

土中の水分が供試体の温度変化に及ぼす影響

東京都市大学 学生会員 ○片根弘人
東京都市大学 国際会員 末政直晃 正会員 片田敏行

1. はじめに

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ある。ヒートアイランド現象の主要な要因として、アスファルトなどの蓄熱効果の高い人工物による地表面被覆、人口や産業の集中による空調や自動車などの人工排熱の増加がある。人工排熱のうち約半分は空調によるものとされている¹⁾。ヒートアイランド現象の対策の一つに、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し、ヒートアイランド現象に対する有効な施策としても注目されている。そこで本研究は、地盤材料の熱物性値を得ることを目的としており、地中熱利用空調等の地中の熱を扱うシステムの設計や性能評価に役立つものであると考えている。本発表では、サンプリング試料を用いた熱物性値測定実験のための実験装置を考案し、その予備実験としてケイ砂を用いた室内試験を行ったので、それを報告する。

2. 試料および実験装置・実験方法

図-1 に実験装置の概要を示す。実験装置は塩ビ管でできており、外径 8.9cm、内径 8.3cm、長さ 30cm である。その上下両端を塩ビの蓋で閉じ、外径 5mm の銅管が下端の蓋から塩ビ管の中心を通るよう設置してある。また、通水口①には、あらかじめ別の容器で温められた温水を通水し、連結してある銅管に温水を通すことで熱源とした。通水口②からは常温の水を通水し、試料に水を浸透させて飽和状態の供試体を作製した。

本実験では、試料にケイ砂を用いた。表-1 にケイ砂の物理特性を示す。供試体の作成方法においては、まず碎石とケイ砂を敷き詰めて約 10cm の基礎地盤を作製した。その上から、空中落下法を用いて約 10cm ケイ砂を降らせた後、熱電対を試料を乱さないよう設置し、その上から再びケイ砂を降らせ合計約 20cm の供試体を作製した。表-2 に実験条件を示す。今回の実験では、試料中の水分量が熱伝導率に最も影響を与えられと考えられる。そのため、相対密度の異なるケイ砂①(Dr=74%)とケイ砂②(Dr=24%)において絶乾状態と飽和状態の各 2 ケース、計 4 ケースについて実験を実施した。

実験方法として、供試体の中心に設置した銅管に、約 55℃に温めた温水をポンプによって循環させ、銅管から 1cm、2cm、2.5cm、3.5cm の距離で放射状に配置した 4 本の熱電対によって試料の温度変化を測定した。温水の循環開始からの温度上昇変化および循環後の温度低下変化が、試料状態の違いによって異なることが予測されるため、循環開始から 30 分間は温度上昇の様子を測定し、30 分後ポンプを停止し、続けて 30 分間の温度低下の様子を測定した。

3. 実験結果および考察

本論文では加熱時の実験結果についてのみ考察した。図-2 にケイ砂①、②、図-3 にケイ砂③、④の加熱時の温度の経時変化をそれぞれ示す。これらの図から、絶乾状態と飽和状態での試料の温度

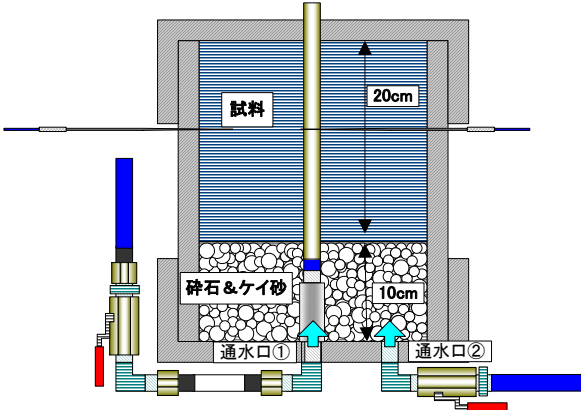


図-1: 実験装置の概要

表-1: ケイ砂の物理特性

土粒子密度 ρ_s [g/cm ³]	2.653
最大乾燥密度 ρ_{dmax} [g/cm ³]	1.602
最小乾燥密度 ρ_{dmin} [g/cm ³]	1.217
最大間隙比 e_{max}	1.180
最小間隙比 e_{min}	0.656

