

土中水分が供試体の熱伝導特性に及ぼす影響

東京都市大学 学〇 片根弘人 正 末政直晃
財団法人ベターリビング 非 久世直哉

1. はじめに

近年、東京を始めとした大都市特有の環境問題として、ヒートアイランド現象が挙げられる。この現象の主要な要因として、空調等の人工排熱の占める割合はかなり大きい。この排熱を抑制する施策の一つに、地中熱ヒートポンプを利用した冷暖房システムがある。このシステムは、土壌の莫大な蓄熱能力を考慮し、夏期には土壌をヒートポンプの放熱源として、冬期には採熱源として利用することで、外気への人工排熱の排出を抑制することができ、ヒートアイランド現象の有効な対策として注目されている。地中熱を利用するにあたり、システムの性能評価のために地盤の熱伝導特性を正確に把握することが重要となる。しかし、原位置での調査には、時間、費用等の面で困難な点が多い¹⁾。本研究は、サンプリングにより得られた試験体で熱伝導特性試験を行い、地盤の熱的物性値を精度良く測定することを目的としている。本論では、実際に現場で採取した試料土で実験を行い、試料土の違いによる供試体の熱挙動を比較し、地盤材料の熱伝導特性について考察した。

2. 熱伝導特性実験

2.1 実験装置の概要

図-1 に実験装置の概要図を示す。実験装置は、長さ 17cm で切断したシンウォールサンプラー(内径 74mm)を供試体容器としている。供試体の中心軸には銅管(外径 5mm)が設置されている。また、下部には通水口が 2 つ設置されている。一つは、連結している銅管に温水を通すためのものである。また、もう一方の通水口は脱気水を通水し、飽和状態の供試体を作製する際に用いる。上部のエンドキャップ、塩ビの蓋は銅管の治具であり、上部に設けた穴は、供試体作製時に突き固め棒で試料土を締め固めるためのものである。

2.2 実験概要

本実験では、試料土として、BL つくば敷地内で採取されたローム、細砂を用いた。表-1 に実験条件を示す。供試体の作製では、現場の土粒子骨格を再現するため、地盤調査結果に基づき地盤の間隙比 e を調整し、脱気水を浸透させ飽和度を設定した。供試体寸法は、高さ 150mm、直径 74mm である。

温度の測定には K 熱電対を用い、図-1 のように供試体高さ方向中央に放射状に 4 本設置した。また、4 本の熱電対は、熱源である銅管からの距離が 0cm, 0.5cm, 1.0cm, 2.0cm とした。その他に、外気温、温水、銅管出口側面の 3 点での測定も行った。別の容器にて生成した温水(約 60℃)を、下部の熱源用通水口より銅管に通水して供試体を加熱した。測定時間は、定常状態となるとと思われる 12 時間とし、試料土、飽和度の違いによる熱挙動の違いを考察した。

2.3 実験結果

2.3.1 熱挙動の考察

図-2 に実験結果の例として CASE①の結果を示す。全ての CASE でほぼ同様の温度上昇挙動を示した。加熱開始と同時に急激に温度が上昇し、12 時間経過時にはほぼ定常状態に達する傾向が見られた。図-3 に各試料土の定常時(12 時間経過時)の温度分布を示す。なお、この時の距離は、銅管の中心軸か

