

非定常熱流による熱伝導率の測定

村川 勝 弥*・日 高 正 夫**

On the Measurement of Thermal Conductivity by the Unsteady Heat Flow

Katsuhisa MURAKAWA and Masao HITAKA

Abstract

Rapid measurement of thermal conductivity of unknown material of which all thermophysical properties are unknown and dimensions are given, is accomplished, applying unsteady heat conduction. In this paper, the thermal conductivity λ [kcal/mh $^{\circ}$ C] is calculated by the following equation,

$$\lambda = \frac{Qr_0}{2 \cdot \Delta\theta} \log e \frac{t_2}{t_1}$$

where, Q stands for the heat supplied, r_0 for the inside radius of the material tested and $\Delta\theta$ for the difference between the temperatures, at the point of M shown in Fig.1, measured at the test times of t_2 and t_1 .

By this method, λ is found rapidly and simply.

1. は し が き

近時各種工業用材料の熱伝導率の測定が工業界で必要となり、再び実験^{1)~18)}が活潑化して来た。最近アメリカの Purdue University に Thermophysical Properties Research Center が設立され、活潑な研究を開始している現状¹⁹⁾である。著者も熱物定数が全部未知の材料で、しかも寸法が指定された材料についての測定が必要となつたので、次に述べるように従来の方法に比べて簡単に早く結果のえられる方法を考えた。

2. 測 定 原 理

物体内の半径 r_0 の穴がある場合の表面温度 θ_w [$^{\circ}$ C] と供給熱量 Q [kcal/m 2 h] との関係式²⁰⁾は

$$\theta_w - \theta_0 = \frac{Qr_0}{2\lambda} (\log e 4 T - b) \dots \dots \dots (1)$$

ここで θ_0 = 初温, λ = 熱伝導率, $T = a \cdot t / r_0^2$, a = 温度伝導率, t = 時間, $b = 0.57722 \dots$

そこで時間 t_2 , t_1 のときの温度差を $\Delta\theta = (\theta_{w_2} - \theta_{w_1})$ とすれば

$$\Delta\theta = \frac{Qr_0}{2\lambda} \log e \frac{t_2}{t_1} \dots \dots \dots (2)$$

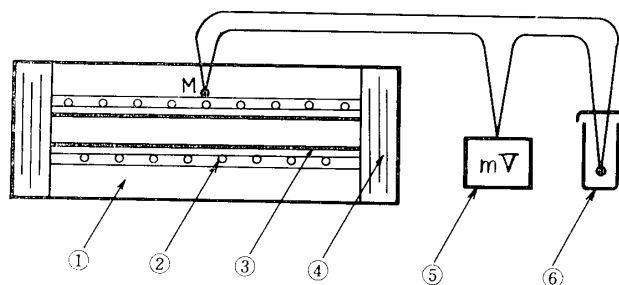
で示されるので Q [kcal/m 2 h] と時間 t_2 , t_1 のときの表面温度差 $\Delta\theta$ を実測すれば熱伝導率 λ [kcal/mh

$^{\circ}$ C] がえられる。

従来の方法に比べると、簡単に早く結果がえられる特長をもっている。

3. 実 験 装 置

Fig.1 は装置の略図であるが、④の保温アスベストの厚さを充分とり、熱が軸方向に逃げるのを防ぎ、半径方向のみの熱流になるようにした。⑤のミリボルトメーターは0.05mV まで目盛つてある懸垂型のものを使用した。銅—コンスタンタン熱電対はエナメル被覆された0.2mmの太さのものである。⑥は氷で0 $^{\circ}$ Cに保つた。



- ① Material tested (ETANIT—outside dia. = 110mm, inside dia. = 70mm, length = 100mm)
- ② Nichrome wire ③ Core pipe ④ Asbestos
- ⑤ Millivolt-meter ⑥ Cold junction

Fig.1 Illustrative drawing of the experimental apparatus.