表-2: 実験条件

実験CASE	相対密度Dr	
ケイ砂①	高密(73.9%)	絶乾状態
ケイ砂②		飽和状態
ケイ砂③	低密(23.7%)	絶乾状態
ケイ砂④		飽和状態

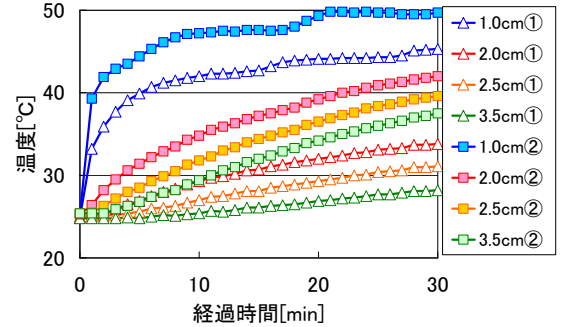


図-2: ケイ砂①、②の温度の経時変化

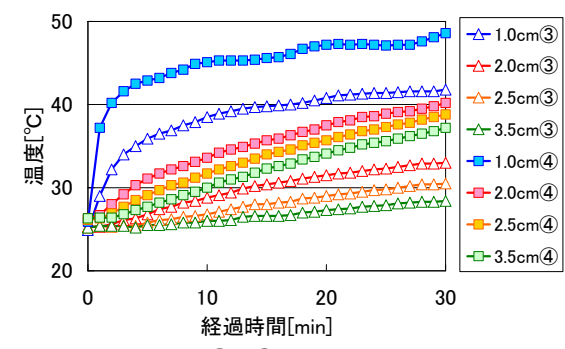


図-3: ケイ砂③、④の温度の経時変化

Keywords: 熱物性、飽和、サンプリング

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

変化の違いを考察した。まず図-2 において、絶乾状態のケイ砂①よりも飽和状態のケイ砂②の方が、高い温度上昇を示していることがわかる。これは、供試体中の空隙が水によって置換されたこと、空気の熱伝導率が水の熱伝導率よりも低い値をとることから、ケイ砂①よりもケイ砂②の方が温度上昇しやすくなったためと思われる。図-3 においても、図-2 と同様の傾向を示した。しかし、図-2 に比べ、図-3 の方が絶乾状態と飽和状態での温度変化に大きな差がある。これは低密度であるケイ砂③、④の方がケイ砂①、②に比べ間隙が大きいこと、含水率が高く、水の影響をより強く受けたためであると思われる。次に相対密度が試料の温度変化に与える影響について考察した。図-4 にケイ砂①、③の温度の経時変化、図-5 にケイ砂②、④の温度の経時変化を示す。図-4 から、空隙が大きいケイ砂③の方が、温度上昇が低いことがわかる。しかし、1cm においては、その違いがいくらか見られるが、2cm 以降では大きな違いが見られなかった。また、図-5 においては、ケイ砂②、④がほぼ同じ温度変化を示している。このことから飽和状態の場合、供試体の温度上昇は相対密度にあまり依存しないことが考えられる。

相対密度が高い方が、砂が密に連なっているため、温度上昇が高くなることが予想されたが、これらの結果からは顕著な違いは見られなかった。そこで、試料の初期温度からの線形的な温度の立ち上がりを示した測定値において、近似式よりその勾配を求め、これを温度上昇速度と定義し数値的な比較を行った。この温度上昇速度を示したものを表-3 に示す。また、図-6 に温度上昇速度と距離の関係を示す。表-3、図-6 において、すべての条件で熱源から離れるほど温度上昇速度は小さくなるという傾向が得られた。また、相対密度が低い方が、若干ではあるが温度上昇速度が遅くなっている。相対密度の違いからケイ砂①、③を比較してみると、2cm 以降の点での違いはほぼ見られないが、1cm の点ではケイ砂①がケイ砂③の約 2.4 倍もの値を示している。同様にケイ砂②、④を比較すると、1cm の点ではケイ砂②がケイ砂④の約 1.5 倍の値を示している。これらより、相対密度の違いによる影響は、熱源から 1cm 程度の位置にしか現れないことがわかった。また、試料状態の違いから、絶乾状態と飽和状態を比較すると、飽和させることにより絶乾状態の温度上昇速度の 2~4 倍の値になることがわかった。次に体積含水率の違いについて、体積含水率が 37.8% のケイ砂②と、体積含水率が 39.2% のケイ砂④を比較する。図-7 に温度上昇速度と体積含水率の関係を示す。この図より、体積含水率の上昇に伴い温度上昇速度は低下することがわかる。また、約 1% の体積含水率の上昇で、1cm の点において温度上昇速度は 65% 程度低下している。このことより、体積含水率が大きく変化すると、熱源近傍の温度変化も大きく変化することが考えられる。

