

東北大学工学部 正員 工博 長谷川信夫
同 上 学生員 □阿久津 忠
同 上 学生員 鹿島 俊彦

§1 緒言

消化槽の土盛、パイプの地下埋設、道路の凍上問題などの熱収支を考える時に土の熱伝導率は非常に重要な値となる。従来行われてきた比較法による測定では、土中に水分移動が起り、正確な値は容易に得ることができない⁽²⁾。

本研究は、土中に水分移動が起らぬように、非常に迅速に測定を行ういわゆる非定常法により2種類の土の熱伝導率を測定し、その特性を検討したものである。

§2 測定原理

無限大の大きさを有し、温度が一樣な均質の物質を考え、この中に直線状に存在する熱源より、一定の熱量 $Q(\text{Kcal/m}\cdot\text{h})$ が放出される場合を考える。試料内温度は、 $\theta(^{\circ}\text{C})$ とするとFourierの式より次のようになる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = K \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) \quad (1)$$

ここに t ; 時間(h)

K ; 温度伝導率(m^2/h)

r ; 線熱源よりの距離(m)

熱源の大きさを無視しうるものとして(1)式を

$$t=0 \text{ のとき } \theta = \theta_0 \quad (0 \leq r < \infty)$$

$$t>0 \text{ のとき } \theta = \theta_0 \quad (r \rightarrow \infty), \quad Q = -2\pi r \lambda \frac{d\theta}{dr}$$

という条件の下に解くと、熱源から r の距離の温度はCarsonの解により次式で与えられる。

$$\theta = \theta_0 + \frac{Q}{4\pi\lambda} \int_{\frac{r^2}{4kt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \theta_0 - \frac{Q}{4\pi\lambda} E_i \left(-\frac{r^2}{4kt} \right) \quad (2)$$

ここに λ ; 試料の熱伝導率($\text{Kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$)

$$-E_i(-x) = \int_x^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad ; \text{指数積分}$$

$$E_i(-x) = \gamma + \ln x - x + \frac{1}{4}x^2 + O(x^3) \quad (3)$$

よって充分小さな $\frac{r^2}{4kt}$ に対し式(2)は近似的に次のように示される。

$$\theta \approx \theta_0 + \frac{Q}{4\pi\lambda} \left(\ln \frac{4kt}{r^2} - \gamma \right) \quad (4)$$

ここに $\gamma = 0.57721 \dots$ Euler's const

よって時間 t_1 及び t_2 の間の温度差 $\Delta\theta$ を知れば(4)式より

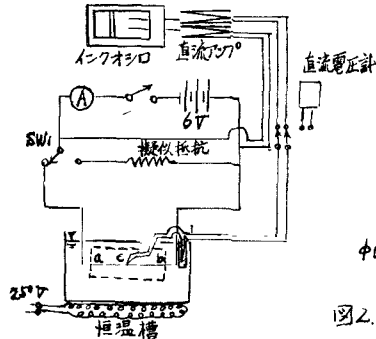


図1 実験装置

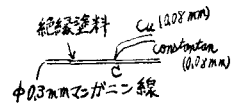


図2. ヒーグ-中心部

$$\Delta\theta = \frac{Q}{4\pi\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$\lambda = \frac{Q}{4\pi \cdot \frac{\Delta\theta}{\ln \frac{r_2}{r_1}}} \quad (5)$$

よって、熱源より任意の距離における試料温度、その測定時間、および熱源放散熱量を測定する事により、熱伝導率 λ を求めることができる。

§3 実験装置及び方法

図1に主要部分の回路を示す。あらかじめ所定の含水比に調整された試料は、夫々の単位重量に応じ、試料箱（図中の点線）に詰められ、恒温槽に入れられる。試料箱中のヒーター中心部C点にとりつけられた熱電対により、C点と恒温槽の温度が等しくなったことを直流電圧計で確認してから、ヒーターに電流を通じる。図-2はヒーター中心部で、ヒーターと熱電対の間には、絶縁塗料を塗ってある。測定温度は、10、20、30℃とした。

§4 測定結果及び考察

測定用試料は青葉山産ローム、および山形衛生処理場土盛からの砂質ロームを用いた。測定にあたっては、電氣的障害を無くす為、金網でシールドし、アースに充分気をつけた。又、測定時には室温と恒温槽の温度を等しくして、恒温槽の温度変化を阻止した。図Aに砂質ロームの測定データ例を示す。表1は、図Aのデータを用いて熱伝導率を計算したものである。式(5)からわかるように結局 λ の大小は、この半対数グラフの傾きによって支配される。

