

東京大学工学部 学生員 香取 完和
 埼玉大学工学部 正員 佐藤 邦明

1. はじめに

熱拡散現象に関しては、環境問題とも関連して近年多方面で研究が進められているが、そのような中で本研究は、地下水または地下水流に対する熱拡散・伝導を対象として実験を試みた。今回はその初期段階として温度伝導率 α (m^2/hour) を種々の多孔体に対して求め、熱拡散の基礎的性格を明らかにしようとした。特に、 0°C から 60°C の範囲に及び大きな温度勾配を与えて測定した。

2. 実験装置と実験方法

使用した実験装置の概略図は図-1 に示すように、多孔体実験試料の上下端に一定温度差をつけ、各点の温度の時間変化を測定するものである。温度の調節は温度調節盤の調節目盛をセットすることにより、多孔体本体の境界温度を一定に保つことができ、高温は 200°C 、低温は -30°C まで温度を与えることができる。多孔体本体は図-2 に示すように、半径 19.2cm 、高さ 12.8cm の断熱円筒空間に試料がセットされる。今回の場合には、上端にパネルヒーターが設けられており、熱を供給し、下端に冷水循環式冷却部がある。温度センサー先端位置は、円筒空間側壁より中心側 14.0cm に5ポイント、境界温度測定用温度センサー2本（高温部と低温部）を図-2 に示すように配置した。これによって測定されたものを自動デジタル式温度記録装置によって10分おきに記録した。また実験試料としては、ソーダガラス球3種（平均粒径 $0.8, 3.0, 5.0\text{mm}$ 、温度伝導率 $14 \times 10^{-4} (\text{m}^2/\text{hour})$ ）と豊浦標準砂を用いて多孔体を作り、それを水道水と脱気水を用いて飽和させた。

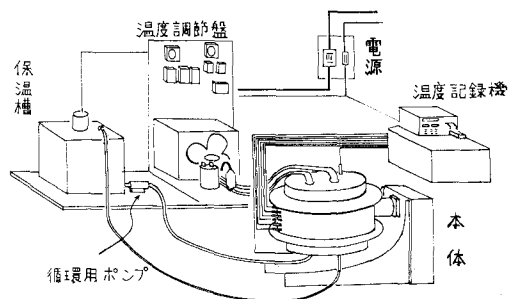


図-1 実験装置の概略図

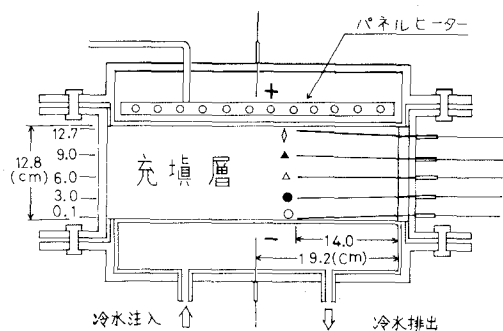


図-2 多孔体本体と温度センサー位置

(図-4の記号は、図-2の記号位置に対応する。)

3. 解析理論

温度伝導率 α (m^2/hour) を求める際、今回の実験条件 ($0^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$) においては温度伝導率 α が一定であるとして一次元熱伝導方程式を無次元化して解き、その理論曲線と実験結果を比較することにより温度伝導率 α を求めた。基本式と初期・境界条件は、

一次元熱伝導方程式 $\phi_t = \alpha \phi_{xx}$, 初期条件 $\phi = \phi_0$ ($t=0$) , 境界条件 $\begin{cases} \phi = \phi_A & (x=0) \\ \phi = \phi_B & (x=h) \end{cases}$ である。次に上式を無次元化するため

$X = \frac{x}{h}$, $T = \frac{\alpha}{h^2} t$, $\Phi = \frac{\phi - \phi_B}{\phi_A - \phi_B}$ と置くと、基本式と条件も無次元化され、

基本式 $\Phi_T = \Phi_{xx}$, 条件 $\Phi = \Phi_0$ ($T=0$)

$$\Phi = 0 \quad (x=0, T>0)$$

$$\Phi = 1 \quad (x=1, T>0)$$

となる。さらに定常状態を考えて、 $\Phi = f(x, T) + X$ と置いてフーリエ級数展開して解くと、

$$\Phi(x, T) = X + \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{m\pi} e^{-(2m\pi)^2 T} \sin(2m\pi x) + \frac{2(\Phi_0 - 1)}{(2m-1)\pi} e^{-(2m-1)^2 \pi^2 T} \sin((2m-1)\pi x) \right\}$$

