

1. はしがき

密度流に関する研究は、かなり古く知られてきたものであるが特に近年、公害の問題もからんでその定量的解明は社会的工学的にますます重要性を増してきた。したがってその境界面における内部波の研究は重要でありその波形記録を実験的に求めることのできればこの問題の解明に大きく役立つものと思われる。従来波の測定には諸種の方法がとられてきたがその多くは波面における現象をとらへるもので空気との境界面であるため比較的容易に検出されてきた。内部波は境界面の密度差が小さく波面も複雑で実験水槽での対象波高も極めて小さい。また検出装置による波面の乱れなどを考へるとその測定方法はかなり制約される。これらの制約を満足するものとして、図-1 のような内部波の波高計を試作したのでその原理構造および動作例について述べる。

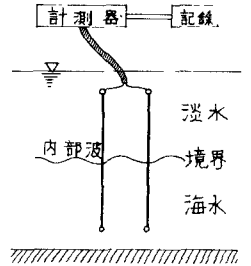


図-1 内部波の波高計

2. 波高検出の原理 海水中の淡水中における2並行導線(電極)の単位長さ当たり電気伝導度 g , g_0 は

$$\frac{1}{g} \div \frac{2\rho_w}{\pi} \log e \frac{2D}{d} \quad \text{ただし} \quad \left\{ \begin{array}{l} \rho_w, \rho_0: \text{海水および淡水の比抵抗} \\ D: \text{電極の中心間距離} \\ d: \text{電極の直径} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\frac{1}{g_0} \div \frac{2\rho_0}{\pi} \log e \frac{2D}{d}$$

であらわれる。したがって長さ L なる電極の電気伝導度 G は図-2 から

$$G = g_0 L + gH = g_0(L-H) + gH = H(g-g_0) + Lg \quad (2)$$

となり G と H は直線関係にある。すなわち内部波にともなう境界面の変動(波高)が G の変化を測定することによって求められる。

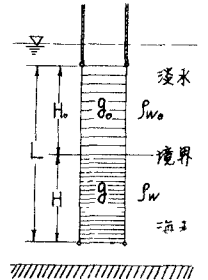


図-2 検出の原理

3. 試作機の構造

1) 電極 電極の構造は図-3 のとおりで $d=0.3 \text{ mm}$ 径の白金線を用い白金線の中心間距離 $D=5 \text{ mm}$ とし $L=13 \text{ mm}$ とした。白金線は支持はアクリル系樹脂を用い線間距離の保持と絶縁を計った。計測回路へのリード線は途中の電圧降下を少なくするためかなり大きな被覆導線を用い白金線の上下端に接続した。もちろん絶縁のため白金線部分以外は充分ペンキ塗装を施した。

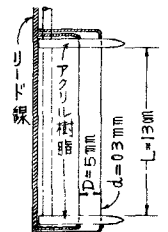
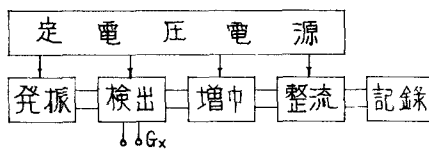


図-3 電極の構造

2) 回路 フロツクダイアグラムを図-4 に、その回路を図-5 に示す。発振部はターマン型CR発振器を発振し周波数は 2.2 KHz とし、負帰還とサーミスターにより発振振巾の定度を計った。検出回路の出力を2段階増幅のち整流し、

図-4 フロツクダイアグラム

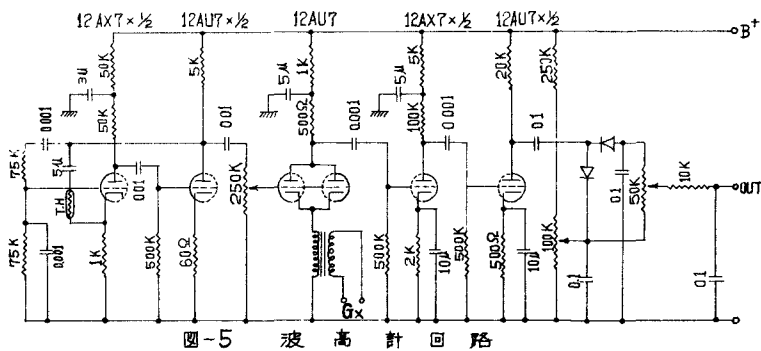


と記録する方式にある。

①試作器の特性

1) 檢査回路 電圧伝導度

G の検出方法として一般によく用いられるものに図-6 のような方法がある。印加電圧 E_0 のとき G の変化にたいする R_0 の両端の出力電圧 E は

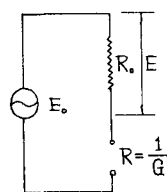


$$E = \frac{R_1 E_1}{R_1 + R_2} = \frac{R_1 / R_2 \cdot E_1}{1 + R_1 / R_2} = \frac{R_2 G}{1 + R_2 G} E_1$$

