9 表 検定台の要目

被検定計器重量	最大 5 kg		
最大振動加速度	3 g		
振 動 数 範 囲	30~1,600 c. p. m		
振 幅 範 囲	最小値	0.1 mm	
	最大値	1,600 c. p. m	1 mm
		1,000 c. p. m	3 mm
		500 c. p. m	15 mm
		370 c. p. m 以下	20 mm

滑り子は円板の回転運動の垂直成分のみを取り出し、計器用台に与えるのである。水平振動の場合は棒を抜いて水平方向の軸受にさし込めばよい。振幅の変更は円板に突出した軸の位置をねちを廻して移動する。第 26 図に検定台の写真を示し、第 9 表にその要目を示す。

### 2, 4 振動測定用フィルター回路について

加速度型振動計の感度は極低振動域でも低下しないから、船体に動揺が存在する場合はその加速度が  $100 \text{ cm/sec}^2$  のオーダーであるのに比べて振動加速度は  $10 \text{ cm/sec}^2$  またはそれ以下のオーダーであつてこれらが一樣感度で記録せられるため増幅器の感度が上げられない場合が生ずる。そこで所要の範囲の振動測定値の感度を高めるためには  $1 \text{ c/s}$  以下の低域の振動を濾過する何等の方法が必要となる。そのため次のような低域フィルターを作りその特性をしらべた。第 27 図の下部



第 27 図 振動数と減衰度の関係及減衰回路

に示す回路を動歪計と電磁オシロの中間に入れて減衰度を調べると図のようになるから、簡単に  $C=1,000 \mu\text{F}$  のコンデンサを直列に挿入するだけでも週期 5 秒の動揺と振動数 3 c/s の振動とは  $-22 \text{ db}$  の減衰度の差があり、同じくらいの感度で記録できるわけである。

つぎに加速度計の感度は  $10 \text{ c/s}$  以上では減衰してはいるがその減衰度は低いために加速度ピックアップの設置場所によつては高振動数の局部振動等を拾うため記録波形が非常に不規則になつて

船体振動が判然としない場合があるがこのような場合には  $C=1,000 \mu F$  のコンデンサを出力に並列に入れることによって波形を見やすくすることができる。これらのフィルター回路はいずれも低インピーダンス回路で使用するため能率が非常に悪いから、根本的には高インピーダンス回路にフィルターを使用すべきである。

## 2. 5 航行中の船舶の振動測定例

使用した加速度型振動計はⅠA型（北斗丸使用のものを固有振動数 30 c/s に改造，水平，垂直

2エレメント入り，2台），ⅡA型（1台），ⅢB型（ⅡA型を 30 c/s に改造，3台），Ⅳ型（垂直4台，水平8台），Ⅴ型（水平，垂直2エレメント入り，4台）等であつて，その他非接着型加速度計，ガイゲル型振動計，東大式，震研式の変位計等を適宜使用し，東大工学部船舶教室，各造船所等と協同して実験を行つた。現在までの実施状況は第10表の通りでその性能は充分実用に供し得ることが確められた。

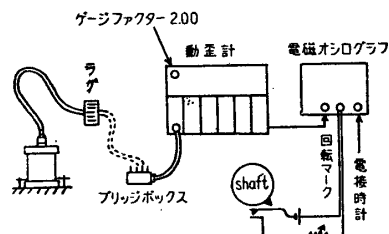
第10表 振動実験要目（Wは排水量）

番号	船名	船の寸法 m	実験時	実験場所	年月日	加速度型振動計 のエレメント数
1	海鷹丸 (東京水産大 学練習船)	66.70×11.30×5.50	航海中 W=1,220 t	東京一大阪	31-5-16, 17	8
2			航海中 W=1,610 t	東京湾	31-9-14	7
3	World Industry (40,500 t 油槽船)	207×28.3×14.8	予行公試 W=33,045 L. t	東京湾	31-12-15	8
4			公試 W=52,890 L. t		32-1-10	8
5	日久丸 (15,300 t 鉾石運搬船)	153.0×21.0×11.5	第1公試 W=8,485 t	東京湾	32-1-28	15
6			第2公試 W=8,485 t		32-1-30	15
7	鉄和丸 (2,370 t 貨物船)	72.0×12.0×6.0	第1公試 W=1,411 t	伊勢湾	32-3-26	15
8	海祥丸 (6,600 t 貨物船)	108.0×16.0×9.0	第1公試 W=3,383 t	伊勢湾	32-5-15	12

