

Title	弾性係数の電氣的測定法
Sub Title	Electrical Measurement of Modulus of Elasticity
Author	宗宮, 知行(Somiya, Tomoyuki)
Publisher	慶應義塾大学藤原記念工学部
Publication year	1948
Jtitle	慶應義塾大学藤原記念工学部研究報告 (Proceedings of Faculty of Engineering, Keiogijuku University). Vol.1, No.2 (1948. 7) ,p.54(12)- 58(16)
JaLC DOI	
Abstract	<p>A simple and rapid method of Elasticity Measurement is described. The test piece is set on the metallic base, inserting the thin insulating material between them. The longitudinal vibration of the piece is caught by the crystal pick-up and is transformed into the electrical energy. The induced voltage in the pick-up is amplified and is applied between the piece and the base. Thus the piece continues to vibrate with its own natural frequency. The natural frequency of the piece is measured by the specially devised frequency meter.</p> <p>Among the density <math>p</math>, the Young's Modulus <math>E</math>, the length <math>l</math> and the natural frequency <math>f</math>, there exists the following relation, <math>E = 4l^2 f^2 p</math>. <math>E</math>, therefore, can be calculated by measuring the natural frequency <math>f</math>, so long as <math>l</math> and <math>p</math> are known. Indeed, this method can be called the energy feed back method and is specially fitted for the factory testing.</p>
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001004-00010002-0012">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001004-00010002-0012</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

ときの  $R_e = dv\rho/\mu = 0.11$  となつて Stokes の範囲内にあり、この結果の正しい事が確認される。

[例 2] 前と同じ鋼球で  $\rho_f = 1.19 \text{ g/cm}^3$ ,  $z = 56 \text{ cm}$ ,  $t = 10.3 \text{ sec}$ .  $\mu$  を求む。

Stokes の式によつて  $\mu = \frac{3\pi d}{m} \frac{t}{z} = 1.67 \text{ g/cm-s}$ ,  $v_\infty = \frac{z}{t} = 5.44 \text{ cm/s}$ , この時の  $R_e = 0.56$  之は Stokes の範囲を稍々超えているので厳密には正しくない。そこでこの範囲では稍々良い近似を與える Oseen の式を用いる。

(7) に於て括弧内第二項の評価をすればこの位の  $t$  に対しては 1 に比べて無視出来る。故に (7) は  $z = \frac{8d(\rho_s - \rho_f)}{27\rho_f} \left\{ \alpha t + \log\left(\frac{-\beta}{\alpha - \beta}\right) \right\}$  と書け、更に此の第二項も簡単な計算の後  $z$  に對し高々 0.1 程度の寄與があるだけで、之も誤差の範囲に入るので無視すれば

$$z = \frac{8}{3\rho_f d} \left( -\mu + \sqrt{\mu^2 + \frac{\rho_f d^3 (\rho_s - \rho_f)}{24} g} \right) t \quad \dots (8)$$

(8) に  $z = 56 \text{ cm}$ ,  $t = 10.3 \text{ sec}$ . を入れれば  $\mu = 1.49 \text{ g/cm-s}$  を得、之より求めた  $R_e = 0.68$  となる。Fig. 1. で了解される様に Stokes に依れば過大に Oseen によれば過小に  $\mu$  の値が求められる。眞の値はこの中間にあるのであつて、之を求めるには、上の二つの値と實驗曲線  $\Psi - R_e$  とから内挿法によつて眞の  $R_e$  を求め逆に  $\mu$  を決定すればよい。

IV. 結 語 以上二、三の数値を以て説明して來たのであるが、之を要するに

i) 落下球法によつて粘性係数を測定する場合には、静止から落下せしめるときは、 $t$  を大きくとれば  $z/t$  を以て終末速度と見做して差支えないという事が諒解され、従つて時間の計測は一回だけでよい事になる。

ii) Stokes の式の成立しない  $R_e > 0.3$  に対しては、落下球法を適用する事が出来なかつたのであるが、Oseen の式を利用することによつて、少しくこの範囲を擴張し  $R_e = 1$  位迄は應用する事が出来よう。(尙實驗式として  $F = 3\pi\mu d \cdot v + (21/40)\rho_f \pi d^2 \cdot v^2$  をとれば Oseen の式よりは更に良い近似を與える)

本報告に於ける解析は落下球法の基礎理論ともいふべきもので、粘性の測定のみならず、同方法を用いる際の豫備考察となるであろう。尙、圓筒容器の壁の影響は相當大きなものであるが、此處では一應考えないで置いてあり、 $R_e > 1$  の場合には論及していない。