したがって出力電圧 E が G 比例になるためには $R_2 G \ll 1$ ----- (3)

となる必要がある。

いす料容誤差 $\pm 1\%$ 以内とすると $R_0 G \leq 0.01$ とするが仮に後述の図-10 から G は $0 \sim 0.135$ とすると R_0 は $\infty \sim 0.08 \Omega$ となる。このような負荷の変動にたいして、一定の出力を求むような電圧 E_0 を得ることは困難である。そこで今回採用した検出方法は図-7 のようなものでトランスの 1 次側と 2 次側に對して、それぞれ



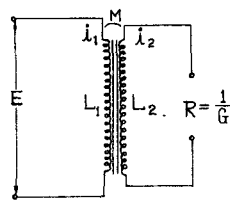
$$\left. \begin{aligned} E &= j\omega L_1 i_1 + j\omega M i_2 \\ 0 &= j\omega L_2 i_2 + j\omega M i_1 + R i_2 \end{aligned} \right\} \therefore i_2 = -\frac{j\omega M}{R + j\omega L_2} i_1$$

$$E = (j\omega L_1 - j\omega M \frac{j\omega M}{R + j\omega L_2}) i_1 = Z i_1$$

$$\therefore Z = j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R + j\omega L_2} = \frac{j\omega L_1 R - \omega^2 L_1 L_2 + \omega^2 M^2}{R + j\omega L_2} = \frac{j\omega L_1 R}{R + j\omega L_2}$$

$\begin{aligned} T &= T_1 L \\ M &= K \sqrt{L_1 L_2} \\ K &= 1 \text{ to } \infty \end{aligned}$

$$\begin{cases} \text{ただし} \\ M = K \sqrt{L_1 L_2} \text{ で} \\ K = 1 \text{ のとき} \end{cases}$$



したがって $\|w\|_{L_2} \gg R$ の条件 ----- (4)

があれば $Z = L_1/L_2 \times R = L_1/L_2 \cdot G$ (または $Y = 1/Z = L_2/L_1 \times G$)

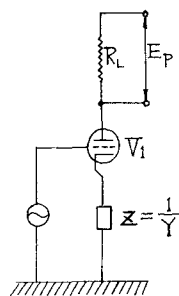
となり負荷インピーダンスはトランスの1次2次側の巻線比を比例定数としてほとんど決まってくる。その条件はトランスの2次側インピーダンスをRよりずっと大きくとればよいので(3)式の条件に比してその精度は充分高くとれる。このおかげは図-8の回転によってとり出すがその出力電圧 E_p は

$$E_P = -\frac{\mu R_L E_o}{r_p + R_L + (1+\mu)Z} = -\frac{\mu R_L E_o}{r_p + R_L + (1+\mu)\frac{1}{\frac{1}{r_p} + \frac{1}{R_L + R_s}}}$$

r_p : V_1 の内部抵抗
 μ : V_1 の電圧増巾度
 R_1 : 負荷プレート抵抗

したがって $\frac{Y_F + R_L}{1 + M} Y \ll 1$ ----- (5)

何れも出力電圧 E_p は γ 、即ち G 比例となる。真空管 T_1 と T_2 並列に用いる時は
 は小さくなり検出特性をさらに高めることができる。



2) 製作例 静的校正曲線は図-9 のとおりで、電極を境界面上にし、 ϕ に上下させて測った出力電圧である。同時に測定した濃度分布は境界面をはさんでかなり拡散しており、電極の下端が ϕ の濃度分布の急変する点附近($\alpha=11$) になると明らかに直線性がくずれている。しかし電極の両端を除いた約7