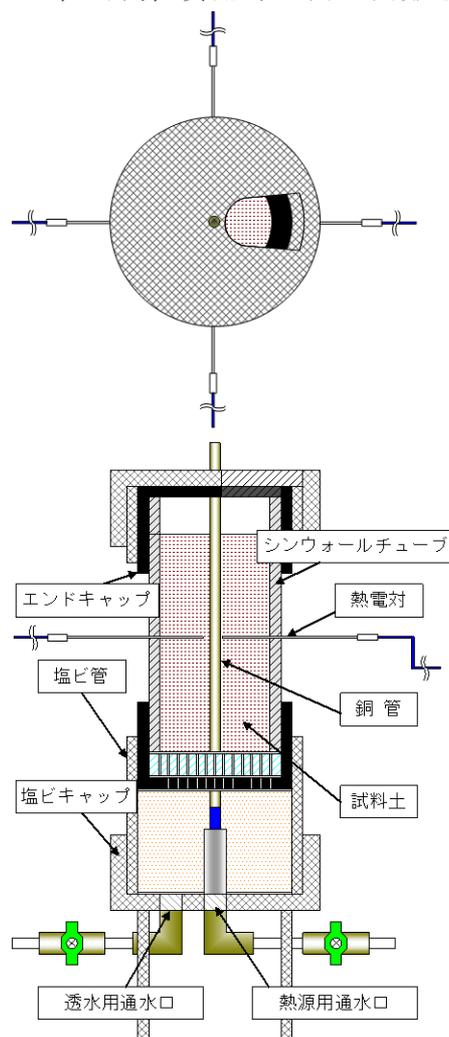


図-1：実験装置の概要図

表-1：実験条件

実験CASE	試料土	含水比w[%]	飽和度Sr[%]
①	ローム	66.0	74.6
②		86.9	83.5
③		84.3	85.7
④		93.4	93.2
⑤	細砂	31.6	94.9
⑥		33.7	95.6
⑦		35.0	97.0
⑧		36.4	100.0

Keywords: : サンプリング、熱伝導率、飽和度

連絡先：東京都市大学 都市基盤工学専攻 地盤環境工学研究室 TEL03-5707-2202

らの距離としている。図より、ロームに比べ細砂の方が定常時の温度が高くなる傾向が見られた。これは細砂の体積含水率がロームに比べ高いことが要因と考えられる。しかし、飽和度の違いによるローム、細砂における顕著な傾向は見られなかった。

2.3.2 熱伝導率の算出

今回の実験より得られた測定値より、フーリエの法則の式(1)を用いて熱伝導率λを算出した。

$$Q = \frac{2\pi\lambda l}{\ln(r_2/r_1)}(\theta_1 - \theta_2) \quad \dots(1)$$

ここで、Q[W]:通過熱量, λ[W/mK]:熱伝導率, r[m]:半径(距離), θ [K]:温度である。本実験の熱源である銅管から試料土への通過熱量を求めるため、寒天の供試体を作製し、同様の実験を行った。寒天を用いた理由には、濃度 1%程度でも十分にゲル化して固まり、伝熱形態として熱伝導のみを考慮すればよく、かつ濃度が低いため熱的物性値として水の値(λ=0.6)を用いることができるためである²⁾。任意の2点には試料土中の測定点、半径が 0.5cm の点と 2.5cm の点を用いた。寒天の実験より、本実験の熱源(銅管)からの通過熱量 Q は 2.88W であった。また、この値を式(1)に代入し、ローム、細砂それぞれの熱伝導率λを求めた。

図-4 に含水比と熱伝導率の関係を示す。図より、細砂、ロームともに、含水比と熱伝導率には直線関係が見られ、含水比の上昇に伴い熱伝導率も高くなった。近似直線の傾きは、細砂が 0.0685、ロームが 0.0103 となり、細砂の方が土中水分の影響を受けやすいことがわかる。

図-5 に飽和度と熱伝導率の関係を示す。含水比と同様、ローム、細砂ともに飽和度と熱伝導率には直線関係が見られ、飽和度の上昇に伴い熱伝導率も上昇した。また得られた近似直線より、飽和度 Sr=100% でローム、細砂ともに同程度の熱伝導率になることが推察でき、熱伝導率は約 1.12W/mK になると思われる。これらの図より、ロームに比べ、細砂の熱伝導率は、土中水分の微小な変化で大きく異なってくるのがわかる。このように試料土の違いによって土中水分による土の熱的物性値への影響が異なるため、今後、各試料土の値を精度良く測定し、傾向を把握していく必要があると思われる。

