

歯車型環状振動子(その1)

(共振周波数の理論値と実測値について)

菊池喜充* 岡崎英次

A Ring Gear type Magnetostriction Vibrator (No. 1)

(On its Resonance frequency)

Yosimitu KIKUTI Eizi OKAZAKI

Abstract :— Two types of the magnetostriction vibrator, i. e., the rectangular type and the ring type, are generally used for ultrasonic transducers in water. The characteristics of both types are improved when Ferrite magnetostrictive material is used; however, it is very difficult to produce a Ferrite ring vibrator having a large number of small holes. This disadvantage of the ring vibrator can be employing a Geaf type vibrator proposed by Y. Kikuti. In this paper is discussed the resonance frequency of a Gear type vibrator, theoretically and experimentally.

概 説

現在用いられている水中送波用磁歪振動子の主なものには図1-aのような角形のもの
と図1-bのような環状のものがあり、それぞれ一長一短を有している。そして角形
のものはフェライト磁歪材料を用いて、従来のニッケルやアルフェロ等のものよりも性能を

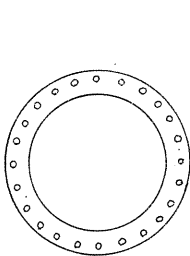


図1-a

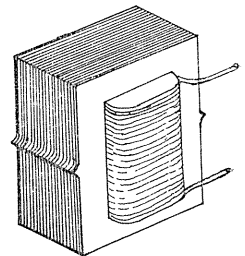
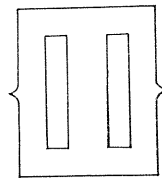
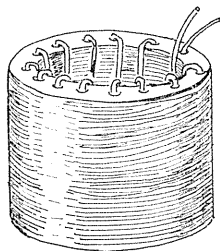


図1-b

*東北大学電気通信研究所

向上することができた。しかし環状のフェライト振動子は製作上困難な点が多い。本研究の目的はフェライト磁歪材料を用いた新形式振動子の開発である。

環状振動子のフェライト化に困難な点は図1-aのように周辺に振動子駆動用のコイルを巻く為の穴をあけなくてはならないことである。そこで筆者の一人(菊池)は、図2に示すような環の内部にコイルを巻く為の偶数個の突起を有する新形式の振動子を考えている。これを歯車型環状振動子を名付けることにする。同図には巻線方向とそれに依る磁界方向も示してある。本実験では巻線に励振電流とバイアス磁界用の電流を重畳して加えたが、バイアス磁界用の電流は、永久磁石でおきかえることも可能であり、こうすることによって、環状振動子は角形のようにバイアス磁界を永久磁石に依ることが難かしいという欠点を除くことができる。

さて、図2の環部は直流バイアス磁化に重畳して交流の磁化が加えられてあるので、その周波数にしたがって伸縮する。之は結局半径方向の伸縮になり、振動子外側面から媒質中に音波を放射することになる。

此の様な振動子を実用化しようとする、⁽¹⁾突起の数や寸法等にいろいろの制限が出てくるが、本編では一応その制限を考えずに、たゞ基本波励振した時の共振周波数の理論的解析と実測値のみについて検討した結果について述べることにする。

共振周波数の解析

突起のない従来の振動子で、環の巾が直径に比べてせまいときは此の様式の基本共振周波数は

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

R ; 環の平均半径 E ; 材料のヤング弾性率 ρ ; 材料の密度
で与えられるが、図2のような形にすることにより、此の振動状態では突起部によって等価質量等価ステフネス共増加することが予想できるので、(1)式は使用できない。また此の様な形の共振周波数を運動方程式から求めるのは困難と思われるので、使用する振動状態を仮定し、その状態で着目した音響端子に関する等価質量に依るリアクタンス X_m および等価ステフネス依るリアクタンス X_s を求め

$$X_m = X_s \quad (2)$$

となる周波数を共振周波数とすることにした。実用の場合の音響端子は外円周であるが、こゝでは計算の都合上内円周を音響端子とした。更に同一半径の円周上の各点は同一半径方向の変位を行なうという仮定を設けた。此の仮定はあまり環の巾がせまくない場合は成立すると考えられる。

前述のように同一半径の円周内の各点は全く同一の振動をするという仮定をすれば、等

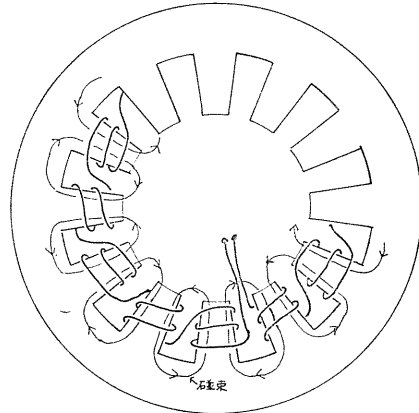


図 2

価質量 M は内円周に関する外環部の等価質量 M_1 と, 内円周に関する突起部の等価質量 M_2 にわけることができる。また等価ステフネスは単に円環の内面に突起部の等価質量 M_2 が付加質量として付け加えられたと仮定すれば, 突起があってもなくても等価ステフネスは変化しないはずであるが, 突起は環の補強の効果を持つはずであるから, ステフネスをいくらか増加させることが考えられるので, 円環のみの場合, 即ち図3で $a_0' = 0$ の時の等価ステフネス \mathcal{S}_1 に α なる補正係数を考えて