* 機械工学教室

** 宇部工業高等専門学校

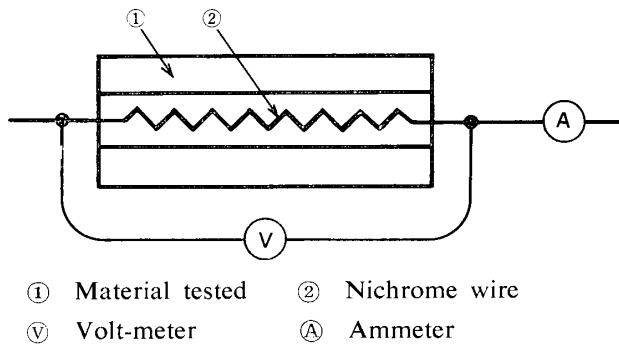


Fig.2 Illustrative drawing of the measuring method of heat.

Fig.2に熱量測定法の略図を示す。スライダックにより V , A を加減して供給熱量 Q や温度 θ を調整した。補正された銅-コンスタンタン熱電対を使用してFig. 1のMの温度を測定した。

4. 実験結果

実験結果を片対数グラフに示せば Fig. 3 から Fig. 7 の如くなり、(2)式を用いて計算した結果はFig. 8 のようになる。

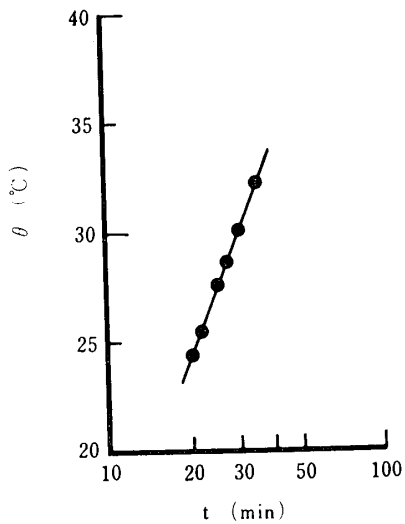


Fig.3 Relation between time and temperature

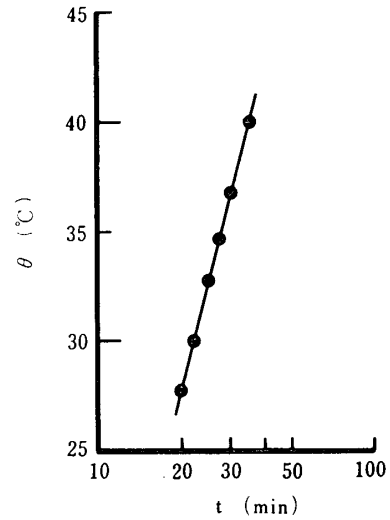


Fig.4 Relation between time and temperature.

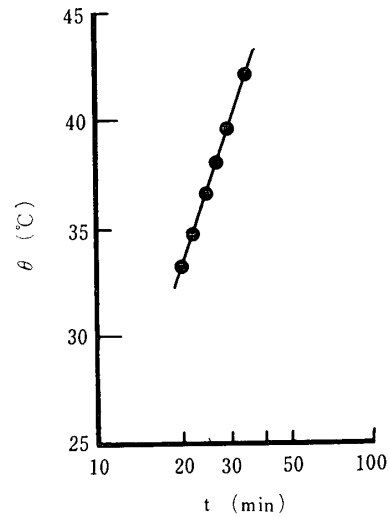


Fig.5 Relation between time and temperature.

