

良好なる結果をうることができた。ただし底面の曲率を一定としているため、ダム頂部付近等のごとく急激に曲率が増えつつかつ常流から射流に移る場合には実験値と一致しないが、この区間ではむしろ遠心力の影響を無視した一般の不等流公式式 (21) の方が一致するようであるから、この一般の不等流公式、または

flow net 法を (19) または (20) 式と適当に組み合わせることにより水面形を定めることができるように思われる。かくして水面形を定めえた場合には、計算底圧値は実測値と比較的よく一致するようであるから、空洞現象の推測を行うことは可能であると思う。

(昭・29.4.6)

チタン酸バリウム磁器を用いた加速度計

正員 工学博士 村 山 朔 郎*
准員 谷 本 喜 一**

ACCELEROMETER MADE WITH BARIUM TITANATE CERAMICS

(JSCE Sept. 1954)

Dr. Eng., Sakurō Murayama, C.E. Member

and

Kiichi Tanimoto, C.E. Assoc. Member

Synopsis In order to measure the mechanical acceleration of low frequency, an accelerometer with piezoelectric vibration pickup has been devised. Mechanical acceleration can be measured directly by electric potential of the piezoelectric crystal which is converted from the inertia reaction force developed in the vibration pickup. As among all piezoelectric crystals, Barium Titanate ceramics is considered very convenient in view of stability at low frequency, we have attempted to use a small piece of Barium Titanate ceramics as a element of accelerometer. Result of the test shows that the frequency characteristics is nearly completely constant from eight cycles till fifty cycles.

要旨 本文は振動数の低い機械的振動の加速度を測定するために試作した加速度計について述べたものである。圧電結晶の中で低周波において安定性のよいものはチタン酸バリウム磁器であるから、著者らはこれを用いて試作し検定試験の結果 8~50 サイクルの範囲内で良好な振動数特性を有することを確かめた。

1. 緒 言

微小振巾の機械的振動加速度を測定するために、機械、電気変換素子として種々のピックアップの研究が進められ現実に使用されているが、これらの中で圧電結晶ピックアップは多くの長所を持つているから将来ますます利用されるであろう。圧電結晶として水晶、燐酸アンモン、ロッシェル塩及びチタン酸バリウム磁器があるが、低周波で使うこと及び安定性の点からチタン酸バリウム磁器が最も都合がよいようである。

著者らはチタン酸バリウム磁器を用いて加速度計を試作し好結果を得たのでここに報告する次第である。

2. チタン酸バリウム磁器の二、三の性質

チタン酸バリウムは数年前に発見され、その強誘電

性及びピエゾ電気現象についてはすでに詳しく調べられており、現在においてはもっぱら工学的応用が研究されつつある¹⁾。ここではピエゾ電気現象について簡単に記すことにする。

チタン酸バリウム磁器は微結晶の集合体でありながら、他の圧電結晶にくらべて大きい圧電率を示す点が高い特長である。元来等方性であるがピエゾ電気現象を起させるために電界を加えるので電界の方向に伸びを生じている。一度高圧を加えたものは、これを取り去つても分極が残り永久に圧電体として作用する。しかし逆電界を加えたり、キューリー点 (110°C) 以上に熱すると分極が減少あるいは消失して圧電性を失う。次に力学的常数は製法によりやや異なるが

$$E \cong 10^{12} \text{ dyne/cm}^2, \sigma \cong 0.27, \rho \cong 5.5$$

ただし、 E : ヤング率, σ : ポアソン数, ρ : 比重であるといわれる。

3. 圧電結晶ピックアップの一般的考察

圧電結晶ピックアップで問題となるのは出力電圧の取り出しであろう。この点に関して若干考察を加える²⁾。いま

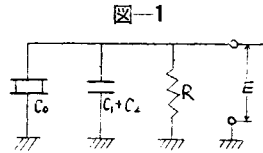
M : 圧電結晶の付着質量

* 京都大学教授, 工学部土木工学教室

** 同 助手, 同

- α : 上記質量の加速度
- δ : ピエゾ電気率
- Q : 結晶電極に生ずる電荷
- C_0 : 結晶の電気容量
- C_1 : 導線の分布容量
- C_2 : 初段真空管の格子陰極間の容量
- R : 初段真空管の格子漏洩抵抗及び格子抵抗の合成抵抗
- i : 上記 R を流れる電流
- E : 出力電圧