表 1

試料	砂質ローム
ヒーター長さ	0.20(m)
ヒーター抵抗	7.513(Ω/m)
ヒーター電流	1.09(amp)
初期温度	16.9(°C)

$$Q = 1.09^2 \times 7.513 \times 0.86$$

$$= 7.3974(\text{Kcal}/\text{m}\cdot\text{h})$$

$$\Delta\theta = 22.0 - 18.0 = 4.0(^{\circ}\text{C})$$

$$\lambda = \frac{7.3974 \times 2.303 \times \log \frac{4.85}{0.926}}{4\pi \times 4.0}$$

$$= 0.35454(\text{Kcal}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})$$

$$\theta_m = \frac{18.0 + 22.0}{2} = 20.0(^{\circ}\text{C})$$

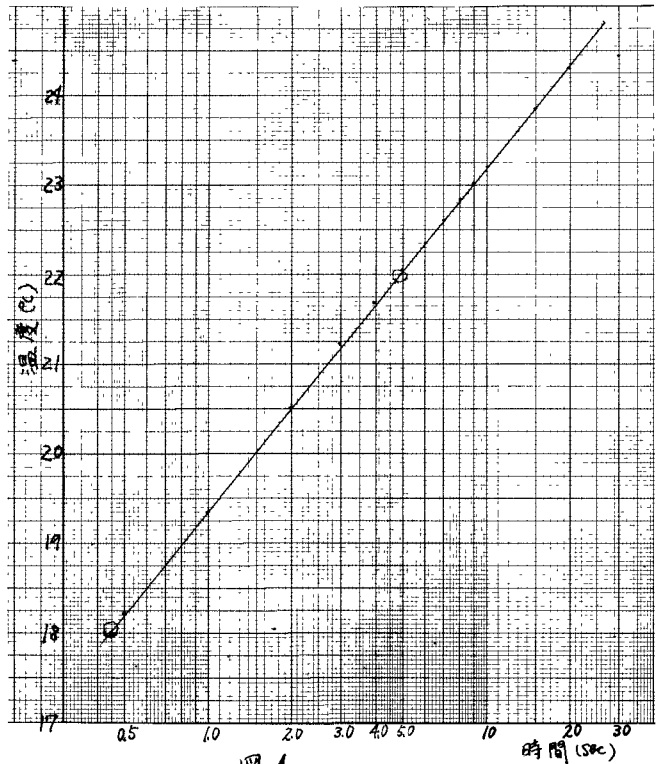


図 A

測定結果は、図3に砂質ローム、図4にロームについての入が夫々記してある。砂質ロームは、ロームに比べて粒径が大きく、従って最適含水比が小さく、19%であり、又湿潤密度も大きな変化を示さぬことが、突固め試験で知られた。砂質ロームの入は、ほとんど水の入(0.5)以下であるので、水分の多少により、変動すると思われる。実際、図5に示すごとく、土の全体積 V に対する水分の体積 V_w の比と、入とが直線関係をなしていることでも、わかることである。ロームの入について、土中の固体の部分の占める体積と全体積との比を考えると、 $\lambda > 0.5$ では図6のような関係が得られた。これは、 $\lambda > 0.5$ では、水分の影響はあまりなく、むしろ V_s によって、入が変動すること