$$\mathcal{S} = \alpha \mathcal{S}_1 \tag{3}$$

なる \mathcal{S} を内円周に関する等価ステフネスとすることにした。こうして等価質量 $M = M_1 + M_2$ と補正された等価ステフネス \mathcal{S} がわかれば

$$X_m = \omega M, \quad X_s = \frac{\mathcal{S}}{\omega} \tag{4}$$

として (2) 式より共振周波数を求めることができる。以下

[I] 等価質量の計算

- (i) 円環部 M_1
- (ii) 突起部 M_2

[II] 等価ステフネスの計算

- (i) $a_0' = 0$ の時の等価ステフネス \mathcal{S}_1
- (ii) $a_0' \neq 0$ の時の \mathcal{S}_1 に対する補正係数 α の順に考えることにする。

[I] 等価質量の計算

- (i) 円環部 M_1

半径に比べて巾がせまく全体が一樣の速度で振動すると考えられる場合は円環内のどの円周に端子をえらんでも

$$M = 2\pi R a_0 h \rho \tag{5}$$

で与えられる環部の質量がそのまま等価質量 M_1 になる。こゝに h は円環の厚さである。

しかし一般に外径 a と内径 b との差 a_0 が a に比べて無視できず, 円環の速度分布は一樣と考えられない場合が多い。図4に示す円環の対称伸び振動に対する某本角周波数 ω_1 は σ をポアソン比として

$$\omega_1 = \frac{\alpha_1}{a} \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{(1-\sigma^2)}} \tag{6}$$

で与えられる。上式中 α_1 は

$$y_0 = \frac{b}{a}$$

として

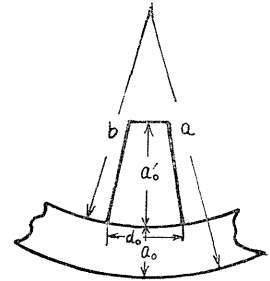


図 3

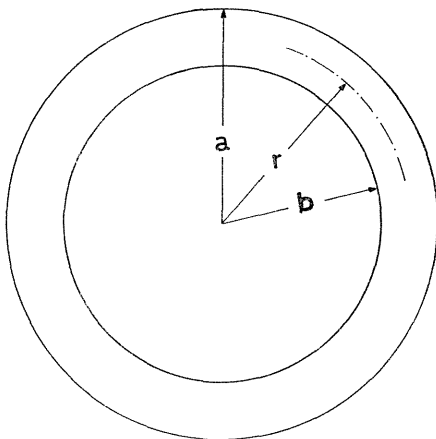


図 4

$$\frac{kaJ_0(ka) - (1-\sigma)J_1ka}{kay_0J_0(kay_0) - (1-\sigma)J_1(kay_0)} = \frac{kaY_0(ka) - (1-\sigma)Y_1(ka)}{kay_0Y_0(kay_0) - (1-\sigma)Y_1(kay_0)} \quad (7)$$

を ka について解いて得る根のうち最も小さいものである。

また此の様な円環の振動変位は簡単の為基本波モードに対して

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{\Phi}_1 \left[J_1(\alpha_1 y) - \frac{\alpha_1 J_0(\alpha_1) - (1-\sigma)J_1(\alpha_1)}{\alpha_1 Y_0(\alpha_1) - (1-\sigma)Y_1(\alpha_1)} Y_1(\alpha_1 y) \right] \varepsilon^{j\omega_1 t} \\ &\equiv \dot{\Phi}_1 u_1(y) \varepsilon^{j\omega_1 t} \end{aligned} \quad (8)$$

で与えられる。但し $y = \frac{r}{a}$ として

$$u_1(y) = \left[J_1(\alpha_1 y) - \frac{\alpha_1 J_0(\alpha_1) - (1-\sigma)J_1(\alpha_1)}{\alpha_1 Y_0(\alpha_1) - (1-\sigma)Y_1(\alpha_1)} Y_1(\alpha_1 y) \right]$$

したがって半径 r 点の速度 \dot{v}_r は

$$\dot{v}_r = j\omega_1 u_1(y) = j\omega_1 \dot{\Phi}_1 u_1(y) \varepsilon^{j\omega_1 t} \quad (9)$$

この環の運動エネルギー

$$T = \frac{1}{2} \int_b^a 2\pi r dr h \rho v_r^2 \quad (10)$$

(10) 式に (9) 式および $r=ay$, $\frac{b}{a}=y_0$ を代入すれば

$$T = \frac{1}{2} \cdot 2\pi h \rho (\omega_1 \Phi_1 a)^2 \int_{y_0}^1 y \{u_1(y)\}^2 dy \quad (11)$$

となる。

内円周即ち $r=b$ に於ける速度は

$$\dot{v}_b = j\omega_1 \dot{\Phi}_1 u_1\left(\frac{b}{a}\right) \varepsilon^{j\omega_1 t} \quad (12)$$

内円周に関する等価質量を M_1 とすれば

$$\frac{1}{2} M_1 v_b^2 = T \quad (13)$$

したがって

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{\frac{1}{2} 2\pi h \rho (\omega_1 \Phi_1 a)^2 \int_{y_0}^1 y \{u_1(y)\}^2 dy}{\frac{1}{2} \{\omega_1 \Phi_1 u_1(y_0)\}^2} \\ &= \frac{2\pi \rho a^2 h \int_{y_0}^1 \{u_1(y)\}^2 y dy}{\{u_1(y_0)\}^2} \end{aligned} \quad (14)$$