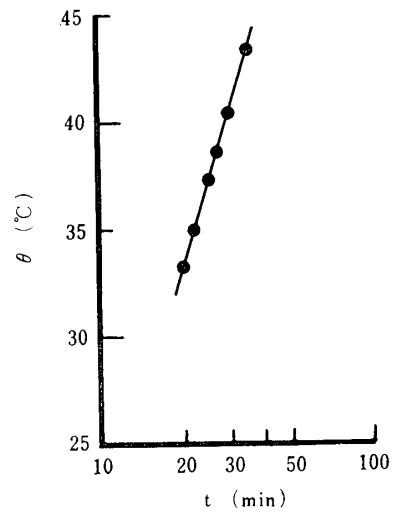


Fig.6 Relation between time and temperature

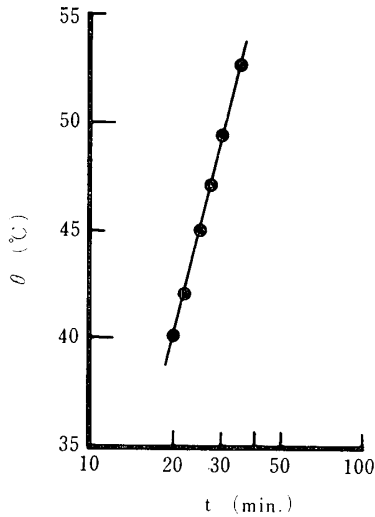


Fig. 7 Relation between time and temperature.

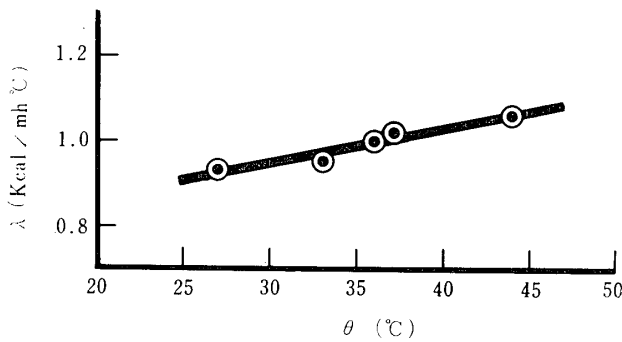


Fig. 8 Relation between temperature and thermal conductivity.

5. 考 察

従来の諸方法では比熱 C 、比重量 γ を与えてまず温度伝導率 a を求め間接的に熱伝導率 λ を決定するので時間がかかり、結果が出るまでに手数を要するが、このように非定常熱伝導を利用すれば全部の熱定数が未知の場合でも熱定数の測定が行えて、しかも簡単に迅速に結果がえられるので極めて便利である。本実験においては試料の寸法が指定されたので測定原理を見つけるのに苦労した。

熱源の太さと長さ、測定時間、試料の大きさ¹⁾ などについても検討したが、この試料については上述の方法でほぼ適当と考えられる。試料の種類、熱源の太さ、空隙または接触熱抵抗の有無などに関係なく成立する熱源温度¹⁾ の一般式は

$$\theta = A \log t + B + \frac{1}{t} (C \log t + D) \dots \dots \dots (3)$$

$$A = \frac{q}{4\pi\lambda}, q \text{ [kcal/mh]}$$

で示される。(3)式に実測温度曲線を当てはめて、係数

A を求めれば熱伝導率 λ が求まるが、先づ最小二乗法によつて A, B, C, D の係数を決定したり、四元連立方程式を解いたり、また計算ならびに(3)式の誘導はベッセル関数、ラプラス変換、ジョルダンの定理を使い¹⁾、特に複雑を極めている。しかし、Fig. 3 を見れば時間の経過と共に温度変化におよぼす $1/t$ の項の影響は漸減して次第に直線上に近づき、温度差を取れば結果的には(1)式と同じ形になつて来る。

電気設備の関係で Fig. 8 のように測定範囲は 25°C から 45°C の 20°C の範囲であつたが、この範囲内では熱伝導率 λ は温度の一次式で示されようである。

また(1)式は(4)式の如く表わされる。

$$\log_{10} a = \frac{6.33\lambda l(\theta_w - \theta_o)}{VI} - \log_{10} \frac{4t}{r_o^2} + 0.253 \dots (4)$$

ここで l は試料の軸方向の長さで V はボルト、 I はアンペアである。

そこで、求めた λ の値を使つて温度伝導率 $a (= \lambda / C \cdot \gamma)$ を計算した結果は $0.04 \text{ [m}^2/\text{h]}$ でこの 20°C の温度範囲内では殆んど変化はないようであつた。

