



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	弾性砥石による表面仕上げに関する研究（第5報）：PVA砥石の内部構造と機械的性質
Author(s)	五十嵐， 悟； 斎藤， 勝政
Citation	北海道大學工學部研究報告， 75， 23-34
Issue Date	1975-07-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41282
Type	departmental bulletin paper
File Information	75_23-34.pdf



弾性砥石による表面仕上げに関する研究 (第5報)

—— PVA 砥石の内部構造と機械的性質 ——

五十嵐 悟* 斎藤 勝政**

(昭和49年9月30日受理)

Study on Surface-finishing with an Elastic Wheel (V)

— The Mechanical Structure and Properties of a PVA Grinding Wheel —

Satoru IGARASHI Katsumasa SAITO

(Received September 30, 1974)

Abstract

The PVA grinding wheel (a kind of elastic grinding wheel) is quite different in its mechanical structure and properties from the usual vitrified grinding wheel. The difference arises from the fact that PVA sponge is used as bond material in the former.

The PVA grinding wheel is generally used for fine grinding to obtain a mirror surface finish. Especially it shows a superior performance in the surface-finishing of soft metals.

To clarify the mechanism of surface-finishing with the PVA grinding wheel, it is necessary to know the mechanical structure and properties of the PVA grinding wheel.

In this paper, the mechanical structure of the PVA grinding wheel was observed under an optical microscope, and the dynamic properties of the wheel were measured in a frequency range of 100 Hz to 1.5 kHz by using the Resonance Method and the Phase difference Method.

The conclusions were shown as follows:

(1) When the size of grains was smaller than that of the pores, the grains appeared to be finely dispersed in the PVA sponge bond. When the size of grains was comparable to the pore size, each grain appeared to be supported independently with the PVA bond posts.

(2) With the increase of frequency, dynamic Young's modulus of the PVA grinding wheel increased and dynamic viscosity decreased.

(3) With the increase of density of the structure, both dynamic Young's modulus and dynamic viscosity increased.

(4) With the increase of hardness or grade likewise dynamic Young's modulus increased.

1. 緒 言

研削砥石による表面仕上げ機構を明らかにするために、砥石作業面上の一個の砥粒切れ刃の切削作用に着目した、いわゆる、単粒切削の研究が数多く行なわれてきている。しかし、高分子材料を結合剤とする弾性砥石 (PVA 砥石) に関するこの方面の研究¹⁾はほとんど行なわれておらず、表面仕上げ機構については、砥石の変形を考慮した定性的な説明²⁾が行なわれているにすぎない。PVA 砥石は PVA 発泡体を結合剤として用いているので、従来の研削砥石とは、構造と

* 精密工学科 精密機器学第二講座

** 精密加工学第一講座

機械的性質が異なっている。そのため、PVA 砥石の内部構造と結合剤による砥粒の保持構造が不明であり、また、PVA 砥石は力学的に粘弾性体として挙動するので、砥粒切れ刃の挙動解析が困難であることが、上述のように、この方面の研究が行なわれていないことに対する理由であると考えられる。

そこで、本研究では、PVA 砥石の内部構造を観察して、結合剤による砥粒の保持構造を検討し、さらに、PVA 砥石の機械的性質として動的粘性率と弾性率を測定した。後者については、弾性砥石に関するこの分野の研究が全く行なわれていないので、数多くの測定法の中から、適当と思われる二種の方法を選んで測定を行なった。得られた結果を、前報³⁾で述べた PVA 発泡体の場合と比較し、さらに、砥石の粒度、結合度、および、組織の影響を吟味した。

2. PVA 砥石について

PVA 砥石は、PVA 発泡体（ポリビニール・フォルマール樹脂の発泡体）を結合剤とする、一種の弾性砥石である。したがって、この砥石の内部構造、機械的性質は、従来の研削砥石（ビトリファイド砥石など）とは異なっている。また、砥石の製造過程における組織、結合度の調整法も、従来の砥石の場合とは違って、次のようにして行なわれる。

組織の調整：砥粒の粒度によって、結合剤に対する砥粒の配合割合（重量比）は異なり（粒度番号が大きく砥粒が細かい程、この比は小さい）、表 2-1 に示したように、粒度によって気孔の大きさが変化するといわれている⁴⁾。同じ粒度と同じ結合度をもつ砥石の場合には、成形時の圧縮量の多少によって組織の調整が行なわれる。すなわち、圧縮量が多い程、砥石の組織は密となる。

結合度の調整：結合剤の結合力は、砥粒と結合剤との接着強度、結合剤の機械的性質、および砥粒と結合剤の配合割合によって変化する。PVA 砥石の場合、同一粒度、同一組織の砥石に対して、成形後に気孔内壁にフェノール系樹脂を処理剤として施し、その濃度の高低、および、量の多少によって結合度の調整が行なわれる。処理剤の濃度が高い程、あるいは、量が多い程、結

表 2-1 PVA 砥石の粒度と気孔の大きさの関係

粒 度	砥粒の平均粒径 (mm) (*ふるい目の大きさ)	気孔の大きさ (mm)
60	0.30*	0.6 ~ 0.5
120	0.13*	0.4 ~ 0.3
220	0.075*	0.3 ~ 0.2
320	0.048	0.22 ~ 0.20
600	0.028	0.18 ~ 0.13

表 2-2 PVA 砥石の結合度記号の説明

結 合 度 呼 称	軟	中		硬		極 硬
結 合 度 記 号	S	5 M	7 M	10 M	13 M	15 M
使 用 粒 度	16# 以上	16~400#	16~220#	16~120#	16~80#	16~40#