0.01位の範囲での誤差はおよそ1%以内にとどまっている。

5. 内部抵抗の測定の問題点

- 1) edge効果 検出の原理で述べたように、 G と H の関係が(2)式で表されることは、本項設計設計の前提であった。ところが実際には電極の上下端下端および境界面では、edge効果のため(2)式以外の電気伝導度が附加される。1カラムの附加伝導度が H 、あるいは H_0 によって変化せず常に一定値を保つならば、 G と H との直線関係はくずれない。したがって $H \gg D$ 、 $H_0 \gg D$ であるようにすれば境界面でのedge効果は一定値であるから電極の上下端附近を測定に用いないようにすればよい。

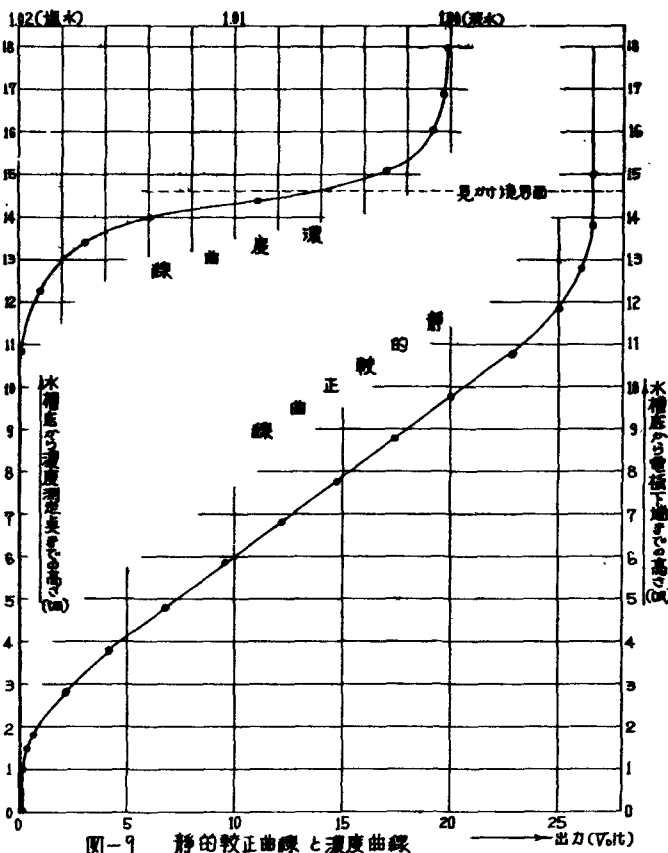


図-9 静的校正曲線と濃度曲線

- 2) 濃度勾配 境界面を付さずおそれば水の電解液の濃度勾配は時間的変化の無いことが望ましい。しかし実際には分子拡散や、実際にともなわれることから常に一定に保つことは困難で長時間の実験では適宜液を作り替へる必要がある。そして図-9に示したように静的校正曲線と濃度分布を測定し濃度勾配の必要とする長から、さらに深い位置に電極の下端をセットする必要がある。

- 3) 電極導線の抵抗変化による影響 検出の原理は G が H に比例することであったが電極導線の抵抗変化による G と H も直線関係にあることが必要である。いま図-10のように電極の下端から x のところにける電流を i 、両電極間の電圧を e 、とすると、これらの間に、

$$\frac{di}{dx} = ge \quad \frac{de}{dx} = 2\rho i \quad (\text{但し } \rho = \frac{\text{電極導線の比抵抗}(\Omega)}{\text{断面積}})$$

$$\text{の關係が成立する。したがって } \frac{d^2i}{dx^2} = 2\rho gi \quad \therefore i = Ae^{\sqrt{2\rho g}x} + Be^{-\sqrt{2\rho g}x} \quad (6)$$

$$e = \frac{1}{g} \frac{di}{dx} = \frac{\sqrt{2\rho}}{g} (Ae^{\sqrt{2\rho g}x} - Be^{-\sqrt{2\rho g}x}) \quad (7)$$

$$\text{また浸水中の導線の電圧降下は } 2\rho(L-x)i \quad (8)$$

これらの式を用い、リード線を電極の先端または下端のみ、あるいは上下端ともに接続したときの関係を求めてみる。

- (A) リード線を電極の先端のみにつなぐとき 電極の下端 $x=0$ において $i=0$ と仮定

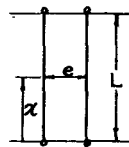


図-10 電極の抵抗変化

$$G = \frac{1}{2\rho(L-x) + e\chi} = \frac{1}{2\rho(L-x) + \frac{\rho}{\beta} \coth \sqrt{2\beta g} x} \quad \text{---(a)}$$