測定の際の計器の配置は第28図のようにし，推進器軸の回転につれて接点を断続する回転マー

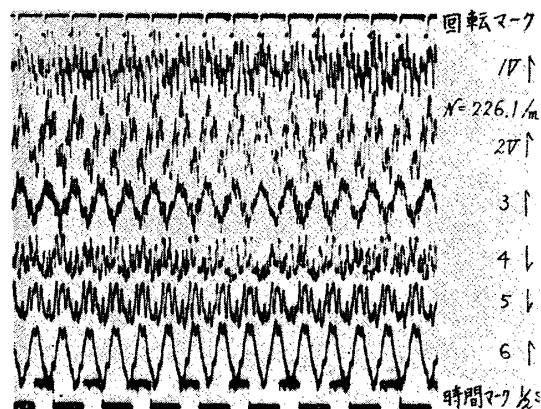
ないように考慮する。

第29図に海鷹丸第1回実験のオシログラム



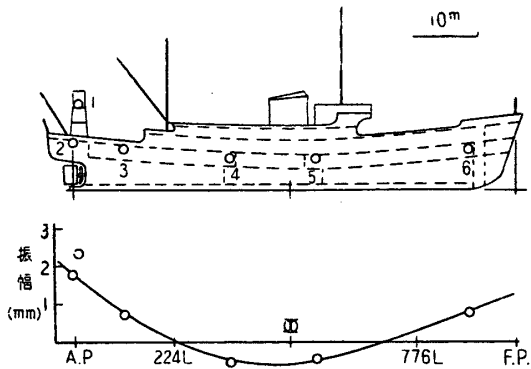
第28図 実測時の計器配置

クと時間 (1/2~1/5 sec) マークを入れる。加速度ピックアップと動歪計との間は 100 m にも達することがあるから，4 芯シールドキャブタイヤコードを使用し，かつ線間容量が不平衡になら



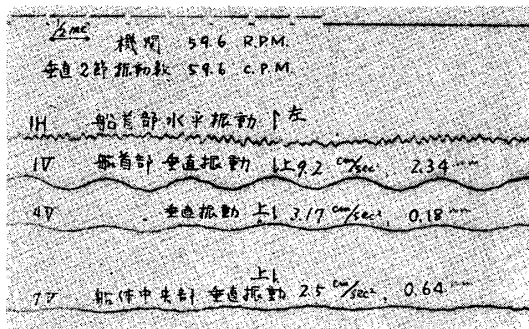
第29図 海鷹丸第1回実験オシログラム

を示す。(回転数 226.1 r.p.m) 機関, 推進器よりの直接振動が相当あることを示している, 図中矢印は上方変位の極性である. 第 30 図にその際の振幅曲線を示す. 船尾に少しく偏よつた 2 節振動をしていることが判明する.

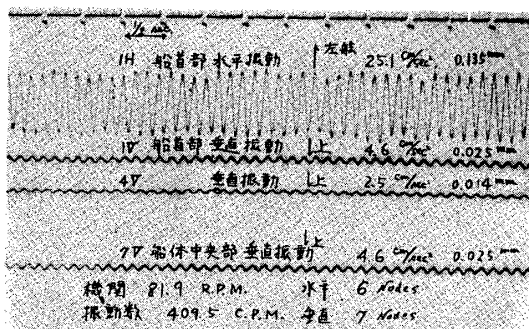


第 30 図 振巾曲線 (海鷹丸第 1 回実験)

第 31, 32 図に World Industry 号第 1 回実験のオッシログラムを示す。(回転数 59.6 r.p.m および 81.9 r.p.m) 第 31 図は垂直 2 節振動を



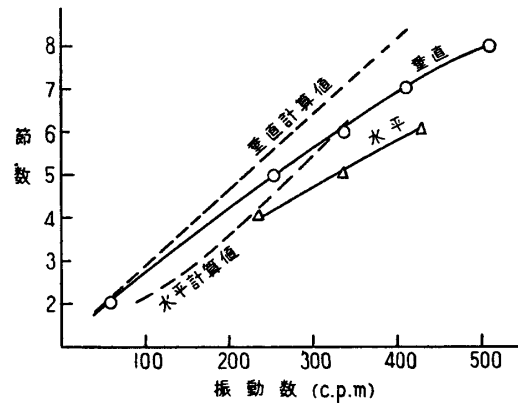
第 31 図 World Industry 号第 1 回実験のオッシログラム (回転数 59.6 r.p.m)



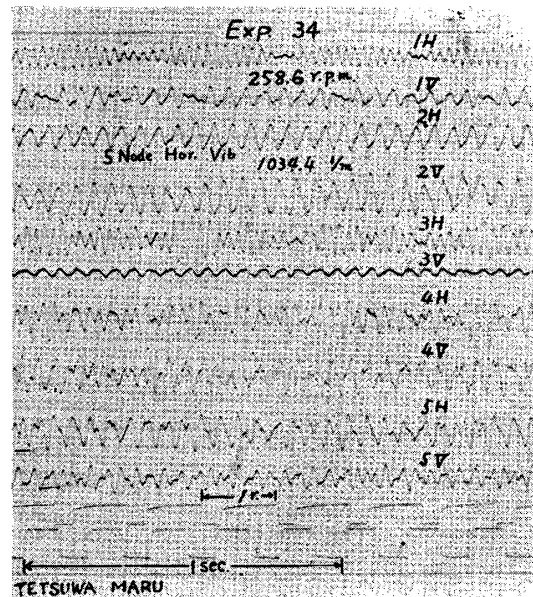
第 32 図 World Industry 号第 1 回実験のオッシログラム (回転数 81.9 r.p.m)