--- (1)

のようになる。

ここで、 x : 冷却境界点からの距離(m), h : 冷却境界点から加熱境界点までの距離(m), t : 時間(hour), ϕ : 温度($^{\circ}\text{C}$), α : 温度伝導率(m^2/hour), X, T, Φ : 無次元化された量, 添字: 微分分

4. 解析結果

式(1)の解曲線は図-3のようになり、実験値と比較してみると図-4のようになる。この時、実際の多孔体充填層の厚さは12.8 cmであるが、境界位置が若干変動するため理論の多孔体厚さを修正した。次に、温度伝導率 α が時間的にどう変るかを調べるため図5のように整理してみた。その方法は図-3に示した標準曲線と実験値を合致させて α を求めるわけである。その結果全体的には時間と共に若干増大する。今回の報告では二三の実験結果の提示にとどめたが、下端を加熱し上端を冷却した条件では、粒径の大きいタ孔体では対流の発生が見られたが、標準砂のような細粒多孔体では発生しなかった。

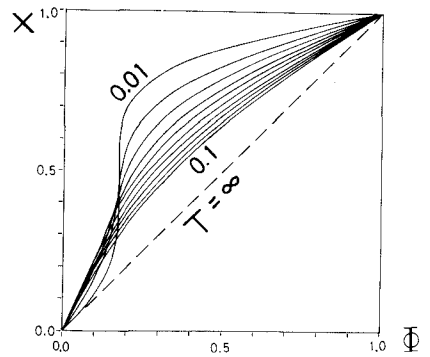


図-3 標準曲線 (一例)

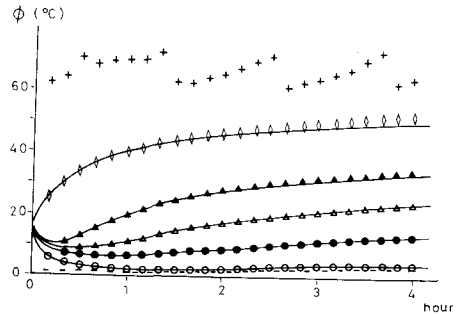


図-4 温度の経時変化 (実験の一例)

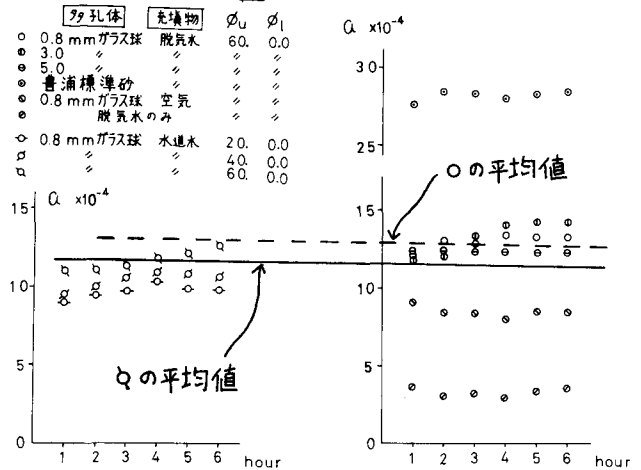


図-5 温度伝導率と時間の関係

5. 結論

装置が新しく工夫されたものであるため、まだ充分な精度を得ていないが、次のことが明らかとなった。

- ① 大きな温度勾配を与えた時、多孔体の温度伝導率は若干変化をする。
- ② 地下水に含まれる溶存酸素は、温度が変化すると気泡を発生させて温度伝導率を5~10%低下させる。

最後に、今回の実験にあたり御協力いただいた埼玉大学工学部地盤水理の各位に感謝すると共に、東京大学工学部、堀川清司教授から励ましのお言葉をいただいた事を記して謝意を表する。

参考文献 1) 日本機械学会 伝熱工学資料改訂第2版 昭和46年

2) 松本敏三 総合偏微分方程式 現代工学社 昭和50年