表 2-3 PVA 砥石の組織記号の説明

組 織 呼 称	粗	中	密	極 密
組 織 記 号		1	2	3
砥 石 厚 さ	—	75 mm 以下	50 mm 以下	25 mm 以下

合度は大となる。

PVA 砥石の表示法は、ビトリファイド、あるいは、レジノイド砥石の表示法に関する JIS 規格に準じるが、組織と結合度については特殊な記号が用いられる。表示記号から形状と寸法に関する部分を除いた部分は、次のように表わされる。例えば、C 60 10 M₁ の場合、記号 (C) は砥粒の種類を、数字 (60) は粒度番号を示す。また、最後の記号 (10 M) は結合度を表わし、記号 (M) は処理剤を施したことを意味し（記号 (S) の場合は、処理剤を施さないことを示す）、数字 (10) は処理の程度を表わす。結合度記号の説明と、常用される粒度範囲とを表 2-2³⁾ に示す。結合度記号の右下に付けられた添字 (1) は組織を表わす。この数字は 0（表示しない）から 3 まであり、数が多い程、組織は密であることを意味する。PVA 砥石の組織記号の説明を表 2-3³⁾ に示す。

3. PVA 砥石の内部構造と砥粒の保持構造

PVA 砥石の内部構造は組織と粒度によって変化するから、これに対応して、結合剤による砥粒の保持構造も変化するはずである。そこで、粒度と組織の変化に対して、砥石の気孔の形や大きさがどのように変るかを調べ、さらに、これに対応して、砥粒の保持構造がどのように変るかを検討した。

3-1 観 察 方 法

PVA 砥石は、PVA 発泡体の場合とは異なり、内部に砥粒が存在するから、特に粒度の大きい場合、前報²⁾で述べた方法によって、砥石の薄片試料を作成することは難かしい。そこで、粒度の大きい方から粒度に応じて、それぞれ、薄片、切断面、および、破断面（砥石に急激な曲げ変形を与えて破断した面）によって、内部構造を観察する方法をとった。観察に用いた装置は、前報²⁾で用いたものと同じである。

なお、PVA 砥石の結合度は、前章で述べたように、内部構造に直接影響を与えないと考えられるから、結合度記号は無視して、粒度と組織の異なる砥石を適当に選んで観察した。

3-2 観察結果と考察

まず、組織記号 1 の PVA 砥石によって、粒度の変化による内部構造の変化の模様を観察した。図 3-1～図 3-5 に示したように、粒度の小さい（すなわち、粒径の大きい）砥石程、気孔は大きくなっている。しかし、800[#]（図 3-1）と 220[#]（図 3-4）の砥石を比較した場合、後者の気孔の大きさは前者のその 2 倍までではなく、先の表 2-1 に示された程の大きな差はない。粒度の大きい 800[#] の砥石では、気孔の大きさに比較して砥粒の大きさが小さいため、発泡体構造がほとんどそのまま保たれ、PVA 結合剤架橋の中に、細かい砥粒が不規則に分散した状態になっている（図 3-1）。粒度の小さい 36[#] の砥石では、砥粒は気孔と同程度の大きさをもち、綱目構造をもつ PVA 発泡体によって保持された状態になっている（図 3-5）。これらの中間の粒度をもつ砥石では、粒度番号の低下に伴って、上述の構造が変化していく様子が観察される。400[#] の砥石では、砥粒の直径は気孔のその 1/5 程度であるが、気孔の壁の部分に存在する砥粒によって、気孔の形が不規則になっている（図 3-2）。さらに、320[#]、220[#] と粒度が低下すると、この傾向はさらに進行し、砥石内の砥粒の存在がはっきりと確認できるようになる（図 3-3、図 3-4）。しかし、いずれの場合にも、PVA 砥石の製造過程で、成形前に砥粒はポリビニル・アルコール水溶液と混合されるため、砥粒の表面は PVA 結合剤によってほぼ完全に包まれている。

以上の観察結果から、PVA 砥石の内部構造は、粒度の大小による砥粒の保持構造の違いによって、次の 3 つの型に分類できる。その 1 つは、粒度が 400[#] 程度以上の砥石の場合で、図 3-6 (a)

に模型的に示したように、砥粒は PVA 結合剤架橋の中に不規則に分散している。これを「I 型」と呼ぶ。粒度が 60# 程度以下の砥石の場合には、砥粒と気孔の大きさが同程度であって、図 3-6 (b) に模型的に示したように、砥粒は PVA 発泡体によって保持されており、これを「II 型」と呼ぶ。これらの中間の粒度をもつ砥石では、砥粒の保持構造も「I 型」と「II 型」の中間の状態にあり、これを「III 型」と呼ぶ。これらの構造から、砥粒切れ刃の挙動を考える場合には、

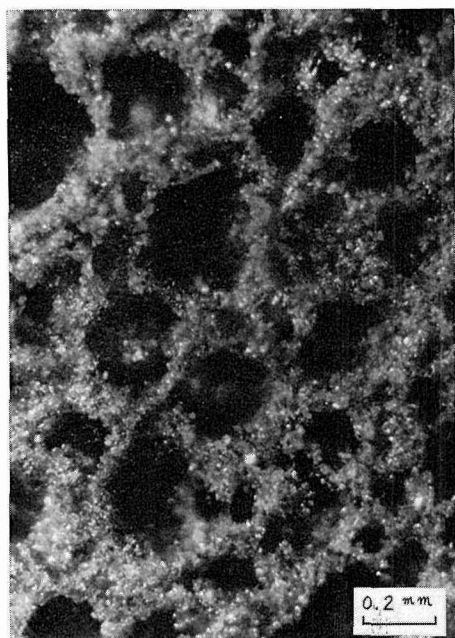


図 3-1 PVA 砥石の内部構造 (C 800 S₁)