一方環の質量は

$$M_0 = \pi(a^2 - b^2)\rho h \quad (15)$$

であるので等価質量係数は

$$\varepsilon_1 = \frac{M_1}{M_0} = \frac{2}{1-y_0^2} \frac{\int_{y_0}^1 y \{u_1(y)\}^2 dy}{\{u_1(y_0)\}^2} \quad (16)$$

となる。

図5に $\sigma=0.3$ のときの y_0 と等価質量係数 ϵ_1 との関係を示す。(計算は区分求積法による。

(ii) 突起部の等価質量

(a) 突起部にテーパのない場合

外円環と突起部の交面は図6 $A A'' A' A_1' A_1'' A_1$ なる曲面であるが, 簡単の為これを直線近似し $A A' A_1' A_1$ 平面から突起部を見た機械インピーダンス \dot{Z}_{m1} を計算する。

いま

$$\left. \begin{aligned} Z_0 &= d_0 h \sqrt{E \rho} \\ \dot{i} &= j \omega \sqrt{\frac{\rho}{E}} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

である等価電線路を考えることに依り

$$Z_{m1} = Z_0 j \tan \omega \sqrt{\frac{\rho}{E}} a_0' \quad (18)$$

但し端面に加わる音響負荷インピーダンス密度は材料の Z_0 に比べて充分小さいとし, また材料の損失は無視してある。もし

$$\tan \omega \sqrt{\frac{\rho}{E}} a_0' \doteq \omega \sqrt{\frac{\rho}{E}} a_0' \quad (19)$$

と書けるときは

$$\dot{Z}_{m1} = j \omega d_0 \rho h a_0' = j \omega \text{突起の質量} \quad (20)$$

円環内円周 於ける突起部に依る 等価質量 M_2 は円様の突起数を n 個とすれば

$$M_2 = \frac{n Z_{m1}}{\omega} \quad (21)$$

と書ける。今

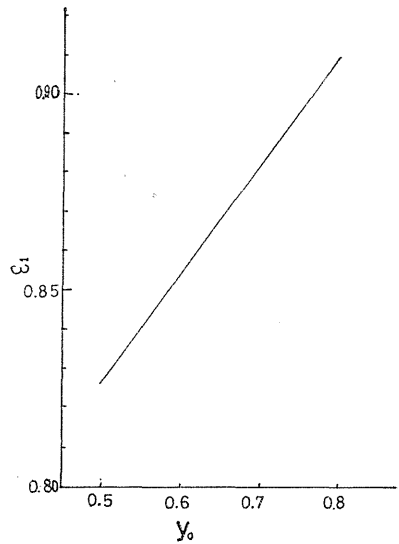


図 5

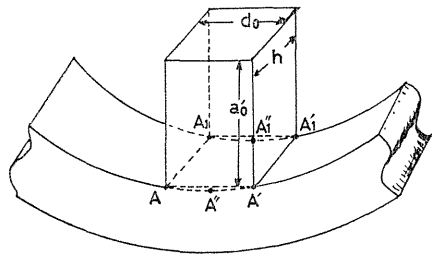


図 6

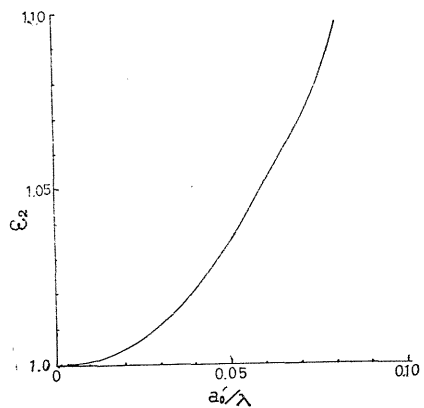
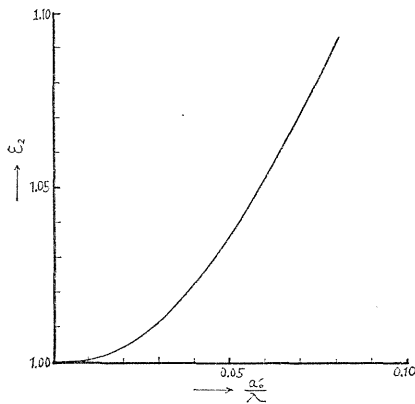


図 7

$$\lambda = \frac{2\pi}{\omega} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

として突起部の等価質量係数を示せば

$$\begin{aligned} \epsilon_2 &= \frac{\text{突起部の等価質量}}{\text{突起部の質量}} \\ &= \frac{\frac{n}{\omega} Z_0 \tan \sqrt{\frac{\rho}{E}} a_0'}{nd_0 h_0 a_0'} = \frac{\tan 2\pi \frac{a_0'}{\lambda}}{2\pi \frac{a_0'}{\lambda}} \end{aligned} \quad (22)$$