終りに臨み、常に御指導を賜われる栖原教授、鬼頭教授、助言を寄せられた同僚諸兄、並びに實驗を行つてくれた山崎彌三郎君に厚く感謝の意を表するものである。

## 弾性係数の電氣的測定法

宗 宮 知 行\*

昭和 23 年 (1948) 2 月 29 日受理

Tomoyuki Sōmiya: Electrical Measurement of Modulus of Elasticity. A sim-

\* 慶應義塾大學教授、工博 Dr. Eng., Prof. of Keio University

pie and rapid method of Elasticity Measurement is described. The test piece is set on the metallic base, inserting the thin insulating material between them. The longitudinal vibration of the piece is caught by the crystal pick-up and is transformed into the electrical energy. The induced voltage in the pick-up is amplified and is applied between the piece and the base. Thus the piece continues to vibrate with its own natural frequency. The natural frequency of the piece is measured by the specially devised frequency meter.

Among the density  $\rho$ , the Young's Modulus  $E$ , the length  $l$  and the natural frequency  $f$ , there exists the following relation,  $E=4l^2f^2\rho$ .  $E$ , therefore, can be calculated by measuring the natural frequency  $f$ , so long as  $l$  and  $\rho$  are known. Indeed, this method can be called the energy feed back method and is specially fitted for the factory testing.

**I. 緒言** 本研究は電氣工學科の森爲可, 上木忠勇, 小柳博諸氏の熱心な協力の下に行つたものである。電機用炭素刷子の弾性係数が整流作用と密接な関係がある事が見出され, 刷子良否判別の一つの目安となつた。其結果弾性係数の簡易測定法が電刷子研究者の間で要望され, 其要望を充す一つの方法として考案されたものである。併し本方法は單に電機用刷子のみにならず金屬並に木材の如きものにも應用が出来る一般的方法である。炭素刷子の如く消耗品で, 個数の多量なものでは, 簡便な良否判別方法は單に最後の製品に就いてのみならず製造工程中の必要な部分に使用する時, 製品の均一性を高め得ると同時に, 歩止りの向上となり生産能率を上げる事に役立つと考える。

従來種々の測定法があり, 其利害得失等に関しては論議されている。<sup>\*</sup> 彎曲法による測定法にしても振動法による測定法にしても, 何れも相當の時間と, 試料加工其他で手数を必要とするが, 本方法は (1) 測定時間の短縮 (2) 操作の簡易 (3) 直讀式等の諸點に於て其特徴が發揮されて居る關係上, 工場等の實用試験に適するものとする。