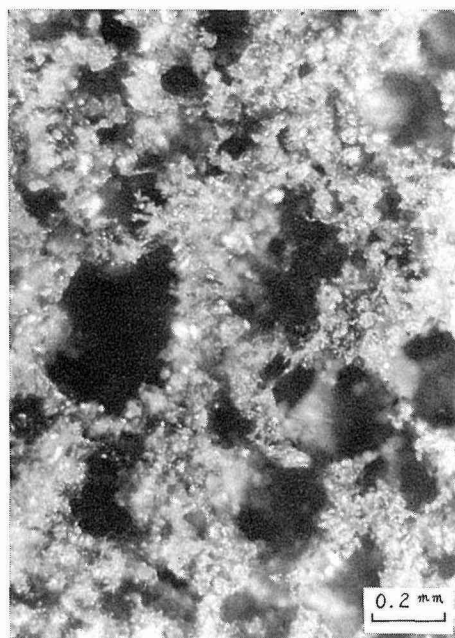


図 3-2 PVA 砥石の内部構造 (C 400 S₁)

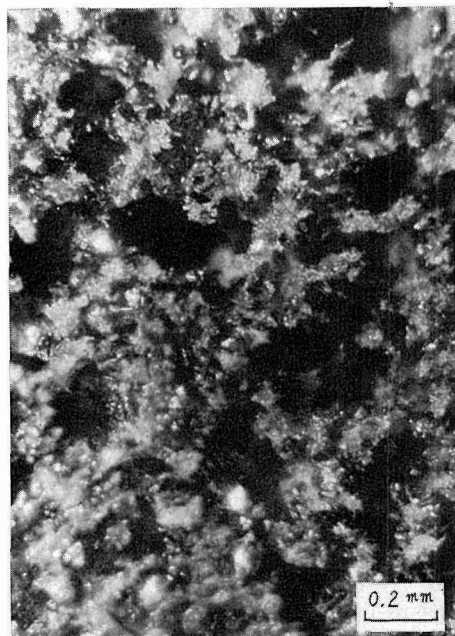


図 3-3 PVA 砥石の内部構造 (C 320 S₁)

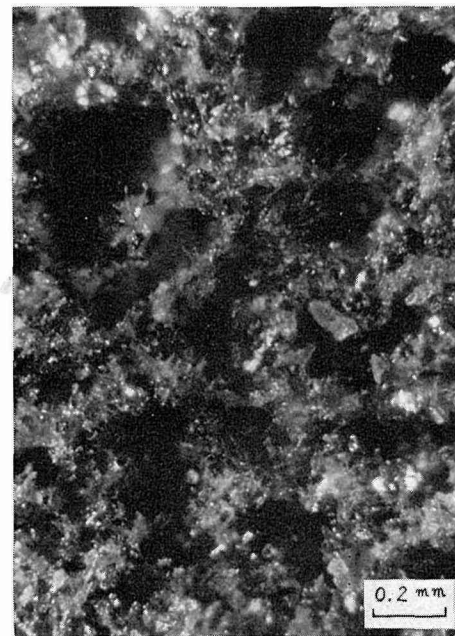
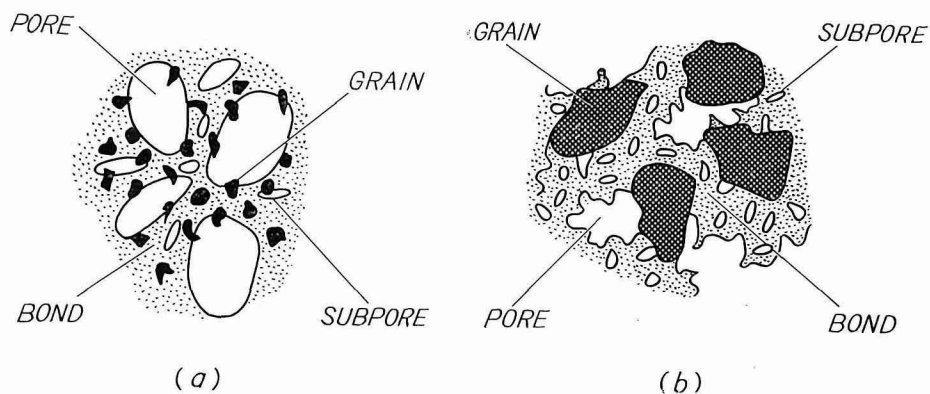


図 3-4 PVA 砥石の内部構造 (C 220 S₁)

図 3-5 PVA 砥石の内部構造 (C 36 S₁)