となる。図7に $\frac{a_0'}{\lambda}$ に対する ϵ_2 の関係を示す。

(b) 突起部にテーパを有する場合

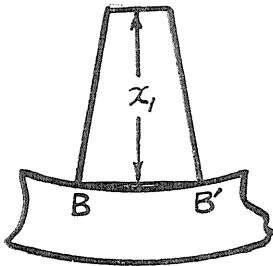


図 8

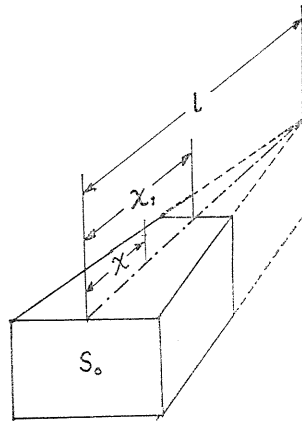


図 9

図8の B B' 即ち図9の S_0 面からみた機械インピーダンスを計算する。等価電線路としては単位長当りのインダクタンス L とキャパシタンス C が

$$\left. \begin{aligned} L(x) &= (S_0 - mx)\rho \\ C(x) &= \frac{1}{E(S_0 - mx)} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

$$\text{但し } m = \frac{S_0}{l}$$

で与えられる伝送線路を考えればよい。 l に沿って x 軸を考え S_0 面を $x=0$ として x に於ける電圧 \hat{F} は次式を満足する。

$$\frac{d^2 F}{dx^2} - \frac{1}{\frac{S_0}{m} - x} \frac{dF}{dx} + k^2 F = 0 \quad (24)$$

ここに $k = \omega \sqrt{\frac{\rho}{E}}$ である。この解は A_1, A_2 を初期条件として

$$\hat{F} = \left(\frac{S_0}{m} - 1 \right) \left[\dot{A}_1 J_{-1} \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x \right) \right\} + \dot{A}_2 Y_{-1} \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x \right) \right\} \right] \quad (25)$$

$x=0$ で電流 $V=V_s$ 電圧 $F=F_s$, また $x=x_1$ で $F=0$ とすれば, S_0 面からみた機械リ

アクタンス \dot{Z}_{m2} は

$$\dot{Z}_{m2} = \frac{F_s}{V_s} = -\frac{j\omega S_0 \rho}{k} \frac{J_1 \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) \right\} Y_1 \left(\frac{kS_0}{m} \right) - Y_1 \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) \right\} J_1 \left(\frac{kS_0}{m} \right)}{Y_1 \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) \right\} J_0 \left(\frac{kS_0}{m} \right) - J_1 \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) \right\} Y_1 \left(\frac{kS_0}{m} \right)} \quad (26)$$

となる。したがって突起部の等価質量 M_2 は前と同様に

$$M_2 = n \frac{Z_{m2}}{\omega} \quad (27)$$

により求められる。

m が非常に小さい時、即ちテーパのないときは

$$\left. \begin{aligned} J_1 \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) \right\} &\doteq \sqrt{\frac{2}{\pi \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) \right\}}} \cos \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) - \frac{3}{4} \pi \right\} \\ Y_1 \left(\frac{kS_0}{m} \right) &\doteq \sqrt{\frac{2}{\pi \left(\frac{kS_0}{m} \right)}} \sin \left\{ \left(\frac{kS_0}{m} \right) - \frac{3}{4} \pi \right\} \\ Y_1 \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) \right\} &\doteq \sqrt{\frac{2}{\pi \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) \right\}}} \sin \left\{ k \left(\frac{S_0}{m} - x_1 \right) - \frac{3}{4} \pi \right\} \\ J_1 \left(\frac{kS_0}{m} \right) &\doteq \sqrt{\frac{2}{\pi \left(\frac{kS_0}{m} \right)}} \cos \left\{ \left(\frac{kS_0}{m} \right) - \frac{3}{4} \pi \right\} \\ J_0 \left(\frac{kS_0}{m} \right) &\doteq \sqrt{\frac{2}{\pi \left(\frac{kS_0}{m} \right)}} \cos \left\{ \left(\frac{kS_0}{m} \right) - \frac{\pi}{4} \right\} \\ Y_0 \left(\frac{kS_0}{m} \right) &\doteq \sqrt{\frac{2}{\pi \left(\frac{kS_0}{m} \right)}} \sin \left\{ \left(\frac{kS_0}{m} \right) - \frac{\pi}{4} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

と書けるので、 $x_1 = a_0'$ として

$$\dot{Z}_{m2} \doteq -\frac{j\omega S_0 \rho}{k} \cdot \frac{\sin kS}{-\cos kx} = jZ_0 \tan \omega \sqrt{\frac{\rho}{E}} a_0' \quad (29)$$

で当然のことながらテーパのない場合の (18) 式に一致する。

〔II〕 等価ステフネス

(i) $a_0' = 0$ の時の等価ステフネス

直径に対し a_0 が無視できないときの内円周に対する等価ステフネス \mathcal{S}_1 は、(6) 式から求められる ω_1 と、(14) 式から求められる M_1 から

$$\mathcal{S}_1 = \omega_1^2 M_1 \quad (30)$$

として求められる。なおこの M_1 は環の質量を図5に依って M_1 に換算すれば良い。

(ii) $a_0' \neq 0$ の時の \mathcal{S}_1 に対する補正係数 (a_0/R が小さい場合)

いまこの理論を求むるに当り、環の直径は巾 a_0 に対して充分大きいという仮定で環の一部を図10に示すように直線で近似して歪力 τ_t に対する d_0 なる部分ののび Δl を考える。 $x=x$ で歪力が断面において一様であると仮定して之を τ_s とすれば

