

(株) 精研 正員 伊豆田 久雄 生頼 孝博 山本 英夫 岡本 純 高志 勤

1. 緒言

飽和の未凍土は土粒子と水、凍土は土粒子と氷と不凍水からなり、熱伝導率は各成分の熱伝導率と割合によって複雑に変化する。土粒子の熱伝導率は主に鉱物組成によって氷と水の熱伝導率は温度によって決まり、凍土の熱伝導率と温度との関係はいくつかの研究がある。しかしながら飽和土において各成分の割合のみを変化させて熱伝導率を測定した報告は殆んどない。そこで割合から熱伝導率の推定が可能でないかという期待のもとに、同じ土粒子を用いて締め固め度合の異なる飽和の未凍土及び凍土を作製 $-76 \sim +8^{\circ}\text{C}$ の温度範囲内で熱伝導率の測定を行い、容積含水(水)率が熱伝導率に及ぼす影響について調べた。(ここでは容積含水率を、不凍水も仮りに氷とした時氷の体積が凍土全体の体積に占める割合と定義した。) 用いた試料土は豊浦産出の砂と藤の森粘土であり、熱伝導率の測定は非定常法であるサーマル・プローブ法で行った。又容積含水率が同じでも凍土中に塩分が存在すると氷の一部が熱伝導率が $1/4$ ほどの不凍水となり凍土の熱伝導率が小さくなる可能性があるので、NaClを含む凍土の熱伝導率も測定した。

2. 実験方法

試料土としては、母岩が同じで粒径が $297 \sim 420 \mu$ のフルイを通過したもの(豊浦粗砂)、 $105 \sim 297 \mu$ を通過したもの(豊浦標準砂)、それを粉碎しすべて 74μ 以下にしたもの(豊浦粉碎砂)¹⁾と、藤の森粘土²⁾(粘土分39%、シルト分51%、 $74 \sim 420 \mu$ 分10%)の計4種類で土粒子比重は豊浦産出の砂が 2.640 g/cm^3 で藤の森粘土が 2.679 g/cm^3 であった。豊浦産出の砂・藤の森粘土とも気乾状態の試料土を精製水中に空気が混入しないように溶解させ飽和状態にし、必要に応じて水平打撃や圧密を行い所定の容積含水率の供試体にした。供試体は円柱状で直径100mm・高さ110mmである。図1に示

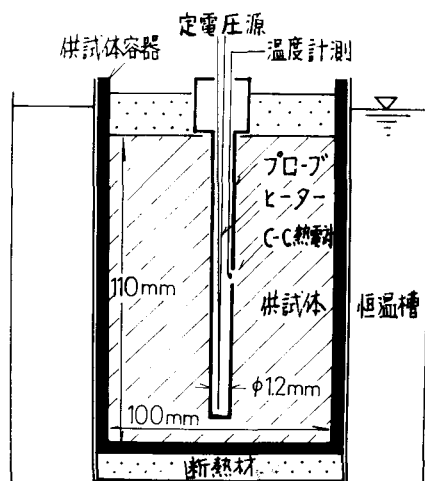


図1. 熱伝導率測定装置模式図

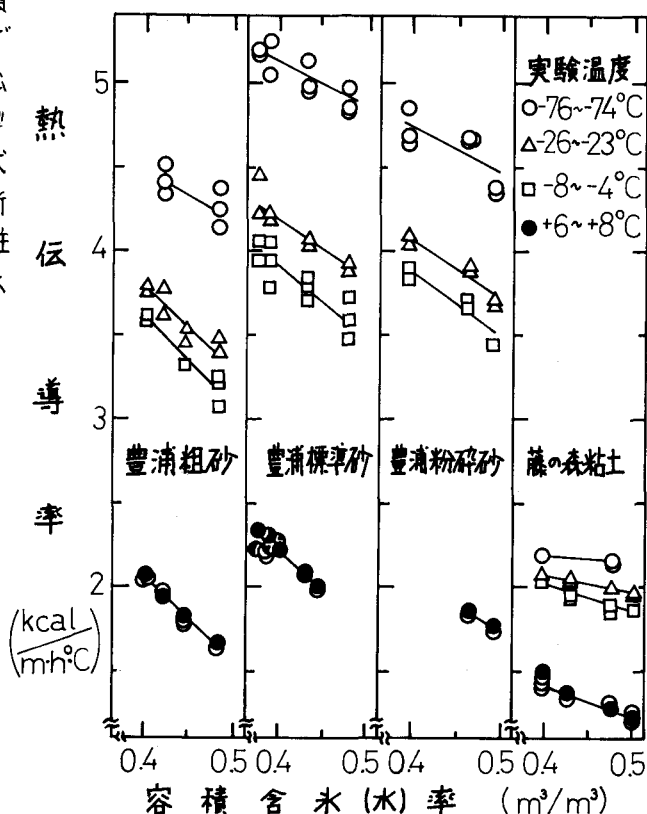


図2. 種々の試料土の熱伝導率と容積含水(水)率の関係

したように供試体の中心に外径 1.2 mm ・長さ 105 mm のヒーター測定用熱電対を内蔵するサーマル・プローブを挿入した後、下方から急速に凍結させた。このように作製した供試体を容器ごとと実験温度(温度のゆらぎは $\pm 0.02^\circ\text{C}$)にした恒温槽内に浸し実験温度になったことを確認した後、プローブ内のヒーターの加熱を開始し、加熱によるプローブの温度上昇から熱伝導率を算出した³⁾。測定中のプローブの温度上昇は通常 2°C 以内、熱伝導率が温度によって大きく変化する場合には 0.2°C 以内にした。