(a) (b)
 図 3-6 PVA 砥石の砥粒保持構造 (a) I 型, (b) II 型

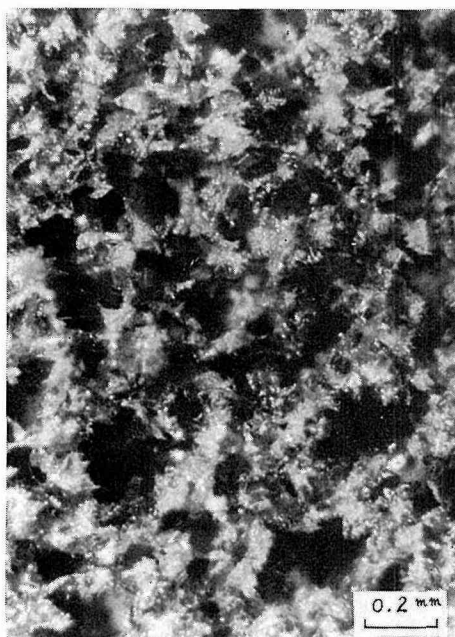
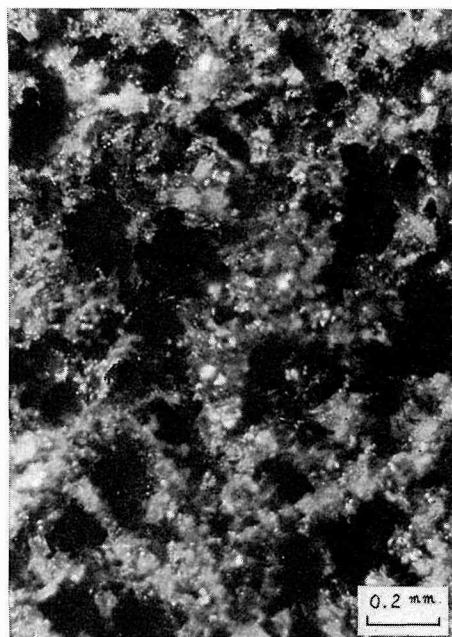


図 3-7 PVA 砥石の内部構造 (C 320 S)

図 3-8 PVA 砥石の内部構造 (C 320 S₃)

「I 型」では PVA 結合剤架橋の機械的性質を、「II 型」では PVA 発泡体の機械的性質を、また、「III 型」では両方の機械的性質をおもに考慮すべきであると考えられる。しかし、いずれの型の場合にも、砥粒は互いに接触し合う程密には分布していない。したがって、PVA 砥石の機械的性質は、基本的に、結合剤（PVA 発泡体）の機械的性質に支配されると思われる。

次に、組織の変化による PVA 砥石の内部構造の変化を検討する。図 3-7 と図 3-8 は、粒度が同じ 320 μ で、組織が異なる PVA 砥石の内部構造を示す顕微鏡写真である。組織の密な S₂（図 3-8）の場合は、成形時の圧縮量が多いため、S（図 3-7）に比べて気孔はやや小さく、砥粒の分布密度は高くなっている。すなわち、組織の密な砥石は、砥粒率と結合剤率がともに高くなっていると解釈でき、砥石の機械的性質に対しては、砥石を硬くする効果をもつと推定される。組織の密な砥石の場合にも、砥粒は互いに接触し合う程密には分布していない。

なお、PVA 砥石の結合度は、前述のように、砥石の内部構造には変化を与えないはずであり、観察によってもそれらの差異は認められなかった。

4. PVA 砥石の機械的性質

すでに述べたように、PVA 砥石は PVA 発泡体を結合剤とするので、力学的に粘弾性体として挙動する。そこで、PVA 砥石の機械的性質を表現するために、その動的粘性率と動的弾性率を測定した。測定はできるだけ広いタイムスケールにわたって行なわれることが望ましいが、1つの測定法では、せいぜい2～3デカード程度の周波数範囲に限定される⁶⁾（図 4-1）。PVA 砥石の場合、その使用条件から考えて、可聴周波数、さらに限定すれば、数百 Hz の周波数領域の測定値が重要である。この点を考慮して、本研究では、図 4-1 に示した測定法の中から、付加質量強制振動共振法に属する加速度共振法と、付加質量強制振動非共振法の1つである位相差法とを用いて測定を行なった。

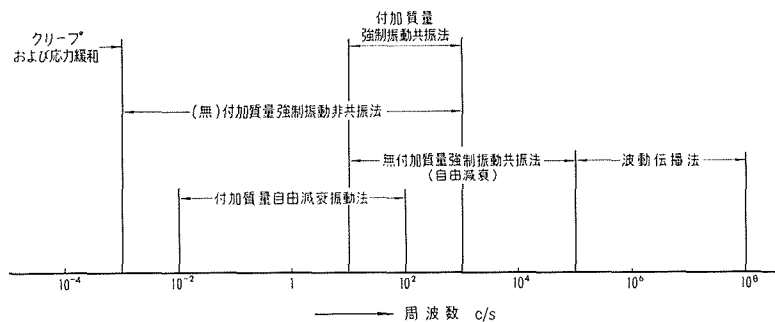


図 4-1 粘弾性測定法と可用周波数の関係

4-1 測定原理と実験方法

A. 加速度共振法

A-1 測定原理 試料に付加質量を取り付け、付加質量に力 ($F = F_0 e^{i\omega t}$) を作用させたときの、この系の運動を解析すれば、試料の粘性率と弾性率を求めることができる。しかし、試料に力を作用させるには、適当な加振器が必要である。いま、加振器の特性が、3つの定数（質量 m 、減衰係数 c_1 、ばね定数 k_1 ）によって表現できると仮定すれば、試料を加振器に取り付けた振動系は、図 4-2 のように表わすことができる。この系の運動方程式は、次式で与えられる。

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega_0^2 x = P_0 e^{i\omega t} \quad (4-1)$$