3. まとめ

今回の実験結果から、乾燥状態よりも飽和状態の方が、熱伝導率が高いということが確認できた。ケイ砂においては、相対密度の違いによる試料の温度変化への影響は、熱源から 1cm 程度の熱源近傍にしか現れないことがわかった。また、体積含水率が大きく変化すると、熱源近傍の温度変化も大きく変化することが考えられる。

しかしながら、熱源より 2cm 以上離れた位置では、あまり温度上昇速度に違いはなかった。今後実験ケースを増やし、その詳細を把握すると共に、その他の種類の試料についても調査していく。

〈参考文献〉1) 関根賢太郎 他：場所打ち杭を用いた地中熱空調システムの普及・実用化に関する研究，空気調和・衛生工学会論文集

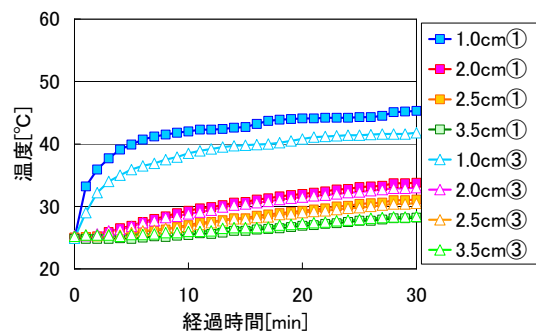


図-4: ケイ砂①、③の温度の経時変化

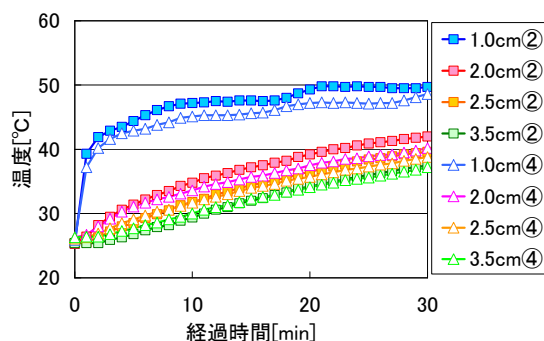


図-5: ケイ砂②、④の温度の経時変化

表-3: 温度上昇速度

距離 [cm]	温度上昇速度[°C/min]			
	ケイ砂①	ケイ砂②	ケイ砂③	ケイ砂④
1.0	11.0	21.9	4.52	14.4
2.0	0.464	1.63	0.430	1.20
2.5	0.258	0.851	0.222	0.667
3.5	0.136	0.516	0.122	0.463

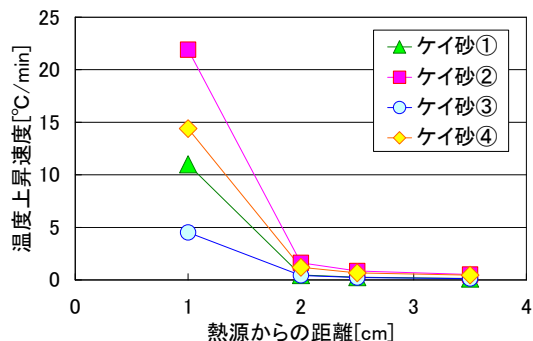


図-6: 温度上昇速度と距離の関係

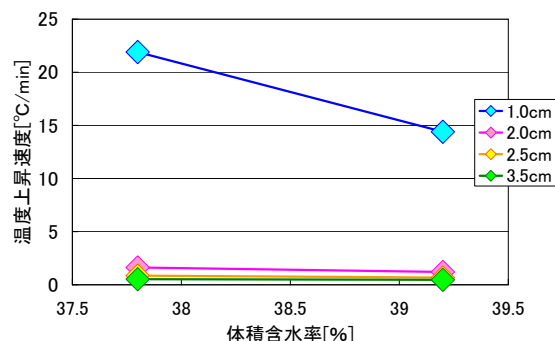


図-7: 温度上昇速度と体積含水率の関係