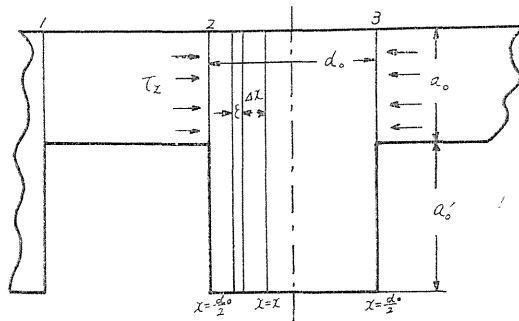


図 1 0

$$\tau_{ss} = \tau_t \frac{a_0}{a_0 + a_0'} \quad (31)$$

となる。

次に $x=x$ に於て微小長さ Δx の部分の伸びを ϵ とすれば

$$\frac{\epsilon}{\Delta x} = \frac{\tau_{ss}}{E} \quad (32)$$

こゝに E は材質のヤング弾性率である。

2～3間全体の伸びは

$$\Delta l_2 = \int_{-\frac{a_0}{2}}^{\frac{a_0}{2}} \frac{\epsilon}{\Delta x} dx = \frac{a_0 d_0 \tau_t}{E(a_0 + a_0')} \quad (33)$$

次に1～2間の伸びは突起の数を n として同様の方法に依り

$$\Delta l_1 = \frac{\tau_t}{E} \left(\frac{2\pi R}{n} - d_0 \right) \quad (34)$$

半径の伸びを Δr とすれば円周の伸びは $2\pi \Delta r$ であって

$$2\pi \Delta r = n(\Delta l_1 + \Delta l_2) = \frac{\tau_t}{E} \left(\frac{a_0 d_0 n}{a_0 + a_0'} + 2\pi R - d_0 n \right) \quad (35)$$

となる。 R は平均半径である。

a_0/R が小さいとすれば機械端子はどの端面にとってもよい。この場合の環の端面に作用する静流体圧 p_r に対するステフネス \mathcal{S}_0 は材料の厚さを h として

$$\mathcal{S}_0 = \frac{2\pi R h p_r}{\Delta r} = \frac{(2\pi)^2 R h p_r}{E \left(\frac{a_0 d_0 n}{a_0 + a_0'} + 2\pi R - d_0 n \right)} \quad (36)$$

こゝで

$$R p_r = \tau_t a_0 \quad (37)$$

であるから

$$\mathcal{S}_0 = \frac{(2\pi)^2 a_0 h E}{\frac{a_0 d_0 n}{a_0 + a_0'} + 2\pi R - d_0 n} \quad (38)$$

しかるに a_0' が長くなるにつれて突起の先端部分は円周方向の歪力を負担しないようになるので(31)式は正確でなくなってくると考えられる。そこで β なる a_0' の補正係数を用いて

$$\tau_{\theta}' = \tau_t \frac{a_0}{a_0 + \beta a_0'} \quad (39)$$

とすれば等価ステフネスの式 (38) は

$$\mathcal{S}_{0'} = \frac{(2\pi)^2 a_0 h E}{\frac{a_0 d_0 n}{a_0 + a_0' \beta} + 2\pi R - d_0 n} \quad (40)$$

となる。上式で $a_0' = 0$ とすれば

$$\mathcal{S}_{00'} = \frac{2\pi a_0 h E}{R} \quad (41)$$

となる。こゝで a_0' なる突起のある場合の等価ステフネスは突起でない場合の $\frac{\mathcal{S}_{0'}}{\mathcal{S}_{00'}}$ 倍になると表現しておこう。

a_0 が半径に対し無視できない場合も此の関係が成立つとすれば a_0' の突起を有するときのステフネスは (30) 式の \mathcal{S}_1 から

$$\mathcal{S} = \mathcal{S}_1 \times \frac{\mathcal{S}_{0'}}{\mathcal{S}_{00'}} \equiv \alpha \mathcal{S}_1 \quad (42)$$

となり先に設定した補正係数 α は

$$\alpha = \frac{\mathcal{S}_{0'}}{\mathcal{S}_{00'}} \quad (43)$$

で与えられることになる。

補正係数 β の決定に本編では光弾性を応用してみた。今厚さ 6 mm の図 11 のような (図 10 の一部) 光弾性試料の $A A'$ 面に垂直に約 3.3×10^7 dyne/cm² の歪力を加えた場合の光弾性写真を図 12 に示す。この写真だけでは黒線の次数を知ることが困難なので、歪力分布を知ることができないが、図 e f g h で突起右端より最初の黒線の巾 $P Q$ が e f g h の順にひろくなり、且つ $O P$ の長さは略等しいこと、また図の黒い縞の中では $O O'$ 断面に垂直な歪力および $O O'$ 面に直角な断面に対する垂直歪力の巻は一定を考えてよい。ことから、次のように推論する。若し図 12-h の右端 $O O'$ 面に垂直な面