ここで、 $2n = \eta'/mq + c_1/m$ 、 $\omega_0^2 = E'/mq + k_1/m$ 、 $P_0 = F_0/m$ であり、 q は試料の形状係数（= 試料

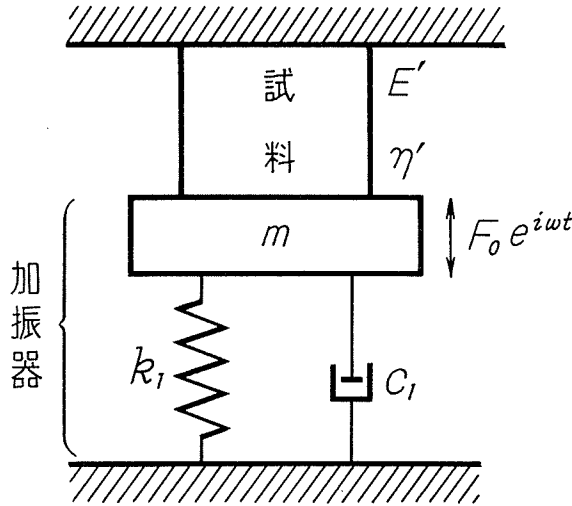


図 4-2 付加質量をもつ振動系 (I)

の厚さ/試料の断面積)である。また、 η' 、 E' は、それぞれ、試料の動的粘性率、および、弾性率であり、 m 、 c_1 、 k_1 は加振器の特性を表わす前述の定数である。したがって、 m 、 c_1 、 k_1 、および、 q が既知であれば、 η' 、 E' を求めることは、 n および、 ω_0 を求めることと等価である。式(4-1)の定常解から加速度を求めると、

$$\ddot{x} = A \exp i(\omega t + \pi - \varphi), \quad A = \omega^2 P_0 / \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4n^2 \omega^2}, \quad \varphi = \tan^{-1} \{2n\omega / (\omega_0^2 - \omega^2)\}$$

を得る。共振周波数(ω_r)と共振加速度振幅(A_m)は、 $\partial A / \partial \omega = 0$ の条件から、次式のように求められる。

$$\omega_r^2 = \frac{\omega_0^4}{\omega_0^2 - 2n^2}, \quad A_m = \frac{\omega_0^3 P_0}{2n \sqrt{\omega_0^2 - n^2}} \quad (4-2)$$

すなわち、共振周波数(ω_r)と共振振幅(A_m)を測定すれば、式(4-2)から ω_0 、 n が求められ、周波数(ω_r)における試料の動的粘性率と弾性率が計算できる。

あるいは、式(4-2)を ω_0 、 n に関して解くかわりに共振曲線を解析して、近似的に η' 、 E' を求めることもできる。いま、力の振幅を一定として、共振点付近で周波数を変化させ、加速度振幅を測定して共振曲線を得たとする。振幅が共振振幅(A_m)の $1/\sqrt{\alpha}$ となる周波数を ω_1 、 ω_2 (ただし、 $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ とする)とおけば、 ω_1 と ω_2 は次式を満足する。

$$\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{\omega_1^2 \omega_2^2} = \frac{2\sqrt{(\alpha-1)(\omega_0^4 - \omega_0^2)}}{\omega_0^2 \omega_0^2} \quad (4-3)$$

ここで、 $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ が ω_r に比べて十分小さくなるような α を選べば、式(4-3)の左辺は、 $(\omega_2^2 - \omega_1^2) / \omega_1^2 \omega_2^2 = 2\Delta\omega / \omega_r^2$ で近似でき、 ω_0 と n について次の簡単な近似式を得る。

$$\omega_0^2 = \omega_r^2, \quad 2n = \Delta\omega / \sqrt{\alpha - 1} \quad (4-4)$$

以上から、共振振動数(ω_r)と $\Delta\omega$ を測定して、試料の動的粘性率と弾性率を求めることができる。このようにして求めた値は、1つの共振周波数に対応する値である。共振周波数を変化させるには、付加質量の大きさを変える方法と、試料の形状係数を変える方法とがある。共振現象を利用したこの方法によれば、簡単な近似計算を行なって試料の動的粘性率と弾性率を求めることができる。ただし、この方法には、共振点近傍の周波数領域で試料の粘性率と弾性率が急激に変化しないという大きな仮定が含まれている。

A-2 実験方法 実験装置の原理図を図4-3に示す。実験は次の手順で行なわれる。まず、発振器 (BRÜEL & KJÆR 社製 Automatic Vibration Exciter Control Type 1016, 5~10,000 Hz 発振可能) からの出力を増幅して、加振器の磁場内に置かれた可動コイルに電流を流す。コイルはこの電流に比例した電磁的力を受け、コイルと一体となった Al 合金製の可動円筒 (これが付加質量となる) が振動して、試料に周期的な引張り圧縮力が加えられる。試料の一端はこの可動円筒に接着剤で強力に接着されており、他端は支持台に固定されている。可動円筒の振動は、加速度型の検出器 (BRÜEL & KJÆR 社製 Accelerometer Sets Type 4308) で検出され、増幅された後、シンクロスコープ (岩崎通信機製 SS-5302) で観測される。発振周波数を変化させ、周波数に対して加速度振幅をプロットすれば、1つの共振曲線が得られる。この曲線を先に述べた方法で解析し、共振周波数に対応する試料の動的粘性率と弾性率を求める。試料の形状係数を変えて同様の実験を行ない、粘性率と弾性率の周波数特性を知ることができる。

