

摂南大学工学部 学生員 ○鳩 裕幸・小濃 俊介・古川 清隆
摂南大学工学部 正会員 伊藤 譲

1. 研究目的

地盤蓄熱技術は、太陽エネルギーや都市内の廃熱などの未利用エネルギーの保存と再利用の手段として、有力な技術と考えられている。しかし都市地盤を構成する粒状土は、その熱伝導率の評価が困難なこと等から、日常生活程度での利用までには至っていない。本研究では熱伝導率の測定法としてパイプ法とプローブ法を比較し、また粒状土の熱伝導率の温度依存性について考察を行った。

2. 実験方法

本研究では試料土として表1に示すマサ土を用いた。なお突固めは、JIS A 1210およびJSF T 711によるA-b法により行った。

表1 マサ土の物理的性質

ρ_s	2.66	g/cm^3
砂分	66.6	%
シルト分	12.9	%
粘土分	20.5	%
ω_{opt}	12.1	%
ρ_{dmax}	1.93	g/cm^3

実験ではパイプ法とプローブ法を用い、試料土の含水比および乾燥密度を変化させた。

パイプ法とは小型の水槽を用い、温水による外部からの熱の流入により熱伝導率を測定する方法である。パイプ法では、パイプに詰められた試料の中心に熱電対を挿入し、土全体を外側から均一に熱するときの中心部の温度変化より熱伝導率を計算する。パイプ法の測定装置は図1に示す。この実験で中心部に挿入した温度センサーは、外径2.0mm、内径1.0mm、長さ155mmのステンレスパイプ中に、直径0.1mmの銅線とコンスタンタンより成る

熱電対を組み込み、パラフィンで固定したものである。温度制御装置(0~40℃)、テスター、また零接点には氷水を使用した。

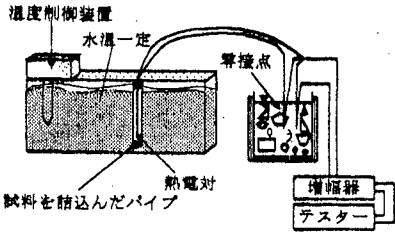


図1 パイプ法測定装置図

次に、プローブ法はパイプ法とは対照的に、供試体中心のプローブから一定の熱を与えて生じる中心部の温度変化から熱伝導率を求める方法である。測定時間が短く、水分移動の影響が少ないとされ、土壌の熱伝導率測定に広く用いられている。実験で使用したプローブは、パイプ法で用いるステンレスパイプと同じものであるが、熱源として直径0.1mmのコンスタンタン線のヒーター、および銅線とコンスタンタン線より成る熱電対を組み込み、パラフィンで固定したものである。プローブの詳細について図2に示す。定電圧装置(電圧0~18V、電流0~3A)、直流部増幅器(×100~1000)、テスター、そして零接点には氷水を使用した。

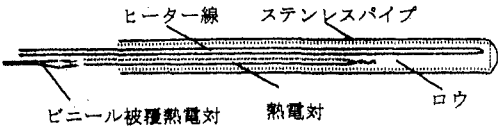


図2 プローブ詳細図

実験条件を表2に示す。

表2 実験条件

Case 1			
Test	計測方法	測定温度	含水比・乾燥密度
1	パイプ法	$T_o=18(^{\circ}\text{C})$, $\Delta T=17(^{\circ}\text{C})$	ω 一定 12(%) $\rho_d=1.641\sim 1.901$
2	プローブ法	$T_o=16\sim 18(^{\circ}\text{C})$ (室温)	ω 一定 12(%) $\rho_d=1.701\sim 1.952$

Case 2			
Test	計測方法	測定温度	含水比・乾燥密度
1	パイプ法	$T_o=26(^{\circ}\text{C})$, $\Delta T=4(^{\circ}\text{C})$	ω 一定 12(%) $\rho_d=1.636\sim 1.845$
2	プローブ法	$T_o=28(^{\circ}\text{C})$	ω 一定 12(%) $\rho_d=1.709\sim 1.963$