第 32 図は高次振動を示している. 第 33 図に振動節数と振動数の関係を示す. 節数の増加と共に振動数はほぼ直線的に増加する傾向がみとめられる. 第 34 図に鉄和丸, 第 35 図に海祥丸のオッ

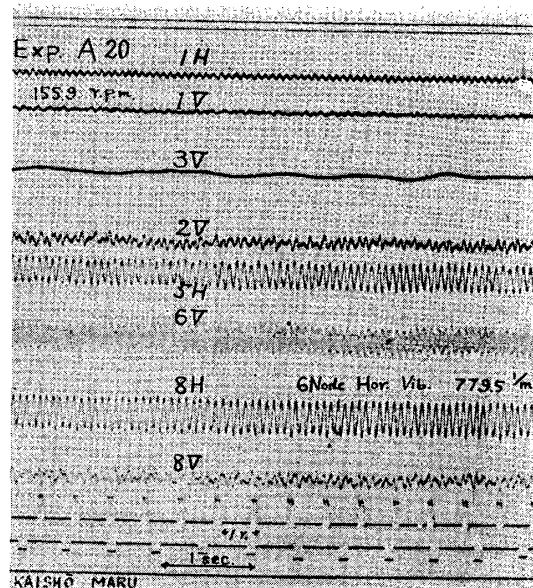
シログラムを示す.



第 33 図 振動節数と振動数の関係



第 34 図 鉄和丸オッシログラム



第 35 図 海祥丸オッシログラム

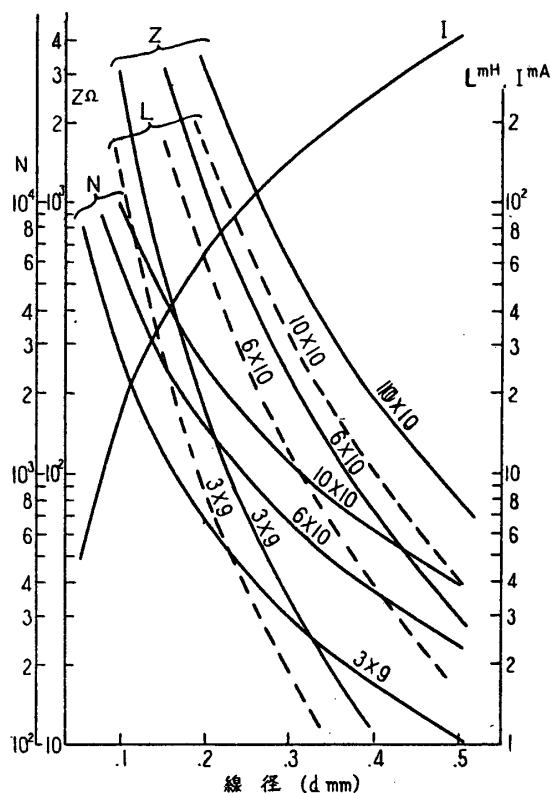
### III. 差動トランス使用加速度型 振動計の試作

加速度型振動計のピックアップに使用すべき電気変換器は振子の変位に比例した電気出力を得られるものでなければならない。従つてインピーダンス変化型がこれに適するわけであるが、抵抗変化型は既に第Ⅱ部において試作を完了し実用に供し得ることが判つたが、電気出力が少ない点が最大欠点であつた。インダクタンス変化型はこれに比べて電氣的出力は格段に大であり、作動も安定であるから、振動計の変換器としては適当なものと思われる。最近インダクタンス変化型の一つとして新しい型式の差動トランス (Linear Variable Differential Transformer) が入出力インピーダンス低く感度が高く直線性も優れているので各方面に用いられている<sup>7)8)9)</sup>。以下にこれを応用した加速度ピックアップとその測定器の試作について報告する。

#### 3. 1 差動トランスの感度

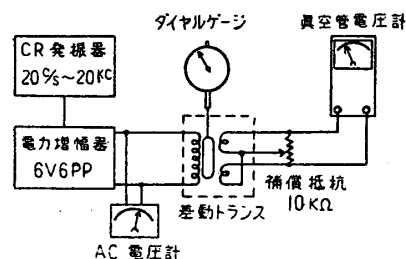
差動トランスの巻棒のスペース (巻幅,  $l$  mm × 巻厚,  $t$  mm) を一定とした場合に線径  $d$  mm のエナメル線の可能な巻数を  $N$  とし, その場合のコイルの許容電流  $I$  mA, 直流抵抗  $R$   $\Omega$ , インダクタンス  $L$  mH, 3,000 c/s に対するインピーダンス  $Z$   $\Omega$ , 許容励磁電圧  $E$  V 等の値を計算した。スペースは 10 mm × 10 mm, 6 mm × 10 mm, 3 mm × 9 mm の3種とし, コイルボビンは外径 12 mm, 内径 10.5 mm とし, 直径 10 mm のフェライトコアが使用できるようにした。使用エナメル線は 0.06 mm ~ 0.5 mm とし, 許容電流は 2 A/mm<sup>2</sup> にとり線は巻棒のスペースに規則正しく巻付けられたものとして巻回数を算出した。インダクタンスの計算は多層円筒コイルの式を使用した<sup>10)</sup>。