3. 実験結果及び考察

図2に種々の実験温度での、容積含水(水)率と熱伝導率の関係を示す。熱伝導率の値は、同じ実験温度では常に砂の方が粘土よりも大きく凍土の場合では2倍程度であった。又凍土では温度が高いほど、熱伝導率は小さくなった。本実験での容積含水(水)率はほぼ $0.39\text{ m}^3/\text{m}^3$ から $0.49\text{ m}^3/\text{m}^3$ であり、この範囲内で容積含水(水)率が増加するにつれ熱伝導率は減小し、それはほぼ直線的であった。この減小の割合は粘土の方が砂よりも小さい。又同一試料土では温度が低いほど小さく、 $-74\sim-76^\circ\text{C}$ での藤の森粘土では殆んど減小しなかった。なお同じ実験温度、容積含水(水)率での3種類の豊浦産出の砂の熱伝導率の大きさを比べると、豊浦標準砂が一番大きく次いで粒径の最も細かい豊浦粉砕砂、そして最も粒径の粗い豊浦粗砂の順であったことは、飽和状態での熱伝導率が土粒子と水(氷)の単なる割合だけでは決定できないことを示し、従来の熱伝導率の推定モデルと相反し興味深いので今後の課題としたい。

次に図3、図4に豊浦標準砂及び藤の森粘土にNaClを混入した供試体を作製し測定を行った結果を実線によって示す。(図中のNaCl濃度とは、溶液に対する溶質の重量百分率である。)豊浦標準砂ではわずかのNaClの存在によっても熱伝導率は減小するが藤の森粘土では同じ程度のNaCl濃度では変化しなかった。この原因を調べるために、ほぼ同じ条件の土の比熱を断熱型熱量計で測定しこれより不凍水分量の温度による変化を算出した。(図3、図4の小さい丸で示した。)豊浦標準砂ではNaClが凍土内に存在することにより不凍水は非常に増加するが、藤の森粘土ではNaClの存在によってもあまり変化しない。この違いがNaClを含む砂及び粘土の熱伝導率の減小の仕方に影響したと考えられる。

4. 結 言

飽和の凍土及び未凍土の熱伝導率は、温度・試料土が同じでも容積含水(水)率が増加することによりほぼ直線的に減小した。又同じ容積含水(水)率の場合でさえ、粒径が異なると熱伝導率が異なり興味深い。又塩分による凍土の熱伝導率の減小は砂の場合著しかった。

参考文献

- 1) 高志他(1980)土木学会講演概要集オ3部, p.207~208
- 2) 高志他(1981)土木論文集 Vol.315, p.83~93
- 3) Woodside他(1961) J. Applied Physics, Vol.32, p.1688~1699

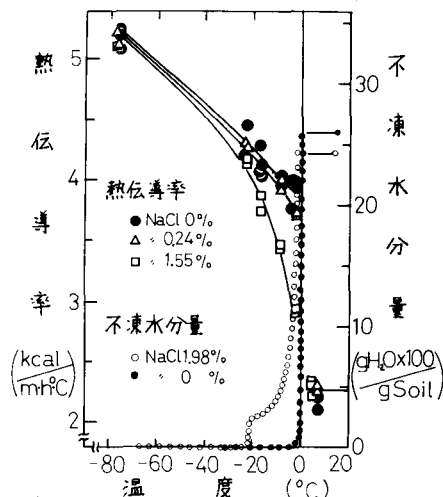


図3. NaClを含む豊浦標準砂(容積含水率=0.38)の熱伝導率と不凍水の温度変化

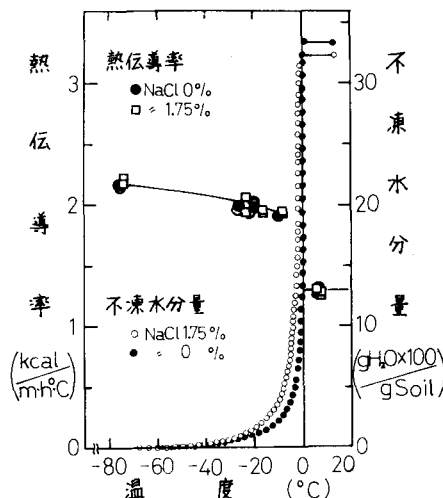


図4. NaClを含む藤の森粘土(容積含水率=0.44)の熱伝導率と不凍水の温度変化