

東北大学 正 松本 順一郎
東北大学 正 大久保 俊治
環境庁 正 谷津 龍太郎

1. はじめに

土の熱伝導率は土の構造複雑さを反映し多くの要因から構成され相互に影響し合っている。影響因子としては(1)含水量(2)乾燥密度および間隙率(3)固相を構成する土粒の熱伝導率(4)土の粒度、構造、組成(5)土粒子および間隙の配列状態(6)温度などである。

本研究では、土中に水分移動が起るめように、迅速に測定を行う非定常法⁽¹⁾によって土の熱伝導率を測定し、水分の影響を中心とした特性を検討した。

2. 実験装置と手法

図1に装置、主要回路を示す。図中A-B部の線状熱源は抵抗温度係数の小さなマンガニン線(φ0.3mm)を用い、C点での温度を求める為に銅-コンスタン熱電対(φ0.1mm)を用いた。含水比、乾燥密度を調整した試料を試料箱(図中の点線部)に詰め恒温槽に入れた。温度が均一になった後に、定電圧で線状熱源に通電し、経過時間とC点の温度上昇から熱伝導率を算出した。図2に実験に用いた3種の土の粒度加積曲線を示す。

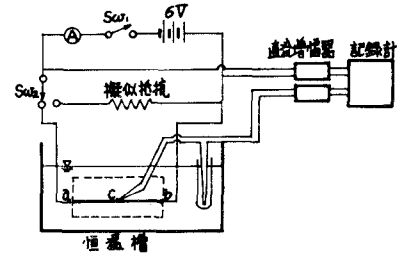


図-1 実験装置

3. 実験結果と考察

含水比と熱伝導率との関係は図3~図5に示す。これらの図より、含水比および乾燥密度の増加に伴って熱伝導率も増加する傾向が認められる。高含水状態での熱伝導率は気乾状態のそれと比べ6~7倍程度であり、含水比が熱伝導率に大きく影響すると思われる。

砂の場合、図3より含水比14%以下で熱伝導率と含水比の関係はほぼ直線的で、14%以上含水比が増加してもその影響は少ないと認められた。一般に、粗粒土では含水分の多くは粒子と粒子との接触部にリング状に保水される。それ故に、低水分状態では水分は土粒子間の熱橋となり、熱伝導に有効な熱橋が完成した後は水分が増加しても熱伝導にさほど影響しないと考察される。最適含水比(W_{opt})は14.6%であり、熱橋は最適含水比付近でもっとも有効になると推察される。

ロームの場合図5に示す。低含水状態で水分の影響は顕著に認められる。含水比20%以上で水分の影響が大きい傾向が認められる。この傾向はロームの比表面積が大きく、熱橋が有効に働くまで多くの水分を必要とすることから生じると思われる。しかし、土粒子表面における保水のミクロな実態は大変複雑であり、土の組成、構造により異なり、土の保水機構が熱伝導に与える影響を与えていると思われる。ロームについても、最適含水比以上では水分の影響は少ないと思われる。($W_{opt} = 29.1\%$)

砂質ロームの場合図4に示す。砂とロームとの中間的挙動を示す

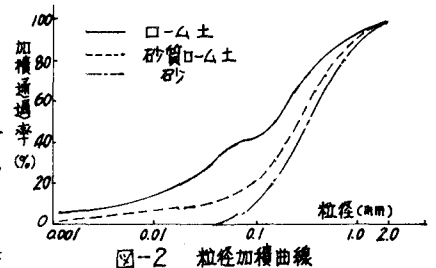


図-2 粒径加積曲線

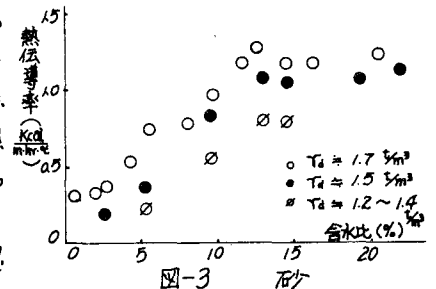


図-3 砂

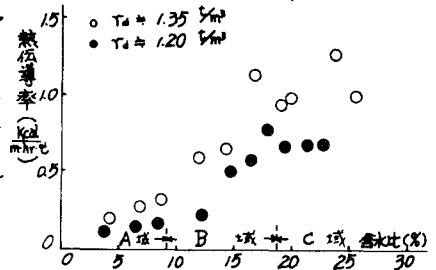


図-4 砂質ローム土

と思われる。図4より、含水比8%以下(A域)で水分の影響は小さく、含水比8%~18%(B域)で水分の増加とともに熱伝導率は増加し、それ以上の含水比(C域)では水分の影響はほとんどないと思われる。砂質ロームにつき、最適含水比付近で熱伝導率を行う熱橋がもっとも有効となり、最適含水比によりB域とC域に区分されると思われる。(Wopt=18.6%)

本実験結果では Vershinin の報告と若干異なり、土の熱伝導率は水分の増加とともにA域→B域→C域と遷移し、その遷移の様子は土の物理的、化学的性質により異なると考えられる。砂ではA域は非常に狭く、ロームではA域が広く、C域が狭いことが認められる。

図6~図8に飽和度と熱伝導率との関係を示す。低飽和状態で熱伝導率の増加率は小さく、中飽和状態で大きくなり、完全飽和状態へ近づくにつれて増加率は徐々に小さくなる傾向が認められる。また、(1)含水量と(2)乾燥密度の2因子の代わりに飽和度を考へることにより熱伝導率を把握できると考えられる。そこで、回帰曲線と(2)ロジスティック曲線を仮定し、その適用性について若干検討した。

$$R = \frac{R_{max}}{1 + a \exp(-b S_r)} \quad (1)$$

ここで、 R : 熱伝導率 ($\frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$)、 S_r : 飽和度(%)
 R_{max} : 最大熱伝導率 ($\frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$)

(1)式を変形して

$$\ln \left(\frac{R_{max}}{R} - 1 \right) = a + b S_r \quad (2)$$

R_{max} は(2)式が直線となるように決定し、砂で $1.30 \frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$ 、砂質ロームで $1.35 \frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$ 、ロームで $1.10 \frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$ となり、この R_{max} を用いて最小自乗法により(1)式中の定数 a, b を決定した。

図9にロームの例を示す。

砂
$$R = \frac{1.30}{1 + 5.24 \exp(-0.0591 S_r)} \quad (3)$$

砂質ローム
$$R = \frac{1.35}{1 + 18.5 \exp(-0.0720 S_r)} \quad (4)$$

ローム
$$R = \frac{1.10}{1 + 19.5 \exp(-0.0594 S_r)} \quad (5)$$

(3)(4)(5)式で R と S_r の相関係数はそれぞれ $r = 0.96, 0.97, 0.98$ であった。3種の土とも飽和度と熱伝導率との関係にはよい相関があると思われる。土の熱伝導率は飽和度によりある程度予測しうると推察される。

4. まとめ

- (1) 土の熱伝導率におよぼす水分の影響は最適含水比以上ではほとんどない。
- (2) 土の熱伝導率は飽和度によりある程度予測しうると推察し、その推定式を示した。

参考文献；(1) Carslaw and Jaeger, Conduction of Heat in Solids, (2) 八幡製鉄；土壌の物理