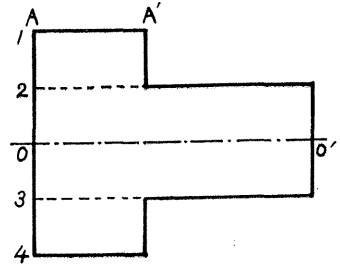


図 11

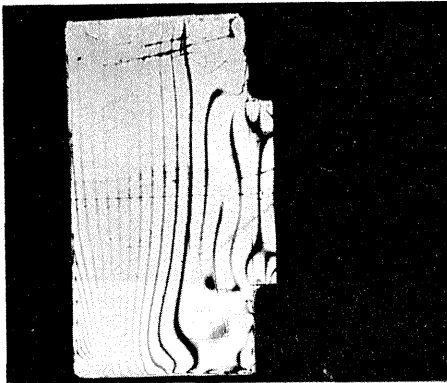
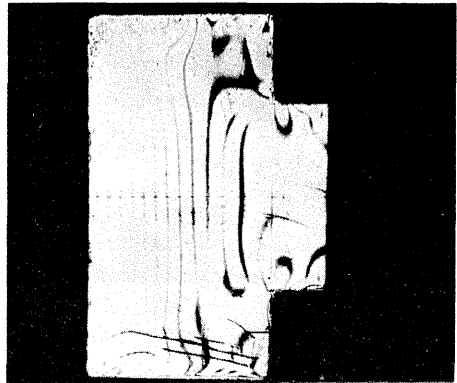
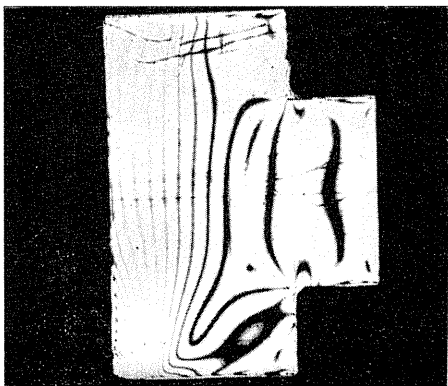


図 12

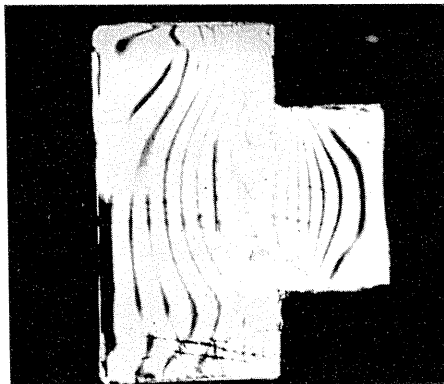
a



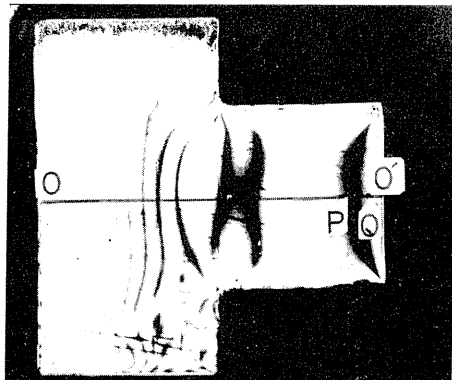
b



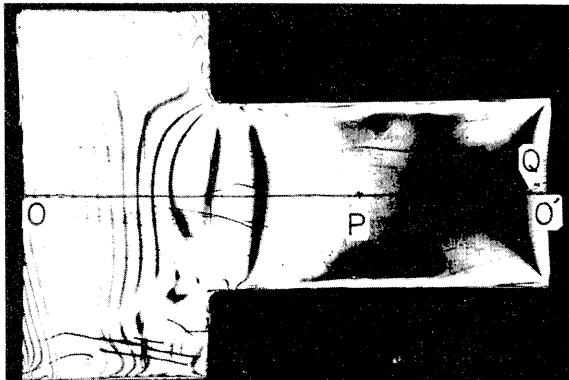
c



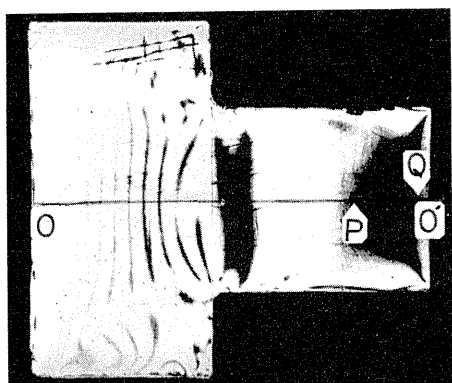
d



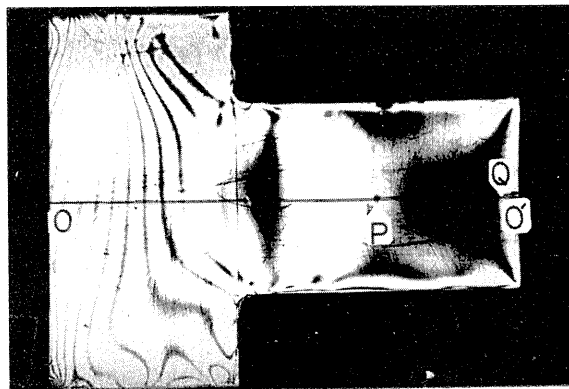
e



g



f



h

に歪力が及ぼしてないとすれば, 少なくとも PQ の範囲は OO' 面に対する垂直歪力も零である, 即ち P 点より右に歪力が及んでいないと考えることができる。又 OP の長さは図12—c, f, g, h 共に略同一であるので $A'A'$ に加えられた垂直歪力は a_0+a_0' の長さが OP の長さより短い時は OO' 面内一様に分布し, OO' の方が長くなった時は OP の部分だけ一様に分布しそれより右に歪力は及んでいないと考えられる。此の様に考えれば突起の長さが余り長くなく, 図10の $a_0' \leq a_0$ 即ち環巾より突起が短い様な形の時は $\beta=1$ 即ち先端部分程歪が小さくなるという補正はほとんど必要なくなり, (39) 式は (31) 式と同じになる。また突起の長さが環巾より長くなった場合即ち $a_0' > a_0$ の場合は大体 $\beta = \frac{a_0}{a_0'}$ と考えてしまうことができる。したがって (39) 式で $\tau_x' = \frac{1}{2} \tau_x$ とすることができる。