4. まとめ

本論では、ロームと細砂において熱伝導特性実験を行い、以下の知見を得た。

- ・ロームに比べ細砂の方が定常時の温度が高くなる。
- ・ローム、細砂ともに、含水比・飽和度と熱伝導率には直線関係が見られ、含水比・飽和度の上昇に伴い熱伝導率も上昇する。
- ・土中水分の微小な違いにより、細砂の熱伝導率がロームに比べ大きく変化する。
- ・飽和度が 100% のとき、ローム、細砂の熱伝導率はほぼ同じ値になることが考えられ、およそ 1.12W/mK になる。

《参考文献》

- 1) 館野ら：地中熱設計のためのヒーター埋設型原位置地盤熱伝導率分布探査法の検討，日本地熱学会 平成 20 年度学術講演会講演要旨案
- 2) 堀野ら：飽和土壌層内における熱移動特性の実験的考察，地下水学会誌 第 33 巻 p.227-p.238

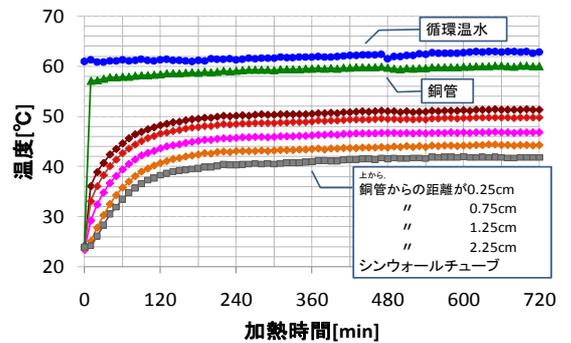


図-2：実験結果の例(ローム①)

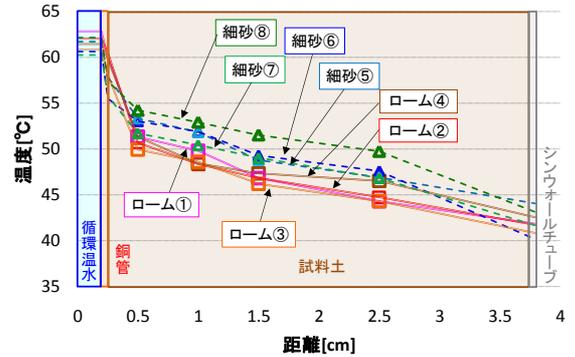


図-3：定常時の温度分布

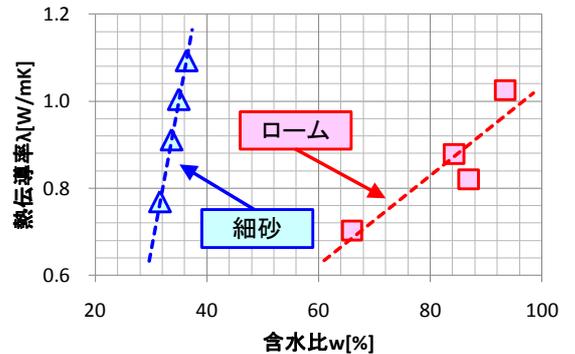


図-4：含水比と熱伝導率の関係

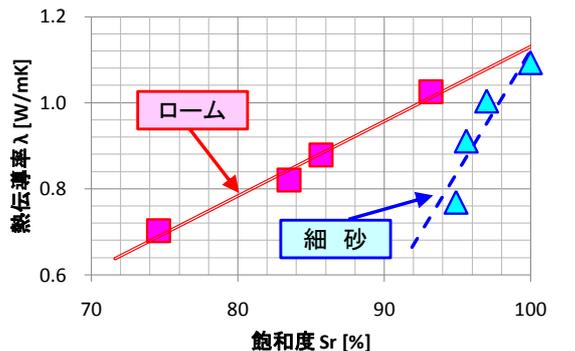


図-5：飽和度と熱伝導率の関係