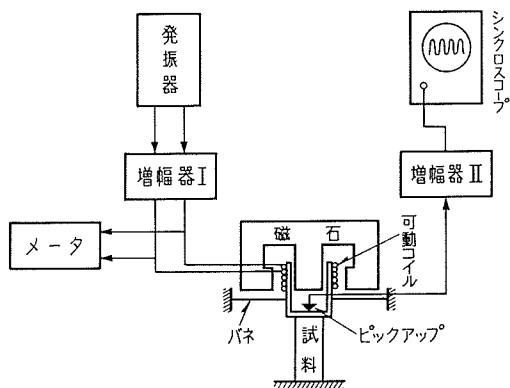


図4-3 加速度共振法による測定装置の原理図

加振器自体の特性を調べるには、試料を取りはずした状態で、加振器の自由振動を解析すればよい。自由振動から求めた周期 (T_d) は、 $T_d = 7.50 \times 10^{-2} \text{s}$ ($\omega_d = 83.8 \text{ rad/s}$)、対数減衰率 (δ) は、 $\delta = 1.21$ であった。また、検出器を含めた可動円筒の質量 (m) は、 $m = 1.21 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{mm}$ であった。以上から、 $c_1 = 3.88 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{s}/\text{mm}$ 、 $k_1 = 8.75 \times 10^{-2} \text{ kg}/\text{mm}$ を得た。試料の動的粘性率、および弾性率の計算にはこれらの値を使用した。

B. 位相差法

B-1 測定原理 この方法は、試料の一端を自由端とした図4-4に示す振動系において、 x_1 と x_2 の間の位相差と振幅比から、試料の粘性率と弾性率を求める方法である。いま $c_2 = \eta'/q$ 、 $k_2 = E'/q$ とすれば、この系の運動方程式は次式で与えられる。

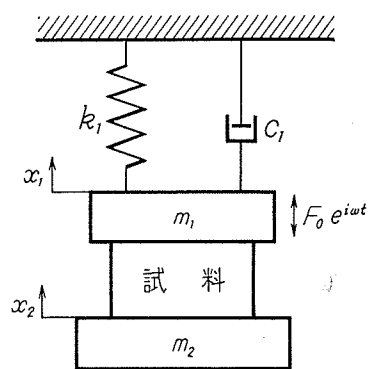


図4-4 付加質量をもつ振動系 (II)

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2) x_1 - k_2 x_2 = F_0 e^{i\omega t} \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_2 - c_2 \dot{x}_1 + k_2 x_2 - k_2 x_1 = 0 \end{cases} \quad (4-5)$$

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2) x_1 - k_2 x_2 = F_0 e^{i\omega t} \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_2 - c_2 \dot{x}_1 + k_2 x_2 - k_2 x_1 = 0 \end{cases} \quad (4-6)$$

この方程式の定常解は、 $x_1 = Q_1 \exp i(\omega t - \varphi_1)$ 、 $x_2 = Q_2 \exp i(\omega t - \varphi_2)$ で表わされる。

振幅比 ($Q = |Q_2/Q_1|$)、および、位相差 ($\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1|$) は、簡単な計算によって次式のように求められる。

$$Q = \frac{\sqrt{k_2^2 + (c_2 \omega)^2}}{\sqrt{(k_2 - m_2 \omega^2)^2 + (c_2 \omega)^2}} \quad (4-7)$$

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{c_2 m_2 \omega^3}{k_2^2 + (c_2 \omega)^2} Q \quad (4-8)$$

x_1 と x_2 を直交2軸にとり、リサージュ図形を描かせると、楕円が得られる。この図形から振幅

比 (Q) と位相差 (φ) を測定すれば、式 (4-7)、(4-8) を使って、試料の粘性率と弾性率を求めることができる。式 (4-7)、(4-8) の関係は、速度 ($\dot{x}_1, \dot{x}_2$)、あるいは、加速度 ($\ddot{x}_1, \ddot{x}_2$) についても成り立つ。

この方法によれば、原理的には、一個の試料を用いて、すべての周波数領域のデータが得られるはずである。しかし、共振点以上の高い周波数領域では、試料の分布質量の効果が無視できなくなる。また、試料の粘性率が小さくて位相差のほとんどないような場合には、位相差を 0 とおいて弾性率を近似計算することができる。しかし、この場合のリサージュ図形は面積の小さい楕円となり、この方法で粘性率の値を求めることは不適当となる。

B-2 実験方法 実験装置の原理図を図 4-5 に示す。加振器によって試料に引張り圧縮力を与える方法は、共振法の場合と同じである。ただし、この場合には、試料の一端を自由端とし、ここにいま 1 つの加速度型の検出器を取り付ける。試料両端間の加速度の振幅比と位相差を、先に述べた方法でリサージュ図形から求めれば試料の粘性率と弾性率が計算できる。

この場合、測定系のゲイン、位相特性は、次のような方法であらかじめ校正しておく。すなわち、試料を取りはずして、自由端に取り付けてあった検出器を他方の検出器と同じ位置に向い合せに取り付け、増幅器 II と III の出力の間の振幅比と位相差をリサージュ図形から求める。こうして、検出器 A と増幅器 II を組み合わせた場合の出力を基準として、検出器 B と増幅器 III を組み合わせた場合の出力の振幅と位相差の校正曲線が求められる。この校正値を用いて測定値を補正した上で、先に述べた計算を行なう。