差動トランスの使用周波数は変圧器理論による解析の結果より, 中域周波数において感度が最も高く, かつ平坦であることが判明し, また増幅器, 位相弁別回路, フィルター等の設計が容易なことなどによつて 3,000 c/s を選んだ。第 36 図に巻線径に対してスペースを3種にした場合のコイルの巻回数, インダクタンス, インピーダンス, および許容電流の値を示した。



第 36 図 巻線径に対しスペースを3種にした場合の  $N, L, Z, I$  の値

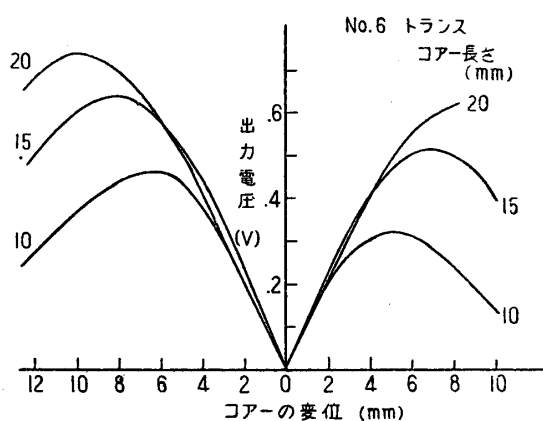
つぎに遠隔測定に用いる差動トランスは外部誘導の点よりコイルのインピーダンスが 1 K $\Omega$  以下であることが望ましいので, この点を考慮に入れて 10 個の差動トランスを試作し第 37 図の回路でダイヤルゲージにつけたコアの変位と出力電



第 37 図 差動トランス測定回路

圧との関係を求めた。ここに一次側入力 は 3,000 c/s, 3 V 一定とし, コアの零点における不平衡電圧は 10 K $\Omega$  の可変補償抵抗によつて 0.1 mV 以下に調節した。コイルスペース 6 mm × 10 mm, 一次コイル 0.29 mm $\phi$  × 720 T, 一次二次巻線比 1 のコイルについて, コア長さを 10, 15, 20 mm に変化した場合の変位出力電圧の特性を第 38 図に示す。コアの長い方が直線範囲は増すが (直線範囲はコア長さの約 1/5), 感度はある





第 38 図 差動トランスのコア変位と出力電圧

適当な長さのものが最大となることが確かめられた。第 11 表に差動トランスの感度、直線範囲等の実験値を示す。ここに差動トランスの感度は入力 1 V 当り、変位 1 mm 当りの出力電圧を mV で測定し mV/mm/V としてあらわす。差動トランスの感度はまた一次側入力の周波数によつて変化するが、変圧器理論によると低域—中域—高域の順に  $\cap$  型となることが証明せられるが、これを裏づけるために第 11 表の No 1 トランス (図中の A), と 0.06 mm $\times$ 3,000 T のトランス (図中の B) について感度の周波数特性を調べると

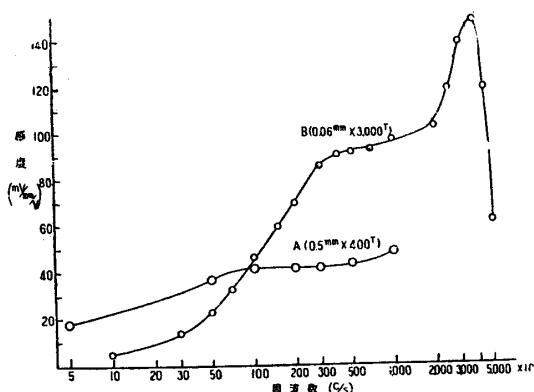
第 11 表 差動トランス試作要目

番号	スペース	巻線		コア長 mm	一次コイル コアなし		一次コイル コア入 3,000 c/s インピーダンス $\Omega$	感度 mV/mm/V	直線範囲 mm
		径 mm	巻回数 T		抵抗 $\Omega$	インダクタンス mH			
1	mm $\times$ mm	0.5	400	20	2.85	2.6	113	42	2.9
2	10 $\times$ 10	0.4	630	20	6.45	6.4	251	43	3.7
3		0.29	1,200	20	23.46	22.3	890	40	3.0
4	6 $\times$ 10	0.5	240	20	1.49	1.1	38	41	3.0
4'		"	"	15	"	"	33	42	1.9
5		0.4	380	20	3.44	2.8	94	40	2.8
5'		"	"	15	"	"	81	42	2.0
6		0.29	720	20	14.10	9.5	350	45	3.2
6'		"	"	15	"	"	300	45	2.4
7	4 $\times$ 10	0.29	480	15	7.70	4.6	141	41	2.4
7'		"	"	10	"	"	121	35	1.9
8		0.2	1,000	15	43.7	20.0	607	37	2.8
8'		"	"	10	"	"	530	30	2.3
9		0.1	4,000	15	65.7	312.0	5,860	22	3.2
9'		"	"	10	"	"	5,660	21	3.2
10	6 $\times$ 10	一次 0.4	400	15	一次 4.6	3.0	—	165	2.0
		二次 0.29	800		二次 15.4	12			