**II. 測定原理並に方法** Fig. 1. に測定装置を示す。操作としては試料を金屬臺の上に,

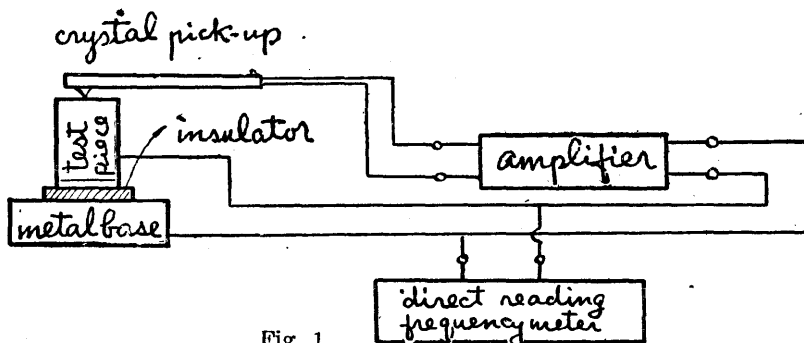
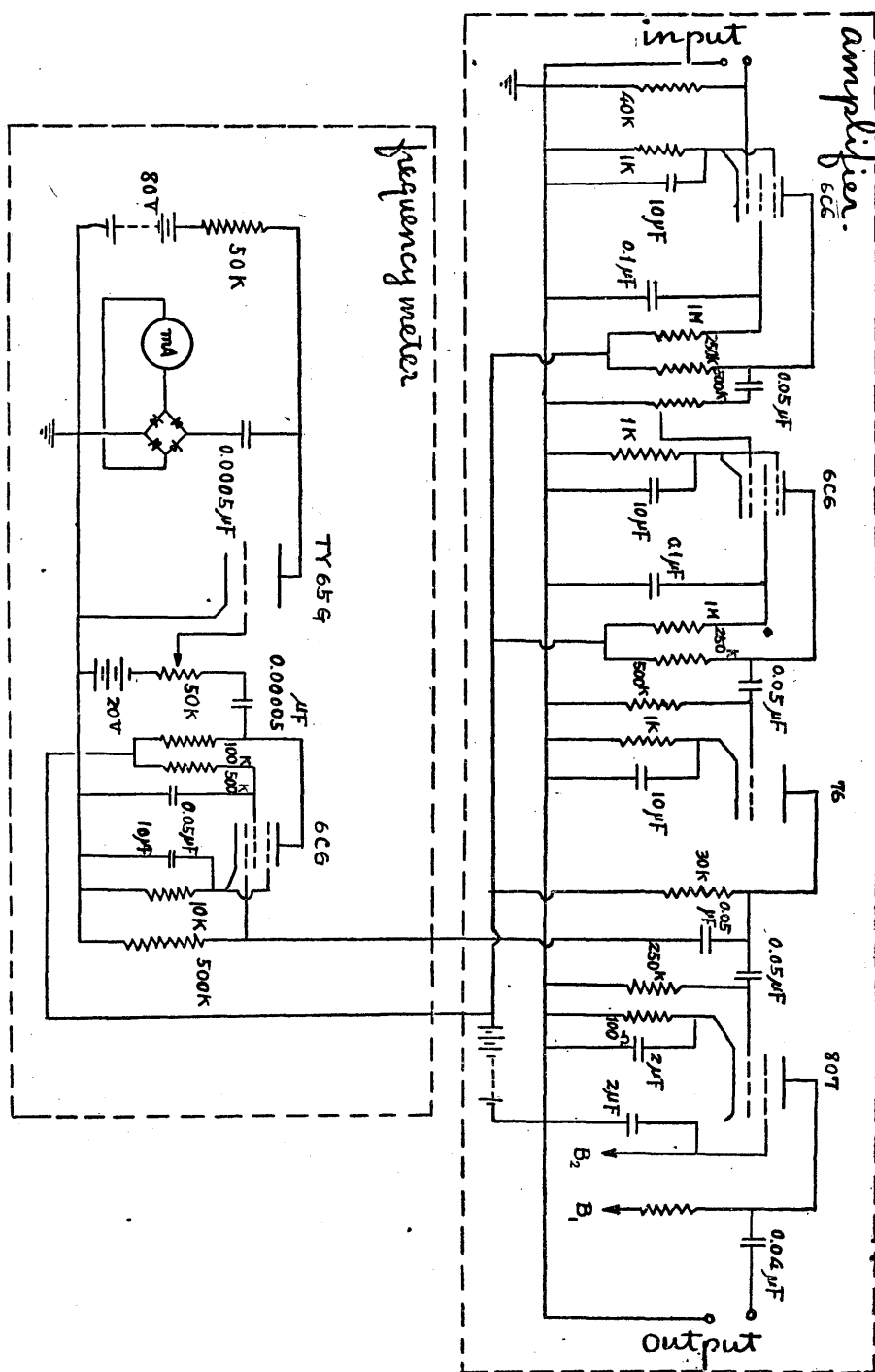


Fig. 1.

試料の上にクリスタルピックアップを軽く載せるだけである。試料が振動すると, 其縦振動はピックアップで電壓に變換される。此電壓は  $mV$  程度の大さであるから増幅器で増幅し數百ボルトの電壓として試料と金屬臺との間に加えるのである。これが爲試料と金屬

\* 電機用刷子の研究 (II), p. 10. 日本學術振興會發行



臺との間には雲母薄片の如き絶縁物を置く必要がある。此印加電壓によつて試料と金屬臺との間に靜的電氣機械力が働き試料に縦振動を起こさせる。此場合試料は其自身の固有振動で振動する。此方法は機械的振動を電氣的振動に變じ、電氣的振動を再び機械的振動に變換する勢力返還法である。

固有振動數は、増幅器出力回路に挿入してある直讀周波數計によつて示される。直讀周波數計は次節に記述する。試料を金屬臺に載せると、其の軽い衝撃により試料は暫時にして固有振動數で振動を開始し、其振動は持續される。其振動數は直ちに直讀周波數計で示される。

$\rho$  を密度 ( $\text{gr/cm}^3$ ),  $l$  を試料の長さ ( $\text{cm}$ ),  $f$  を固有振動數 ( $\text{cycle/sec}$ ),  $E$  を弾性係數 ( $\text{dyne/cm}^2$ ) とする時

$$E = 4l^2 f^2 \rho / \left( 1 - \frac{\pi^2 \sigma^2 k^2}{2l^2} \right)^2$$

茲に  $\sigma$  はポアッソン比,  $k$  は断面の回轉半徑である\*。上式は多くの場合

$$E = 4l^2 f^2 \rho$$

として一次的に差支ない。此式に於て,  $l$ ,  $\rho$ , が已知の時は、周波數を測定する事により弾性係數を求める事が出来る。

III. 増幅器と周波數計 Fig. 2. に増幅器と直讀周波數計の結線圖を示す。眞空管は 6c6 2 本 76, 807 各々 1 本を使用す。周波數特性を良好にする爲全部抵抗結合を用い、最初 3 本の眞空管の陽極電壓は 200 V の蓄電池を使用した。其理由は整流電源を使用すると、その脈動が漸次増幅され周波數計指針の動搖を來たすと同時に其脈動が試料の振動による電壓に重疊して振動が多少不安定になる爲である。併し其後の實驗結果によ