(b) リード線を電極の下端のみにつなぐ場合とす。

(a) 式から $2\rho(L-x)$ が消失されるので

$$G = \frac{1}{\frac{\rho}{\beta} \coth \sqrt{2\beta g} x} \quad \text{---(b)}$$

(c) リード線を電極の上下端ともにつなぐ場合とす。両端の電圧を e 、電流を i とすると $G = (i - i_0)/e$ 。

$$\therefore G = \frac{\frac{g}{2\rho} \frac{2\rho(L-x)}{2\rho(L-x)} \left\{ \frac{e^{\sqrt{2\beta g} x}}{e^{\sqrt{2\beta g} L}} - \frac{e^{-\sqrt{2\beta g} x}}{e^{-\sqrt{2\beta g} L}} \right\} + 2 \left(\frac{e^{\sqrt{2\beta g} x}}{e^{\sqrt{2\beta g} L}} + \frac{e^{-\sqrt{2\beta g} x}}{e^{-\sqrt{2\beta g} L}} \right) - 4}{\left(\frac{e^{\sqrt{2\beta g} x}}{e^{\sqrt{2\beta g} L}} - \frac{e^{-\sqrt{2\beta g} x}}{e^{-\sqrt{2\beta g} L}} \right) + \left(\frac{e^{\sqrt{2\beta g} x}}{e^{\sqrt{2\beta g} L}} + \frac{e^{-\sqrt{2\beta g} x}}{e^{-\sqrt{2\beta g} L}} \right)} \quad \text{---(c)}$$

以上 (a) (b) (c) とそれぞれについて計算線を用いて G と x の関係を示すと 図-11 のとおりである。図から $d = 0.03 \text{ cm}$ の場合、計算線による相違は少く、その変化も直線に近い。 $d = 0.005 \text{ cm}$ を用いるようにリード線は両端に接続する方がよい。

4. 分極作用への対策

分極作用によって電気伝導度が低下し時間とともに零長が移動するための対策として、図-12 のように電極側に (+) 電位を、水槽側に (-) の直流電位を加えた。

塩水中の水素イオンを陰極に導き陽極に析出される水素皮膜による電気伝導度の低下を防止するという考へである。このための電池による電流は、 $2 \text{ k}\Omega$ の抵抗で分割されるので検出には影響しない。このようにして実験開始から約 60 分を経過すると、ほとんど零長の移動はなくなる。

6. 必ず

以上内部環境の改善計について、実験による充分な動特性を確認できるまでに至らず、操作数増やすの原理的な問題を主として述べた。

濃度、温度補償の問題、記録計の応答特性など、さらに実施検討の必要がある。しかしながら試した本番が原理的に極めて中の広い検出特性をも

フットから、実験水槽および対象装置に応じて適当な電極 (d, D の違い) を用いれば、かなり精度の高い測定が可能であり、実験時の観測に特に電極の保護と表面を清潔に保つための注意が必要である。回路変数など数値的な説明は譲渡時に行なうつもりである。

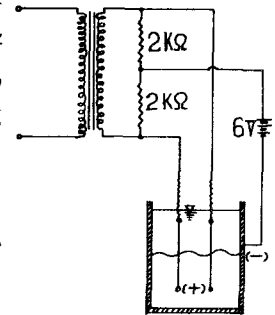
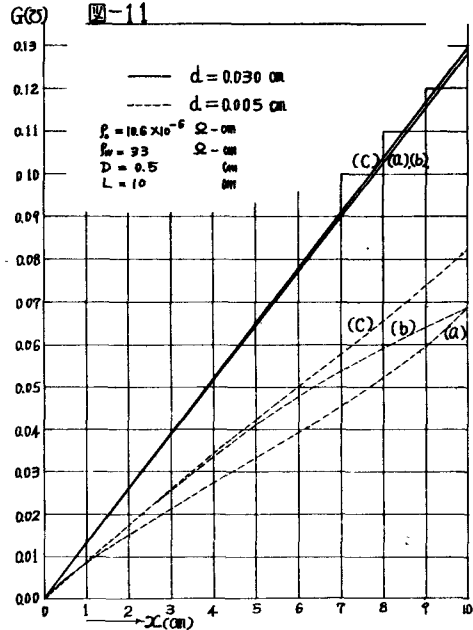


図-12 分極作用への対策