実 験

此所で図2に示したような形の共振周波数を実測することにより, 以上導びいた理論式の一部即ち突起にテーパのある場合の理論をたしかめることにした。そして厚さ 0.15mm の純ニッケル板を下記の寸法に切断した。

図3で $a=49\text{mm}$ $b=37.5\text{mm}$
 $a_0'=0, 4, 8, 12, 16, 20, 24$ の7種
 $n=12$ $d_0=10\text{mm}$

円環部が円として振動する条件を満足させるため, および実用化する為には a_0, a_0', d_0 および突起の数の決定は重要な問題になり, またそれ等の値如何によっては突起部励振が非常ににくい場合もあるが, 冒頭に記した如く本編では共振周波数のみを考えることにしているので, 寸法も上述の如くきめた。

切断された材料は 800°C 水素気流中で約30分間の焼鈍を行ない徐冷した。そして周辺同一方向に巻線をほどこし動インピーダンス円を画くことによって共振周波数を測定することにした。實用時には突起部に巻くことを考えた振動子であるが, すべて周辺に巻くことにした。これは突起巻では振動の弱い場合でもよく振動させ, 正確に共振点をつかむためである。共振周波数は突起巻でも周辺巻でも共にほとんど変わらないことを確かめてある。

巻線は 8 心ビニール線を用い, 巻枠を使用して一区間 4 回宛計48回巻き, 試料の振動が巻枠でさまたげられないように, ゴム枕を用い試料を枠内の三点で支持した。

測定回路を図13に周波数測定結果を図14に示す。

バイアス電流は 2 A (約4.4 エルステッド) と 5 A (約10.8エルステッド) で測定した。

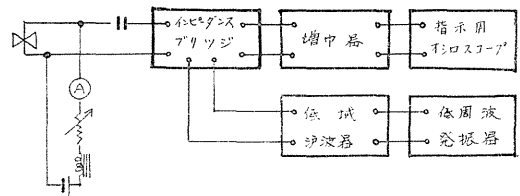


図 13

図14理論値中の縦波伝播速度 $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ は $a_0'=0$ の環の共振周波数の実測値 (4.4 エルステッドで 17.3 kc/s) を (6) 式に代入して計算した値 4700m/s を用いた。なお $\sigma=0.3$

とした。

同図中理論値 (1) の曲線は補正係数

$$\alpha=1$$

としたもの即ち突起があっても等価ステフネスは突起のない場合と同じとしたもの、また理論値 (2) の曲線は突起部に依るステフネスの増加を考慮にいれ、そして β は光弾性写真の結果を用いて補正を行ったものである。

之でみると単に突起部を付加質量と考えたものの方が実測値と合っていることになる。即ちこの限りでは突起部は等価ステフネスに影響しないことになる。しかしこゝで問題になるのは等価質量の理論が悪くてもこのような結果となり得るので、付加質量法に依り等価質量を実測してこのことを確かめる予定である。

なお図14の実測共振周波数のカーブが、 $a_0' \leq 0.8\text{cm}$ のグループと、 $a_0' \geq 1.2\text{cm}$ の二つのグループにわ