れば、整流電源を使用しても實用試験に差支無い事が判明した。使用せる周波數計の原理は最初の眞空管 6c6 で増幅すると同時に矩形波に變じ、結合回路に於て微分回路を使用して、衝撃波と爲しサイラトロン TY 65 G の格子に加える。TY 65 G 陽極回路の時定數は  $C$  の電荷が常に一定になると同時に TY 65 G が格子印加衝撃波と同一回數の放電を行う様に擇ぶ。TY 65 G の放電電流は周波數計としている電流計を通じて流れるから、其指示は周波數に比例する事となる。此電流計を可變周波數發振器で豫め較正して、周波數を目盛れば周波數計として使用

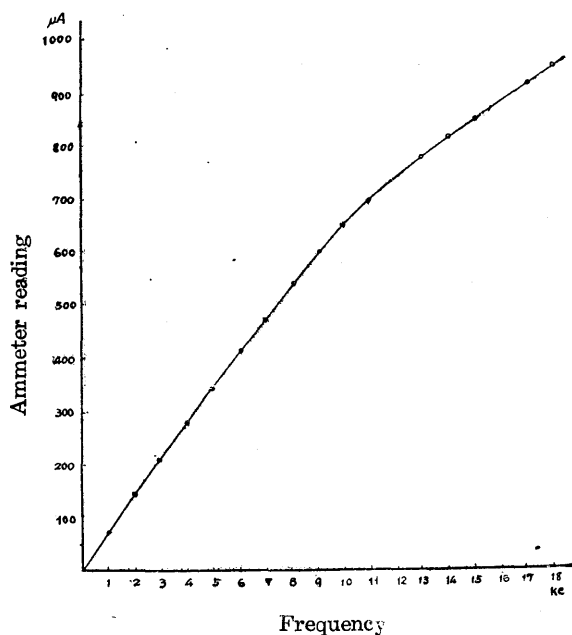


Fig. 3. Frequency calibration curve.

\* G. Grime: Phil. Mag. (Aug. 1935) 805.

出来る。第 3 圖に較正曲線の 1 例を示す。

縦軸は電流値、横軸は周波数を示す。

IV. 實驗の結果 (1) 最初に豫備實驗として直径 6 種の炭素電極棒を採り、其長さ  $l$  を種々變化せしめて固有振動數  $f$  を測定した。計算式によれば  $l \times f$  は一定である筈である。

Table 1.

$l$ (mm)	$f$ (cycle)	$l \times f$
370	2770	$103.5 \times 10^4$
340	3000	102.0
310	3300	102.3
280	3500	98.0
250	4100	102.5
220	4800	105.6

(2) 手許にあつた種々の金屬並に電機用刷子の彈性係數を測定した結果、金屬の場合は物理常數表中の數値、刷子の場合は學振刷子委員會で測定せるものと大體同一結果を得た。

從つて此等數値の羅列をやめて、實驗結果を周波數關係に於いて比較する事にした。

其結果を第 2 表に示す。表中計算とある

のは彈性係數の値を物理常數表等の中から取り、試料が其等の彈性係數値を有しているとして試料寸法から固有振動數を計算した値である。

Table 2.

Sample	length (mm)	Natural frequency (kc)	
		Measured	calculated
Copper	$\phi$ 20, $l=106$	16.1	17.3
Copper	$\phi$ 10, $l=88.5$	21.7	20.8
Aluminium	$\phi$ 20, $l=124$	21.0	21.6
Steel	$\phi$ 25, $l=100$	26.0	25.0
Brass	$\phi$ 50, $l=200$	8.95	8.85
NCC. 258	$20 \times 30 \times 100$	10.6	11.8
S.A. 35	$20 \times 30 \times 100$	10.4	10.3
§ 602	$34 \times 120 \times 120$	10.2	9.8

(3) 木材等を測定する場合は試料底面を導電的とする。例えば膠狀黑鉛を塗布する等である。木材は乾燥度、方向により測定値を異にすると考えられるが、一應次の様な測定結果を得た。此等の數値は單に目安を示すものである。木材の測定は第 2 回卒業生江崎重信、江口鈺三郎兩君の行つたものである。

Table 3.

Wood	$E$ (dyne/cm <sup>2</sup> )
Buna	$1.53 \times 10^{11}$
Onikaba	$1.74 \times 10^{11}$
Akaezo	$1.16 \times 10^{11}$
Kuroezo	$0.78 \times 10^{11}$