第 39 図に示すようになった。A においては 1,000 c/s が低域と中域の境界であり、10 kc/s において感度が上昇しているのは 20 kc/s 附近にある LC 同調点のためであつて、それを過ぎれば感度は急に低下するから中域と高域の境界は 5 kc/s 附近にあるものとおもわれる。B トランスはコイルの巻巾 5.5 mm, ボビン外径 8 mm,

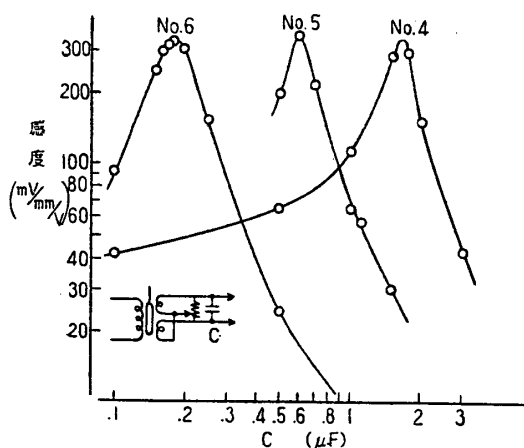
コアの径 6 mm の小型のものであるので A に比較して低域の感度は悪いが中域の感度が高く、また 38 kc/s 附近に明らかなピークがあらはれている。このようなトランスはインピーダンスが 1.8 k $\Omega$  もあり、周波数の変化に対して感度の安定した領域が少いので実船測定等には適しない。つぎに第 39 図にみられる LC 同調点のピーク





第 39 図 周波数特性

を利用して差動トランスの感度を上昇せしめる方法を述べる。出力側に並列にコンデンサを挿入して二次側の LC を使用周波数に同調せしめた場合には、第 40 図 (附記の数字は第 11 表に対応)



第 40 図 二次側の LC を使用周波数に同調せしめた場合の感度

のように感度がコンデンサなしの場合の 7~8 倍となることが判明し感度の点からは非常に優秀な差動トランスということが出来る。しかし周波数の変化に敏感であること、遠隔測定の場合に導線のキャパシティによつて同調点が狂い感度が変化することを考慮に入れると、この種トランスを中域周波数で使用する利点がなくなるので本実験ではコンデンサ入りの回路は採用しないことにした。しかし計器の中に組込んで使用するような場合には以上の点に特別の注意を払えばこの回路も使用可能ではないかと思はれる。

最後に一次二次の巻数比  $n$  と中域の増幅度  $Gm$  との関係は、中域周波数における変圧器理論より最適巻数比を  $n_0$  とし、最大増幅度を  $(Gm)_{max}$  とすると、

$$\left. \begin{aligned} n_0 &= \sqrt{\frac{Rl - Rs'}{r - Rp}} \\ (Gm)_{max} &= \frac{n_0}{2} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

であらわすことができる。

ここに  $Rl$  = 負荷インピーダンス

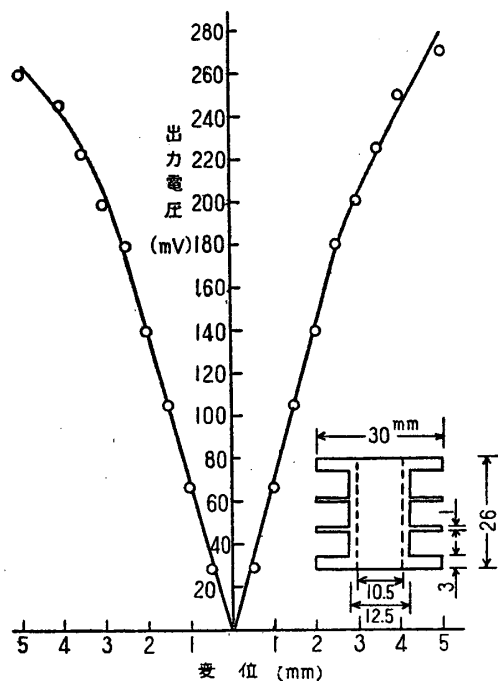
$Rs'$  = 二次側直流抵抗

$r$  = 発振器内部インピーダンス

$Rp$  = 一次側直流抵抗

である。しかし実際には  $Rl$ ,  $r'$  には値に制限があり、 $Rp$ ,  $Rs'$  もあまり小にはできないことを考えると、 $n_0$  の値は 2~10 附近となり外部誘導の点より巻数も 3,000 T 程度を超えることはできない等の事情によつて、 $n$  の値は定められる。