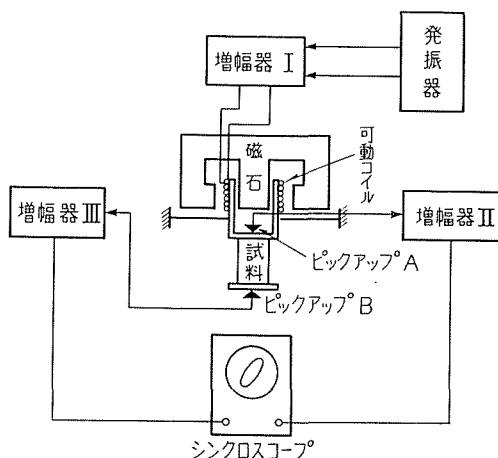


図 4-5 位相差法による測定装置の原理図

4-2. 実験条件

A. 試料 実験に使用した PVA 砥石の種類を表 4-1 に示した。測定試料は、これらの砥石から約 25 mmφ の円柱状の形に切り出し、厚さを適当に変えたものを用いた。試料を固定するには高分子接着剤を用いたが、接着層はできるだけ薄くし、また、接着が完全に行なわれるように、接着後、少なくとも 24 時間経過してから測定を行なった。

B. 測定周波数範囲 共振法に対して、約 100～1,500 Hz、位相差法に対して、約 50～2,000 Hz。

C. 測定温度その他 PVA 砥石の使用状況から考えて、測定温度は室温（約 20℃）とした。また、試料の振動による温度上昇の影響は、測定時間、および、振動数から考えて、無視できる程度と思われるので考慮していない。なお、湿度による影響も、特に考慮していない。

表 4-1 粘弾性測定に用いた PVA 砥石

組 織	結合度	S	5	M	7	M	15	M
1	C 60 S, C 320 S							
2			C 36	5 M ₁	C 36	7 M ₁	C 36	15 M ₁
3			C 36	5 M ₂			C 36	15 M ₂
	C 320 S ₃		C 36	5 M ₃	C 36	7 M ₃		

4-3 実験結果と考察

前述の方法で求めた PVA 砥石の動的粘性率と弾性率の内、共振法による結果を図 4-6 と図 4-7 に、位相差法による結果を図 4-8 に示した。共振法では、共振周波数を変えるために試料の厚さを変えたが、300~1,000 Hz の周波数範囲での、4, 5 点の周波数におけるデータしか得られなかった。位相差法では、適当な厚さの試料を用いて、50~2,000 Hz の周波数範囲でデータを求めることができた。しかし、PVA 砥石の粘性率が小さいため、リサージュ図形は面積の小さな細長い楕円となった。そこで、この方法の場合には、位相差を 0 とおいて、弾性率のみを近似計算によって求めた。

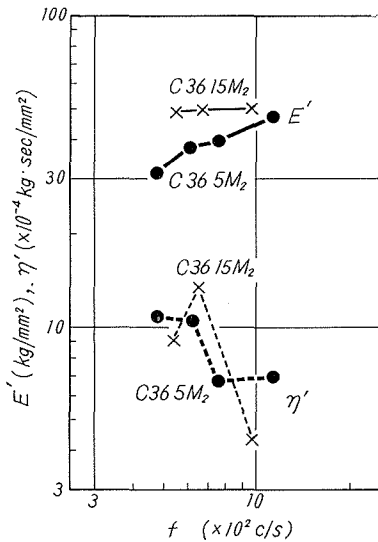


図 4-6 共振法による PVA 砥石の粘弾性測定結果 (I)

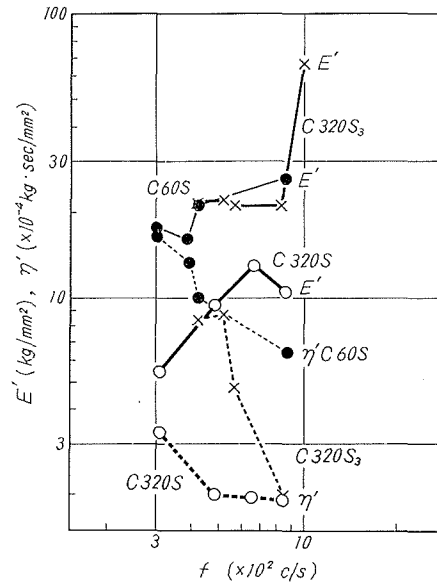


図 4-7 共振法による PVA 砥石の粘弾性測定結果 (II)