今後の測定には $X-Y$ レコーダーと超精密型計器類の組合せによつて更に精度を高めることが望ましい。

参 考 文 献

- 1) 齊藤武、岡垣理：非定常熱流による熱伝導率の測定について、北海道大学工学部研究報告第14号 (1956)。
- 2) 川下研介外：非定常熱伝導による熱的物性値測定法 (第1報)、機械学会講演会前刷 (1965, 11)。
- 3) Jerome L. Novotny and Thomas F. Irvine, Jr.: Thermal Conductivity and Prandtl Number of Carbon Dioxide and Carbon-Dioxide Air Mixture at One Atmosphere, Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer, **83**, Series C, No. 2, 125 (May 1, 1961)
- 4) T. W. Watson and H. E. Robinson: Thermal Conductivity of Some Commercial Iron-Nickel Alloys, Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer, **83**, Series C, No. 4 (November, 1961).
- 5) Frederick G. Keyes and Robert R. Vines: The Thermal Conductivity of Steam, International Journal of Heat and Mass Transfer, **7**, No. 1, 33 (January, 1964).
- 6) W. Jobst: Measurement of Thermal Conductivities of Organic Aliphatic Liquids by an Absolute Unsteady-State Method, International Journal of Heat and Mass Transfer, **7**, 725 (July, 1964).
- 7) P. W. Powell, R. P. Tye and M. J. Hickman: The Thermal Conductivity of Nickel, International J. of Heat and Mass Transfer, 679 (May, 1965).
- 8) P. W. Powell: Correlation of Metallic Thermal and Electrical Conductivities for Both Solid and Liquid Phases,

- International J. of Heat and Mass Transfer, 1033 (July, 1965).
- 9) D. J. Collins and W. A. Menard: Measurement of the Thermal Conductivity of Noble Gases in the Temperature Range 1500 to 5000 Deg Kelvin, Trans. ASME, Journal of Heat Transfer, **88**, Series C, No. 1, 52 (February, 1966)
- 10) A. W. Pratt and R. E. Lacy: Measurement of the Thermal Diffusivities of Some Single-Layer Walls in Buildings, International J. of Heat and Mass Transfer, **9**, No. 4, 345 (April, 1966).
- 11) L. P. Filippov: Methods of Simultaneous Measurement of Heat Conductivity, Heat Capacity and Thermal Diffusivity of Solid and Liquid Metals at High Temperature, International J. of Heat and Mass Transfer, **9**, No. 7, 681 (July, 1966).
- 12) R. W. Powell and R. P. Tye: Thermal Conductivities of Some Iron Alloys Having Unusually High Lattice Components, International J. of Heat and Mass Transfer, **9**, No. 9, 837 (September, 1966).
- 13) D. L. Swift: The Thermal Conductivity of Spherical Metal Powders Including the Effect of an Oxide Coating, International J. of Heat and Mass Transfer, **9**, No. 10, 1061 (October, 1966).
- 14) R. W. Powell and R. P. Tye: New Measurements on Thermal Conductivity Reference Materials, International J. of Heat and Mass Transfer, **10**, No. 5, 581 (May, 1967).
- 15) T. J. S. Brain: New Measurements for Argon, Nitrogen and Steam, International J. of Heat and Mass Transfer, **10**, No. 6, 737 (June, 1967).
- 16) I. Wynn Jones: Calculation of the Thermal Conductivity of Normal Hydrogen in the Dense Gases and Liquid States International J. of Heat and Mass Transfer, **10**, No. 6, 745 (June, 1967).
- 17) A. Das Gupta: Thermal Conductivity of Binary Mixtures of Sulphur Dioxide and Inert Gases, International J. of Heat and Mass Transfer, **10**, No. 7, 921 (July, 1967).
- 18) H. Poltz and R. Jugel: Thermal Conductivity of Liquids —IV. Temperature Dependence of Thermal Conductivity, International J. of Heat and Mass Transfer, **10**, No. 8, 1075 (August, 1967).
- 19) Y. S. Touloukian: The Thermophysical Properties Research Center, International J. of Heat and Mass Transfer, **6**, No. 4, 301~307 (April, 1963).
- 20) Carslaw: Conduction of Heat in Solids, 283 (17).

(昭和43年2月21日受理)