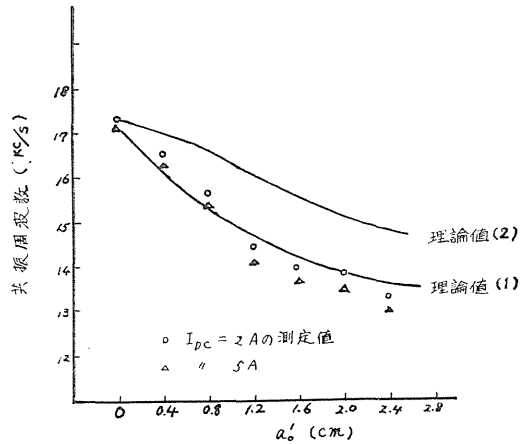


図 14

かれてはいるようにみえる。図15は動インピーダンス円から機械的 Q を求めた結果である

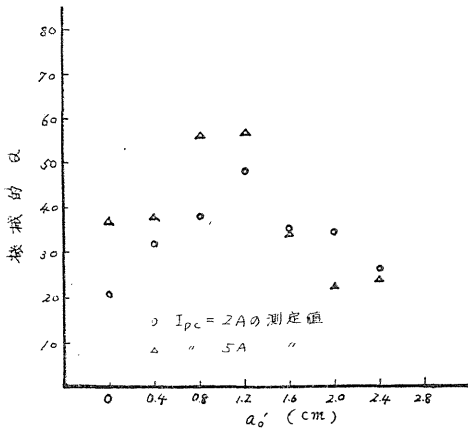


図 15

此の図をみると $a_0' \leq 0.8\text{cm}$ の時は右上りのカーブになっており、 $a_0' \geq 1.2\text{cm}$ の時は右下りのカーブになっている。之等を合せ考えると $a_0' \leq 0.8\text{cm}$ の時と $a_0' \geq 1.2\text{cm}$ の時では振動姿態が異なるのではないかという疑問を生ずる。一方この測定では a_0' が大きくなる程試料支持の影響を受け、之が適当でない時は共振点附近に副共振を伴なう。図16に動インピーダンス測定結果の一例を示す。之でみてもわかる如く相当の注意をしても a_0' が小さいときのようにきれいなインピーダンス特性を示して呉れない。したがって a_0' が

大きいもの程測定誤差を含むものと考えられる。なお Q の特性 (図15) をみれば $a_0' \leq 0.8\text{cm}$ では質量のふえ方よりまじつのふえ方が少なく、 $a_0' = 0.8 \sim 1.2\text{cm}$ を境にして之が逆になる。これらのことも更に検討を要する点であるから、本研究のみで理論値 (1) が正しいと結論することはできない。

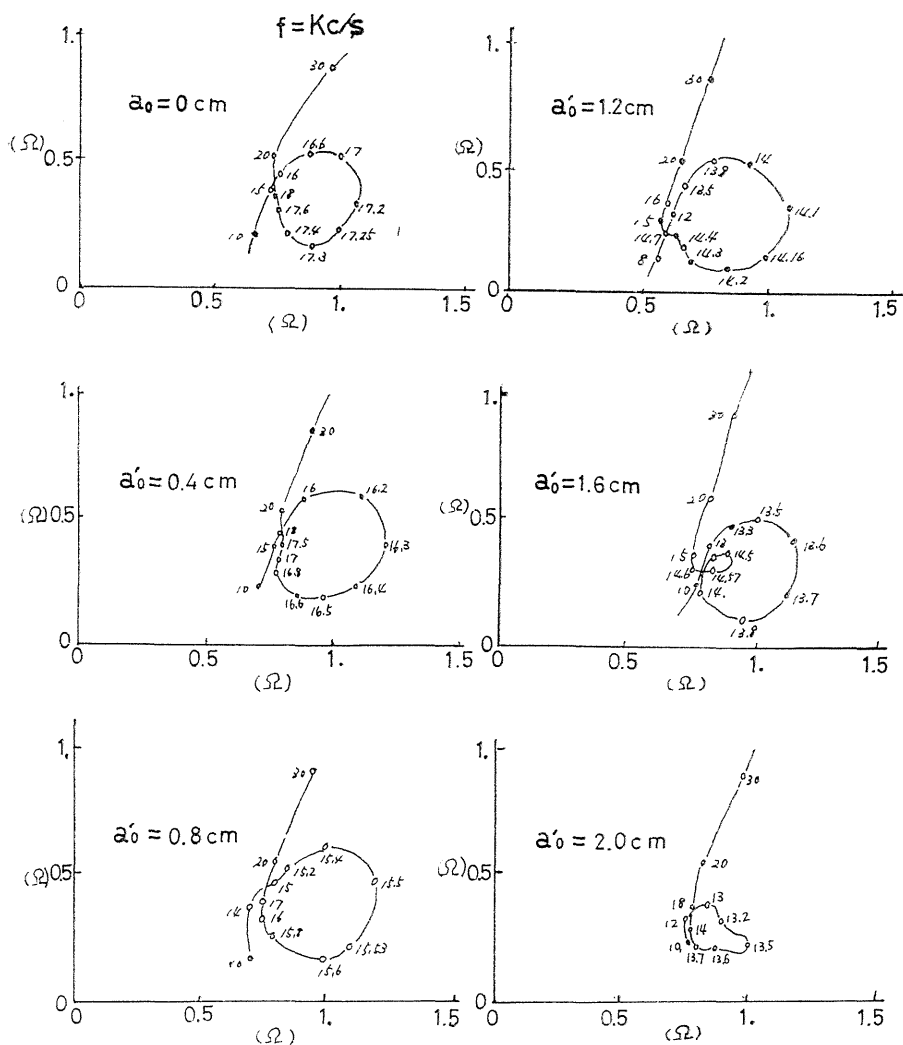


図 1 6

結 言

以上歯車型環状振動子の共振周波数の理論で導びき、一枚の素子による実測結果を示した理論式を導くに当たって若干の仮定を設けてあるが、此の実験の範囲では理論値の8%以内を実測値は入っている。しかし突起を単純な質量と考えた簡単な理論式の方が実測値とよく合っているといった結果は更に検討する必要があるので、今たゞちに之を結論とするものではない。之等は今後逐次検討してゆくこととして、此の理論的解析結果は他の形例えば突起が環の外方に向いて着いているような形の場合にも利用できるであろう。

現在は略実用になる振動子を試作したので、その性能について考究しているところである。

参 考 文 献

- (1) 菊池・岡崎「歯車型環状振動子第Ⅱ報」(突起部の影響と実用化上の問題)
日本音響学会講演論文集 昭和42年5月
- (2) 早坂「円環の対称伸び振動」電気通信学会雑誌 昭和15年8月 p. 41~p. 47