Case 3			
Test	計測方法	測定温度	含水比・乾燥密度
1	パイプ法	$T_o=14(^{\circ}\text{C})$, $\Delta T=4(^{\circ}\text{C})$	ω 一定 12(%) $\rho_d=1.640\sim 1.885$

3. 結果と考察

図3(a)はCase1の実験結果を示す。図が示すようにパイプ法とプローブ法ではその熱伝導率に違いが見られた。特に低乾燥密度でその差は大きなものであった。これは温度条件の違いが原因と考え、温度条件をほぼ同じにして実験を行った結果、図3(b)のようにその熱伝導率値は比較的近いものとなった。このことから、粒状土の熱伝導率が測定温度に敏感に影響されることがわかる。また、特に低乾燥密度において温度による影響が大きいと言える。この理由として、低乾燥密度ほど土の間隙が大きく、土中で水移動が起こり易いことが挙げられる。

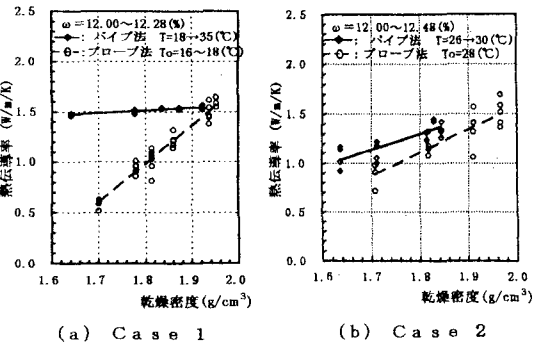


図3 乾燥密度による熱伝導率変化

次に温度の影響について検討を行った。図4(a)はCase2と3のパイプ法の実験結果をまとめた。図が示すように低乾燥密度ほど勾配が急であり、その変化が大きいことがわかる。次に、図4(b)はCase1と2のプローブ法の実験結果をまとめた。

図が示すように、パイプ法同様低乾燥密度ほど変化は大きいものであった。これらの結果より、低乾燥密度ほど熱伝導率が測定温度に大きく影響されることが示された。また、乾燥密度一定で含水比を変化させて同様の実験を行っているが、低含水比ほど温度による熱伝導率の変化が大きい結果が得られている。

さらにパイプ法とプローブ法の実験結果を比較すると、パイプ法のほうが全体的に勾配が急であり、温度による変化が大きいことが確認できる。この原因には、パイプ法とプローブ法における熱源と試料との接触の違いなどが考えられるが、今後の検討が必要である。

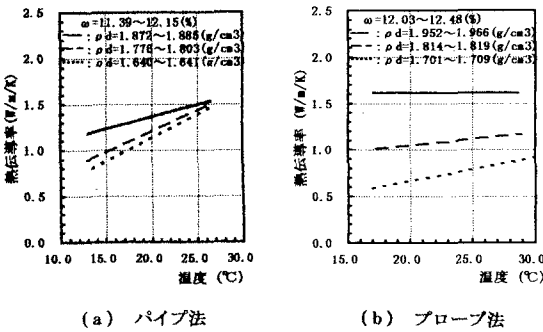


図4 温度による熱伝導率変化

最後に既存の熱伝導率推定式と比較すると、パイプ法の方が近い結果であったことから、プローブ法よりも優れている可能性が考えられる。

4. まとめ

本研究により、粒状土の熱伝導率は測定温度に影響され、その傾向は低乾燥密度、低含水比ほど大きいことが明らかとなった。また、パイプ法とプローブ法で熱伝導率の測定結果に違いが生じる原因については、今後も究明が必要である。

【参考文献】 1) G. S. Campbell : 土中温度と熱の流れ, 鹿児島出版会, パソコンで学ぶ土の物理学 pp. 25~35, 1987, 2) D. A. de Vries・A. J. Peck : MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY WITH CYLINDRICAL PROBES. I, Aust. J. Phys. 11 pp. 255~271, 1958