としてピックアップ出力回路の等価回路は図-1 のようになる。図-1 より次の関係があることがわかる。



$$E = iR = \frac{1}{C} (Q - \int i dt) \quad (1)$$

$$Q = \delta M \alpha \quad (2)$$

ただし、 $C = C_1 + C_2 + C_0$ である。

(1), (2) より

$$\frac{dE}{dt} + \frac{E}{CR} = \frac{\delta M}{C} \cdot \frac{d\alpha}{dt} \quad (3)$$

が得られる。(3) において CR が充分大きければ、左辺の第 2 項は第 1 項にくらべて小さいから

$$E \approx \frac{\delta M}{C} \alpha \quad (4)$$

となる。すなわち出力電圧は加速度に比例することになる。

特に外力加速度 α が時間について、 $\alpha = \alpha_m \sin \omega t$ なるとき、(3) 式は

$$\frac{dE}{dt} + \frac{E}{CR} = \frac{\delta M}{C} \alpha_m \omega \cos \omega t \quad (5)$$

とかける。ここに ω は加速度の円振動数である。

(5) の解は

$$E = A e^{-\frac{t}{CR}} + \frac{\delta M \alpha_m}{C} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega CR)^2}}} \sin(\omega t + \epsilon) \quad (6)$$

$$\epsilon = \tan^{-1} \frac{1}{\omega CR}$$

である。ただし A は初期条件によつて決定される常数で、 ϵ は位相差である。定常状態においては (6) の上式の第 1 項はなくなり第 2 項のみを考えればよい。第 2 項の $1/\sqrt{1 + 1/(\omega CR)^2}$ は振動数特性を表わす、いわゆる感度係数にほかならない。(6) において $\omega CR \gg 1$ が満足されるならば

$$\delta \approx 0, \quad E \approx \frac{\delta M}{C} \alpha$$

となるから加速度計として好都合である。

以上述べたように加速度計としては $\omega CR \gg 1$ なる条件が必要であるが、実際問題として R はあまり大きいものが入手できず、しかも普通の真空管の格子抵抗は $10^8 \sim 10^9$ オームであるから漏洩抵抗 R を大きくしても効果はない。一方 C を大きくすることは出力感度を下げることになるからあまりよい方法とはいえない。試作器においては一応 $\omega CR \gg 1$ を満足させるために、回路に別の容量をつけ加えて試験した。容量を加えると感度は確かに下がるが、特性がよくなることと導線の漏洩の影響が少くなることは利点といえよう。

試作においては計画最低振動数を 5 サイクルとおさえたので

$$\omega \approx 31.4 \text{ sec}^{-1}$$

また格子抵抗及び容量をそれぞれ

$$R = 20 \text{ M}\Omega = 2 \times 10^7 \text{ ohm}$$

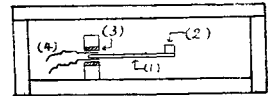
$$C = 0.02 \mu\text{F} = 2 \times 10^{-8} \text{ farad}$$

としたので $\omega CR \approx 12.6$ で、計算による振巾誤差は 0.3%, 位相差は $30'$ である。

4. 試作加速度計とその特性

以上の考察をもとにして図-2 に示したような加速度計を試作した。試作

図-2 加速度計側面図



- (1) 結晶片 (2) 压電質量
- (3) 絶縁物 (4) 導線

与える影響は非常に小さい。

さてチタン酸バリウム磁器結晶片は $0.55 \times 2.2 \times 18$ mm の寸法のもを、図のように片持梁としその支点において導線を固定した。自由端に適当な質量を附着し、適当な固有振動数をもたせるとともに出力感度を変えるようにした。加速度計としては質量と結晶片とからなる振動子の固有振動数が測定する振動数にくらべてきわめて高くなければならないから、計画測定振動数 5~50 サイクルに対して固有振動数を約 500 サイクルとして質量を決定した。

次に出力回路及び増巾回路について簡単に述べる。

図-3

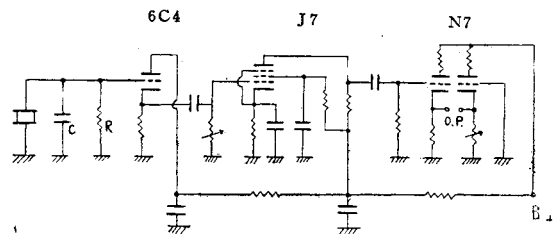


図-3 のような回路を採用し、すなわち出力電圧を6C4 の格子に入れ出力をカソード・フォロアー回路で取り出しこれを増巾するに、搬送波を使わず直接6S J 7 で増巾した。増巾電圧を検流計に与えるために6S N 7 のブリッジ回路に入れる方法をとつた。結局増巾器としては1段増巾で検流計を振らせるわけであるが、後で述べるように利得が少し不足するようである。