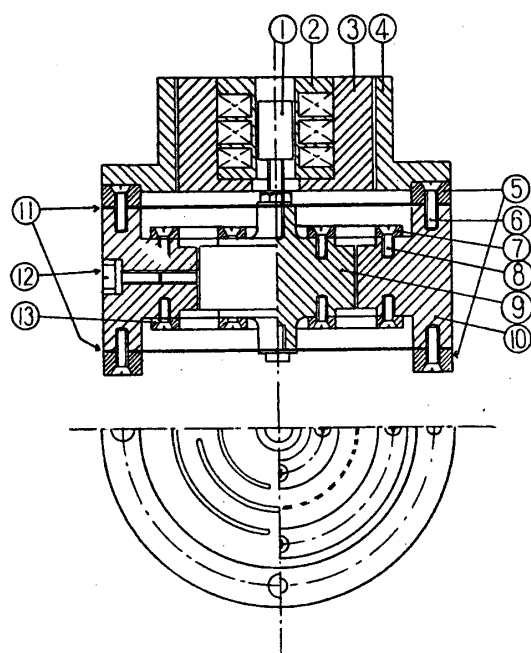
次節に述べる加速度ピックアップに使用した差動トランスは一次対二次の巻線比は 2 にとり、一次コイルは 0.29 mm x 400 T, 二次コイルは 0.2 mm x 800 T にとつた。巻枠の寸法は第 41 図に示す。コアーは直径 10 mm, 長さ 15 mm のダストコアーを使用した。第 41 図に 3,000 c/s における感度特性を示す。感度は 65 mV/mm/V であつた。



第 41 図 差動トランスコア変位と出力電圧の関係及び巻枠寸法

### 3, 2 加速度ピックアップの試作

第 42 図に加速度ピックアップの振動エレメントを示す。① はダストコアー、② は差動トランス



第 42 図 加速度ピックアップの振動エレメント

スの巻棒, ③ は差動トランス支持棒でベークライトで作り外周にはねちを切つてあつて ④ の黄銅製外枠にねち込み, これを回転してコアの位置の初期調整を行うものである。

2 枚の振動ばね ⑪ は平面図にみるように厚さ 0.3 mm のばね鋼板に円形のスリットが切つてあつて上下方向の剛性を小にしてある。振動ばねは ⑤ の押え金具で外枠 ⑩ にとりつけてある。振動重錘は ⑨ で黄銅製であり, ⑩ との間の円筒間隙 (0.5 mm) にはシリコン油を充して最適減

衰状態を保つようになっている。シリコン油は上下 2 枚のゴム膜によつて密閉せられ, ゴム膜は ⑦ の大小 2 枚の円形押え金具によつて外枠と重錘との間に張られている。

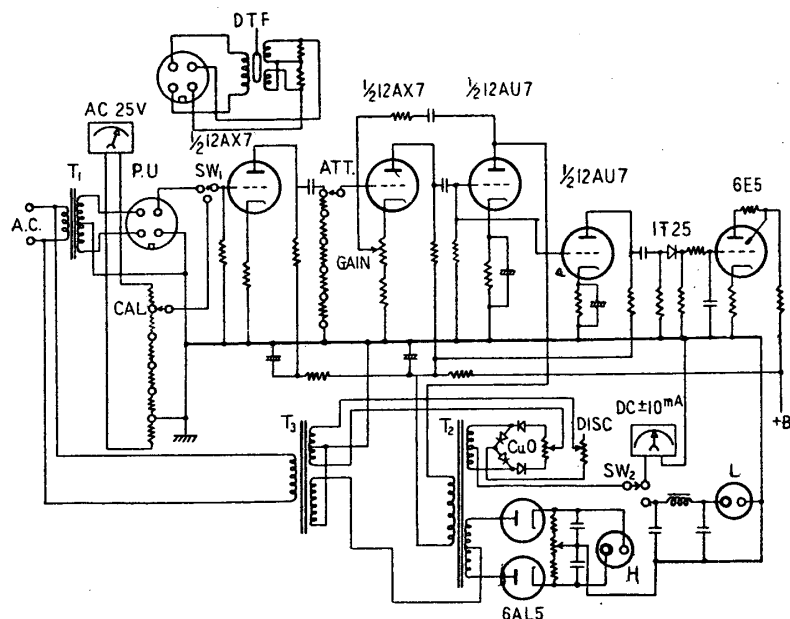
ダストコア ① は振動重錘 ⑨ に中心を合わせて取付けてあるから, 重錘が上下方向の加速度に感じて振動するときは, ダストコアは差動トランス ② の中を上下に動き, 加速度に比例した不平衡電圧を生ずる。ケースは鋼製で 4P プラグによつて外部に導線を取り出している。差動トランスの補償抵抗は予めカーボン抵抗 5 k $\Omega$  2 個をケース内のラグ板にとりつけておき, 差動トランスを組込んでから抵抗を加減して完全な補償をとるようにする。取付脚は第 II 部の V 型と同一寸法とし, 水平方向にとりつけられるようになっている。

