

密度、水分含量、温度、組成変化に伴う多孔質材料の熱抵抗率の変化

Thermal Resistivity of Porous Materials(Soils) Change with Changes in Density, Water Content, Temperature and Composition

Gaylon Campbell, Ph.D

デカゴン社 KD2Pro は、物質の熱抵抗率を測定する。これらの測定は迅速かつ正確であるが、テストできるサンプル数には限界があり、サンプリングおよびテスト手順が測定結果に影響を及ぼす可能性がある。このアプリケーションノートの目的は、KD2Pro による測定が有用で典型的なもので考えられる限り正確であることを示すために、多孔質材料の熱抵抗率に影響を及ぼす要因について洞察を与えることにある。また、これらの材料の抵抗の標準値について情報を提供する。土壌および他の多孔質材料は、密度、水分含量、温度、組成がそれぞれ異なる。これらすべてが多孔質材料の熱

抵抗率に影響を与える。表 1 に典型的な土壌構成物の熱特性を示す。これらは一般的な多孔質材料の混合物からなる。また、混合物の熱抵抗率を計算することは非常に困難である。それが成分の熱抵抗率に依存するだけでなく、その幾何学的配列にも因るためである。この計算を行うための手法は、Campbell と Norman (1998)、de Vries (1963) によって示されている。これらの手法は、水分含量、組成、密度、温度により変化する土壌の熱抵抗率の計算に使われていたものである。これらの計算の結果を、図 1、2、3 に示す。

表 1. 土壌鉱物の熱特性 (摂氏温度) [改訂 Campbell and Norman, 1998]

物質	密度 ($M \text{ gm}^{-3}$)	比熱 ($(J \text{ g}^{-1}K^{-1})$)	熱伝導率 ($Wm^{-1}K^{-1}$)	熱抵抗率 ($mK \text{ W}^{-1}$)
土壌鉱物	2.65	0.87	2.5	0.40
花崗岩	2.64	0.82	3.0	0.33
石英 (ケイ砂)	2.66	0.80	8.8	0.11
ガラス	2.71	0.84	1.0	1.00
有機物	1.30	1.92	0.25	4.00
水	1.00	4.18	0.56+0.0018T	1.65 @25C
氷	0.92	2.1+0.0073T	2.22-0.011T	0.45 @ 0C
空気(101 kPa)	1.29-0.0041T*10 ⁻³	1.01	0.024+0.00007T	38.8 @25C

一般に、混合物の熱抵抗率は最も大きな抵抗値を持つ組成から強く影響を受ける。鉱物の抵抗は 3 倍ほど異なる (図 1 および表 1) が、乾燥したケイ砂 (石英) と乾燥したローム土では抵抗値はほぼ等しい。限界抵抗が大きくなると、その他の構成物の抵抗の違いが大きく影響してくる。たとえば、乾燥したケイ砂 (石英) と乾燥したロームの抵抗の違いは約 10% で、一方、水で飽和したケイ砂 (石英) は水で飽和したロームの抵抗の約半分となる (図 1)。

不飽和多孔質材料の水分含量が増加すれば、水分含量の増加とともに急激に抵抗が減少したところでしきい値に達する。このことは、3つの図すべてに現れている。このしきい値は、材料の熱的性質よりも水理的性質に密接に関連したものである。しきい値は媒体中の細孔間で蒸発凝縮し潜熱を運搬するために、液体水分が粒子表面を越えて流れることができる水分含量である。

言い換えれば、土壌は"ヒートパイプ"のように働いている。ヒートパイプとは、迅速かつ効果的な熱伝達のため

に、潜熱輸送を利用した工学的なデバイスである。室温の湿った土壌では、全体の熱輸送の10%から20%は細孔を通る潜熱によるものである。熱輸送のこの割合は強く温度に依存し、10°C 温度上昇すれば2倍になると概算される。

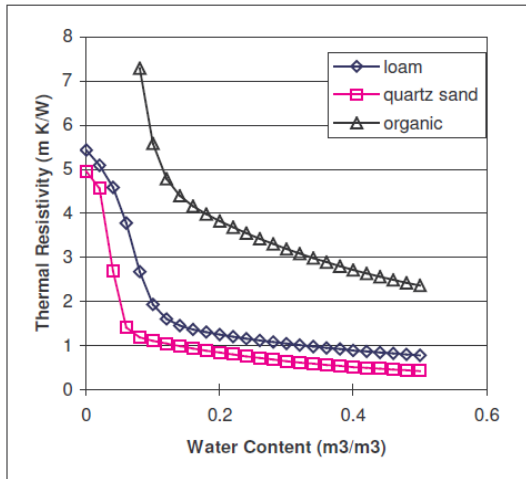


図1 水分含量の関数としての3つの土壌鉱物の熱抵抗率。各々の固体割合(Solid fraction)は0.5

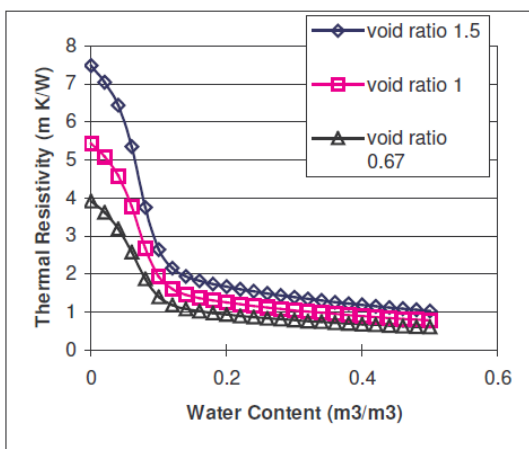


図2 ローム土壌における熱抵抗率の密度と水分含量の影響。間隙比1の曲線は図1に同じ。バルク密度は間隙比1.5は1.06 Mg/m³、間隙比1は1.33 Mg/m³、間隙比0.67は1.59 Mg/m³。

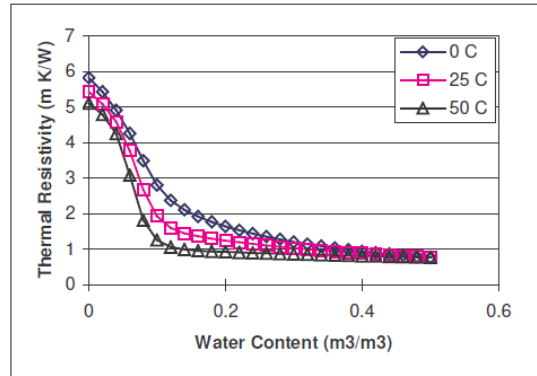


図3 ローム土壌における熱抵抗率の温度と水分含量の影響。25°Cの曲線は図1に同じ

湿った空気で充たされた細孔の実効熱抵抗率は、60°Cの水の熱抵抗率には同じで、そのため、この温度では、材料の水分含量を変えてもその抵抗値には影響はでない。図3の50°Cにおける曲線では、水分含量が細孔内で液体のリターンフローを維持するに十分に高い水分含量に達したならば、水分含量が増加しても抵抗率はほとんど変化を示さないことを示している。

References

1. Campbell, G. S. and J. M. Norman. 1998. An Introduction to Environmental Biophysics, 2nd Ed. Springer Verlag, New York.
2. Campbell, G. S., J. D. Jungbauer, Jr., W. R. Bidlake and R. D. Hungerford. 1994. Predicting the effect of temperature on soil thermal conductivity. Soil Sci. 158:307-313
3. De Vries, D. A. 1963. Thermal properties of soil. In Physics of Plant Environment. W. R. van Wijk (ed.) North Holland Pub. Co. Amsterdam pp. 210-235