試作計を検定するために30 サイクルの検流計をブリッジ回路につないだが実際に使用するときは100 サ

では30 サイクル付近)であるから約100 サイクルの固有振動数を有する検流計を用いなければ総合特性はよくならない。しかし固有振動数を高くすれば必然的に検流計感度が落ちるから適当におさえなければならぬ。本試作計を大加速度の測定に使うならば100 サイクル以上の検流計を使用しても充分な感度があるけれども、小加速度測定には少しく増巾の必要がある。

5. 結 言

土木建築構造物の振動を測定するために加速度計を試作したが相当よい結果が得られた。将来改良を加え

れば他の機械的振動の測定にも広く利用できるものと信ずる。また小型、軽量化も容易になされるから模型実験にも使用することができる。

加速度計に積分回路をつけて速度計、変位計とすることは各方面で研究されているが、移動用増巾器につけようような簡単な回路では積分特性が思わしくないようであるから、積分回路は別に設けずアナログ・コンピューターを利用する予定である。本計器による実際測定については追つて発表するつもりである。なお

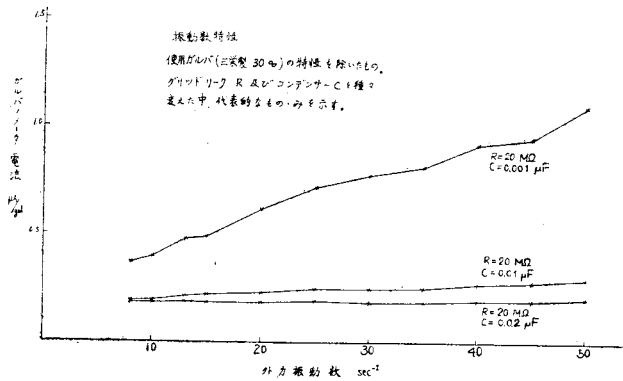
本計器は位置を変えることにより上下動のみならず水平動振動の測定も可能であることをつけ加えておく。

最後に本研究に種々の御援助をいただいた京大化研 田中教授並びに検定の便宜を与えられた運輸技研 林技官に深謝の意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 田中哲郎：電気—機械変換素子としてのチタン酸バリウム磁器，材料試験，2，404，(昭28)
- 2) 藤原尊礼：振動測定，4 版，265，(昭26) (昭29.4.22)

図-4



イクル以上のものを使うべきである。しかし使用検流計の特性を別に試験することによつてピックアップ及び増巾器のみの特性を調べることができた。

さて検定は運輸技研港湾物象部の動電型振動台によつて実施し、振動数特性を求めた結果は図-4 に示すとおりである。振動台の良好な最低動作振動数が8 サイクルであつてそれ以下の検定を行い得なかつたことは残念であるが図から5 サイクル付近までの推定は無理ではあるまい。図に見るように特性は完全に水平であるが難をいえばもう少し感度が欲しいところである。測定振動数の最高が50 サイクル(実際問題とし

工学博士 佐藤清一著

水 理 学

全書判 216 頁 定価 320 円
本書は理論的な追究と共にそれを基礎にして実際問題にいかに対処するかということに重点をおいている。

建設技官 安部清孝著

実用 フーリエ級数

全書判 270 頁 定価 320 円
実際技術上の問題に現われる種々の函数をフーリエ級数並びに同類の函数系によつて如何に展開するかということを詳述。

工博 関原猛夫 関 小高司郎著

図学要論

A 5 220 頁
上製 300 円

東京・神田・駿河台 森北出版 K. K. 振替東京 34757
(29) 2616・3068

井口常雄他 理工学事典(全7巻) B 5 220 頁
各 1000 頁

安藤皎一監修 測 量 便 覧 B 6 890 頁
価 1300 頁

末松 栄著 河 川 工 学 A 5 256 頁
上製 400 頁

日笠 育夫著 高 水 工 学 A 5 175 頁
上製 300 頁

小池 啓吉著 橋 梁 工 学(全3巻) A 5 450 頁
各 600 頁

高橋 立郎著 初 等 水 理 学 A 5 130 頁
並製 200 頁

岩崎 富久著 上 水 道 工 学 A 5 374 頁
上製 600 頁

田中 寅男著 下 水 道 工 学 A 5 426 頁
上製 700 頁

岡田 信次著 鉄 道 工 学 A 5 212 頁
上製 350 頁

安藤 皎一著 流 量 測 定 法(修訂版) 小型 224 頁
上製 300 頁