### 3. 3 差動トランス用増幅器の試作

差動トランスの出力を増幅して電磁オシログラフの H 型バイブレーター (感度 5~10 mm/mA) を駆動しうる専用の増幅器を試作した。感度の目標としては差動トランスのコアの変位  $10^{-3}$  mm が充分の精度をもつてオシログラムより読み取れることを標準とし, 周波数は直流より 100 c/s まで一様感度となるようにした。本器の回路図を第 43 図に示し, 特性を第 12 表にのせた。

第 12 表 増幅器の特性

差動トランス一次入力電圧	3,000 c/s, 10 V (標準)
差動トランス一次入力抵抗	100 $\Omega$ , 中点接地
差動トランス二次出力電圧	1 mV~1 V
較正電圧 (一次 10 V のとき)	5, 10, 25, 50 mV
最大電圧増幅度 (最大-最小)	64~56db
減衰器	1, 1/2, 1/5, 1/10, 1/20
出力インピーダンス	低, 4 $\Omega$ 高, 250 k $\Omega$
最大出力電流, 電圧	低, $\pm 10$ mA 高, $\pm 28$ V
附属電流計感度 (較正入力 10 mV に付)	3.2~7.4 mA
発振器よりの入力電圧入力抵抗	4 V, 16 $\Omega$
必要電源	A.C 6.3 V 1.2 A D.C 300 V 20 mA
使用真空管	12AX7, 12AU7, 6AL5, 6E5

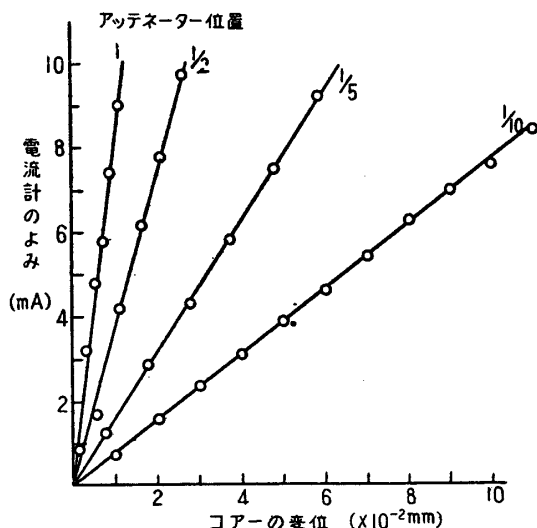


第 43 図 差動トランス用増幅器回路図

本器は他の  $CR$  発振器より  $3,000\text{ c/s}$ ,  $2.5\text{ V}$ , ( $16\ \Omega$  負荷)を受けてこれを差動トランスの一次側にマッチさせるためにトランス  $T_1$  でインピーダンス  $100\ \Omega$ , 電圧  $10\text{ V}$  に上げ, 差動トランスの二次出力は直接真空管  $12AX7$  の1段目のグリッドに入れる. 較正電圧は一次側より分割して  $5\sim 50\text{ mV}$  を同じく1段目のグリッドにスイッチ  $SW_1$  にてかけられるようになっている. 増幅器の利得調整は3段目より2段目への負饋還によって行い動作の安定をはかった. この利得調整にて  $8\text{ db}$  の調整が可能で, 1段目と2段目の減衰器において  $26\text{ db}$  減衰しうるので動作範囲は非常に広がっている.

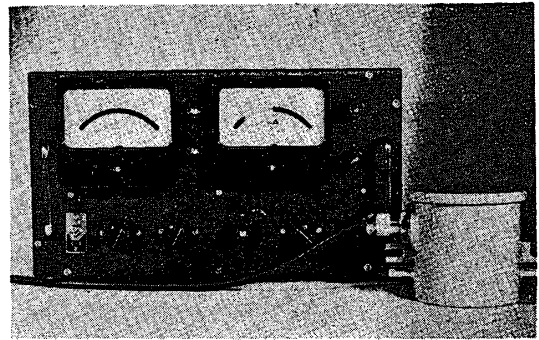
増幅された電圧はトランス  $T_2$  および  $T_3$  によって低インピーダンスは酸化銅整流器のリング接続により, 高インピーダンスは双二極管により夫々位相弁別検波が行われ端子  $L$  または  $H$  にてとり出される. なお差動トランスの平衡点調整のためマジックアイ  $6E5$  を, 直流平衡点調整と利得調整のため直流電流計  $\pm 10\text{ mA}$  を有する. 高インピーダンス出力は更に  $CR$  回路により二重積分して変位を低インピーダンスにて記録しうるような装置を附加する予定である.