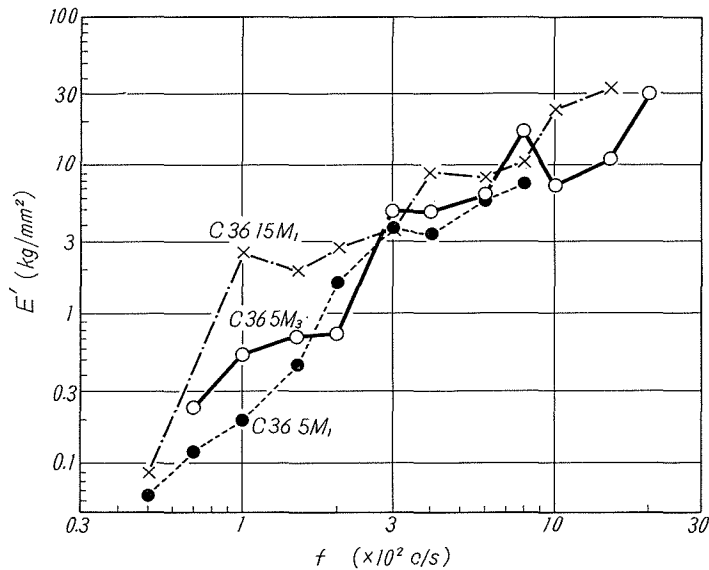


図 4-8 位相差法による PVA 砥石の粘弾性測定結果

図4-6～図4-8に示した結果から、周波数の増加に対して、PVA 砥石の動的弾性率は増加し、動的粘性率は逆に減少することが分った。この結果は、前報³⁾で PVA 発泡体試料に粘弾性四素模型を当てはめて求めた、PVA 発泡体の粘弾性特性に対応する。しかし、ここでの周波数範囲に対して、模型定数から求めた PVA 発泡体の動的粘性率と弾性率は、それぞれ、 $10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{s}/\text{mm}^2$ 、および、 $1 \text{ kg}/\text{mm}^2$ の程度の大きさであり、組織が密になると弾性率は低下していた。これに対して、PVA 砥石の場合には、発泡体と同じ結合度記号 (S) でも、その動的粘性率と弾性率は、それぞれ、 $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{s}/\text{mm}^2$ 、および、 $1 \sim 10 \text{ kg}/\text{mm}^2$ と、発泡体に比べて大きく、また、組織が密になると弾性率は増加している。これらの違いは、砥石の場合、発泡体に砥粒が混入して硬くなること、および、組織については、3-2で観察したように、組織が密になると砥粒率が高くなり、そのため砥石が硬くなることを考慮すれば理解できる。

測定結果には、上に一部触れた組織の影響のほか、結合度、および粒度の影響が認められる。それらを要約すれば次のようになる。

(1) 組織の影響：図4-7の C 320 S と C 320 S₃、および、図4-8の C 36 5 M₁ と C 36 5 M₃ を比較すると、弾性率は組織が密 (S₃、および、5 M₃) になると増加する。この傾向は、結合度の低い S 系の砥石の方が著しい。粘性率も弾性率と同じ傾向を示した。

(2) 結合度の影響：図4-6の C 36 5 M₂ と C 36 15 M₂、および、図4-8の C 36 5 M₁ と C 36 15 M₁ を比較すれば、結合度の大きい方 (15 M₂、15 M₁) が弾性率は大い。粘性率については、明らかな影響を認めることができなかった。

(3) 粒度の影響：図4-7の C 60 S と C 320 S とを比較して明らかなように、粒度の小さい方 (C 60) が粘性率、および、弾性率は共に大きい。

5. 結 言

PVA 砥石の内部構造を、結合剤による砥粒の保持構造に着目して観察し、組織と粒度が内部構造に及ぼす影響を検討した。また、PVA 砥石の動的粘性率と弾性率を測定し、組織、結合度および粒度の影響について調べた。それらの結果をまとめれば次のようになる。

1) PVA 砥石の気孔は、粒度が小さくなると、すなわち、粒径が大きくなると大きくなる。しかし、砥粒の粒径の増加に対して、気孔直径の増加の割合は小さい。

2) そのため、PVA 砥石の内部構造 (砥粒の保持構造) は粒度によって異なり、次の3つの型に分類することができる。「I 型」は粒度番号が 400[#] 程度以上の砥石の場合で、砥粒は PVA 結合剤架橋の中に不規則に分布している。「II 型」は粒度番号 60[#] 程度以下の砥石の場合で、砥粒は PVA 発泡体によって保持されている。「III 型」はこれらの中間の粒度の砥石の場合で、砥粒の保持構造も「I 型」と「II 型」の中間の状態にある。

3) PVA 砥石は、組織が密になるとその気孔がやや小さくなり、砥粒率が増加して、砥粒の分布密度が高くなる。

4) PVA 砥石の動的粘性率と弾性率は、およそ $100 \sim 1,500 \text{ Hz}$ の周波数範囲において、それぞれ $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{s}/\text{mm}^2$ 、および、 $1 \sim 10 \text{ kg}/\text{mm}^2$ で、周波数の増加に対して、粘性率は減少し、弾性率は増加する。

5) 上の結果は、PVA 発泡体の粘弾性特性に対応する。したがって、PVA 砥石の機械的性質は、PVA 発泡体の機械的性質に、砥粒が混入したことによる効果を考慮することによって理解できる。

6) PVA 砥石の動的粘性率、および、弾性率は、組織が密になると大きくなる。この傾向は、

結合度の低い砥石で著しい。

8) PVA 砥石の動的弾性率は、結合度が高くなると大きくなるが、粘性率への結合度の影響は明らかにできなかった。

8) PVA 砥石の動的粘性率と弾性率は粒度が小さくなると、すなわち粒径が大きくなると大きくなる。

謝 辞

本研究における実験の一部は、伊藤誠氏（当時北大工学部学生，現在ソニー KK 勤務）の御協力によるものである。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 斎藤勝政，五十嵐 悟：北大工学部研究報告，41 (1966)，37.
- 2) 井上 睦：日本機械学会誌，57 (1954)，131.
- 3) 五十嵐 悟，斎藤勝政：北大工学部研究報告，70 (1974)，25.
- 4) 切削加工技術便覧編集委員会編：切削加工技術便覧，日刊工業新聞社 (1962)，629.
- 5) 日本特殊研砥 KK：PVA 砥石 (カタログ)
- 6) 河合弘迪：高分子の物性 I，共立出版 (1959)，74.