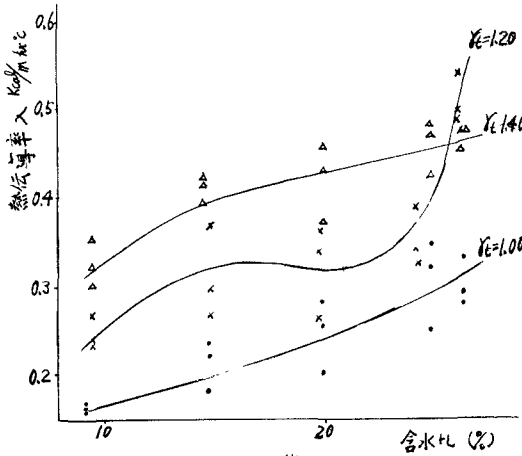


図3 砂質ローム

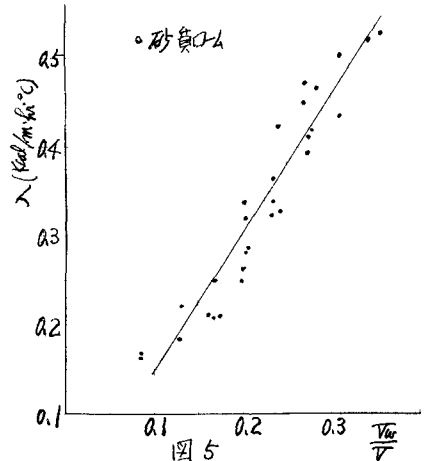


図5

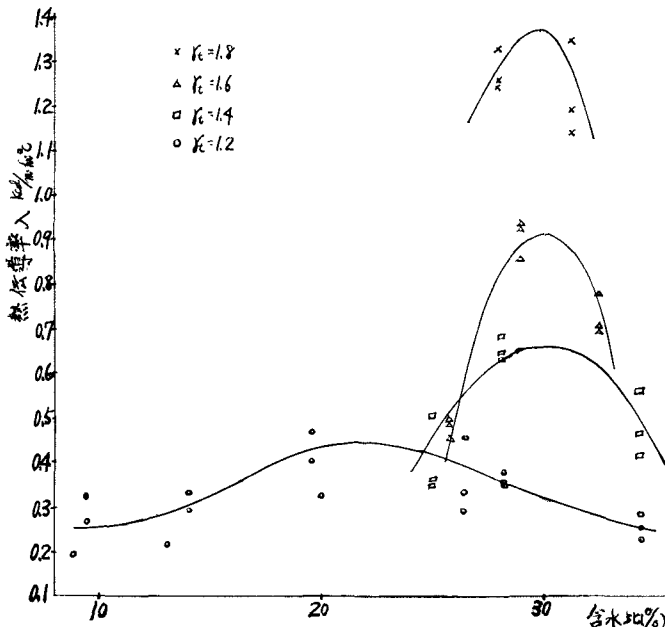


図4 ローム

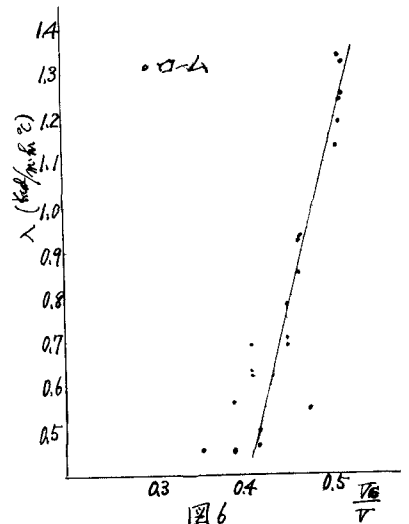


図6

を物語っているものである。そうすると、図4で、ロームの入は最適含水比付近で最大になるということも理解できよう。尚、この実験の正確さについては、水の入を測定してチェックしてみたが充分妥当なる値を得られた⁽³⁾。

§5 結 論

(1) 非定常迅速測定法によれば、短時間で対流の影響もなく、相当に正確な土の熱伝導率を測定することができる。

(2) 土の種類により、熱伝導率は相当変動があり、ロームでは $\lambda = 0.20 \sim 1.23 (\text{kcal/m}^2)$ 、砂質ロームでは $\lambda = 0.15 \sim 0.55 (\text{kcal/m}^2)$ の範囲にある。

(3) 一般に測定温度大なる程 λ も大きくなる傾向がある。

(4) 砂質ロームは、含水比及び密度の増大にともない、熱伝導率も上昇し、砂と似た性質をもつが、ロームは、最適含水比付近で最大値をもち、それ以上含水比が増減しても、熱伝導率は大きくなりません。

謝 辞

本研究を行うにあたり直接御指導いただいた東北大学工学部教授松本順一郎先生に深く感謝の意を表します。

参考文献

(1) H. S. Carslaw, J. C. Jaeger ; Conduction of Heat in Solids.

Oxford Univ Press, 1948

(2) 坂山四郎 ; 熱伝導測定法 ; 共立社, 実験工学講座 1-6

(3) 坂山四郎, 吉沢幸雄 ; 水及び二三の水溶液の伝熱率 機械学会誌 27巻 206号