本器を前節の差動トランスと組合せた場合の附属電流計による出力特性を第44図に示す. 本図



第44図 差動トランス変位特性

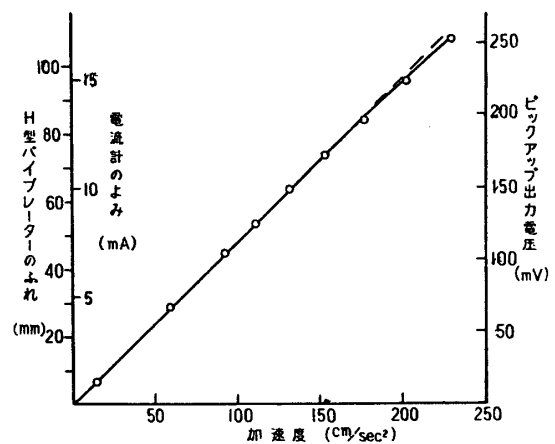
には省略したが逆方向もほとんど同一特性である. 最大感度では  $10^{-3}\text{ mm}$  が約  $0.8\text{ mA}$  であつて十分な分解能をもっている. 第45図に加速度ピックアップと増幅器の写真を示す.



第45図 加速度ピックアップと増幅器の外観

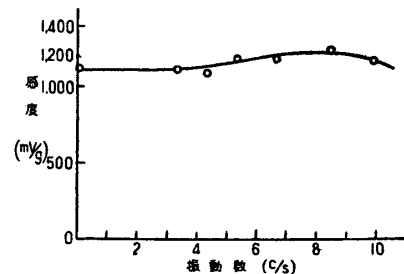
### 3, 4 差動トランス使用加速度型振動計の較正結果

本振動計を傾斜試験によつて振幅特性を求めた結果を第46図に示す. ただし増幅器の感度は入



第46図 加速度型振動計振幅特性

力  $150\text{ mV}$  に対して電流計のよみ  $10\text{ mA}$  となるように調節してある. 第44図によると加速度  $200\text{ cm/sec}^2$  まで直線範囲にあることが判明する. 本振動計の振動数特性を第47図に示す. ダ



第47図 加速度型振動計振動数特性

ンピングがやや不足であるが, 測定範囲は誤差  $5\%$  で  $6\text{ c/s}$  まで, 誤差  $10\%$  で  $10\text{ c/s}$  までであつて, 感度は  $1.12\text{ V/g}$  である. なおこの加速度計は横に倒し, 差動トランスのコイルを上下に動かし電氣的平衡をとり直せば水平方向の加速度

を測定することができる。第 13 表に本振動計の特性をまとめて示した。

第 13 表 振動計の特性

固有振動数	16 c/s
ダンパーオイル	シリコン油, KF-96, 3,000 c. s.
減衰常数 $h$	0.6
最大測定振動数	6 c/s (誤差 5%), 10 c/s (誤差 10%)
最大測定加速度	200 cm/sec <sup>2</sup> (誤差 2%)
加速度感度	1.12 V/g

### 緒 言

電気抵抗線型歪計を応用した加速度計の設計、較正の方法と、船体運動、振動および衝撃を測定した結果について報告した。また差動トランスを応用した加速度計を試作し、非常に安定で高感度のものが得られた。

第 I 部の銀河丸実験は造船研究協会第 24 部会で行つたものであつて委員諸氏から有益な御助言と御協力を、第 II 部の実船測定には東大工学部高

木教授、金沢教授ならびに海鷹丸、日本鋼管鶴見造船所、名古屋造船所の関係諸氏の御協力を、また第 III 部の差動トランスの設計については、中央計量検定所第三研究室の諸氏から有益な御指導を賜わつたことを記し感謝の意を表する。

第 II 部、第 III 部の研究費の一部は文部省科学試験研究費によつたものであることを附記する。

### 文 献

- (1) 日本造船研究協会：第 10 部会報告 1955.
- (2) 日本造船研究協会：第 24 部会報告 1957.
- (3) 竹鼻三雄：非破壊検査 6・4 1957. p. 151.
- (4) A. B. Kaufman : Inst. & Autom., 28, 12, 1955, 2104.
- (5) 熊井豊二 : Rep. Res. Inst. App. Mech., Kyusyu Univ., III, 9, 1954, 25.
- (6) R. N. Janeway : SAE Jour. Aug. 1948, p. 48.
- (7) 松代正三他 2 名 : 中央計量検定所報告, 4, 2, 1955, 7, ; 計測, 6, 2, 1956, 66.
- (8) 西口 譲 : 計測, 6, 2, 1956, 53.
- (9) Schaevitz Engineering ; Bulletin AA-1A.
- (10) 山内二郎 : 電気計測便覧, オーム社, 1956, 43.

理工学研究所報告 第11巻 第15号

正 誤 表

頁	欄	行	誤	正
3	左	下より 12	計算との	計算値との
4	右	上より 2	$x/y$	$y/x$
4	右	上より 4	粘度が	粘度を
5	右	上より 15	peak-to-peat	peak-to-peak
5	右	第4表中1行	粘 度 c/s	粘 度 c.s.
6	左	第5表中6行	6.2	0.2
6	右	上より 18	大なる場には	大なる場合には
12	右	上より 15	何等の	何等かの
18	右	上より 15	水平方向に	水平方向にも
19	左	上より 1	2.5 V	4 V
19	左	上より 11	2段目の	2段目の間の
19	右	写 真	第44図	第45図
19	右	下より 8	第44図	第46図
20	左	上より 3	緒 言	結 言