

III-323

不凍水を考慮した凍土の比熱及び温度拡散率の推定について

東北大学 正員 ○ 姚 義久

同 正員 柳沢榮司

1. まえがき

近年の人工地盤凍結工法等の発展に伴って、周辺地盤の熱的条件を明らかにする必要性が高まってきているが、このために、地盤の凍結、未凍結状態における熱的常数を詳しく調べる必要がある。本研究では異種の土で同一の乾燥密度の場合に焦点をしぼり凍土及び未凍土の比熱、温度拡散率に及ぼす含水比、温度の影響を調べる実験を行ない、不凍水量を考慮した凍土の比熱及び温度拡散率を近似的に推定する方法を得たので、その結果を報告する。

2. 供試体の作成及び実験方法

試料土は、藤の森粘土と青葉山ローム2種類であり、その粒度分布及び物理的性質は文献¹⁾に示す通りである。これらの試料を水を加え、所定の含水比に調整したものを直径10cm、容積10³cm³の試料円筒に所定の乾燥密度で静的に締固めて作成した。作成した供試体は一定温度に保たれた冷凍庫に入れて、24時間以上保存し、一定温度の雰囲気のもとで測定することとした。

比熱及び温度拡散率の測定は非定常法である線状熱源（サーマル・プローブ）で熱伝導率と同時に行なう間接測定によった。供試体の内部温度が一定に達したことを確認してから、所定の直流電圧を加え、3秒毎に2分間中心点の温度上昇を記録する。この加熱過程で、熱源中心の温度の経時的変化($T - T_0$)/ $\sqrt{t}$ と $\sqrt{t}$ の関係を求めて、初めの短時間の間は直線状となり、時間の経過とともに両者は直線状から次第に離れて行く。その測定原理と求め方についてここでは省略するが詳細は文献²⁾を参照されたい。

3. 実験結果及び考察

3.1 比熱の温度依存性

前述した2種類の土について、その比熱と温度の関係を示すと図-1の通りである。この図より明らかにように、未凍土及び凍土の比熱は、温度の上昇と共に大きくなる。これは、水の比熱は温度依存性を無視できるぐらい小さいが、土粒子の比熱は、温度が高くなるに従ってやや大きくなり、水の比熱は温度が高いほ

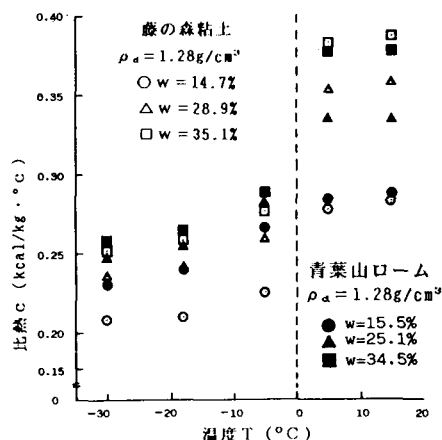


図-1

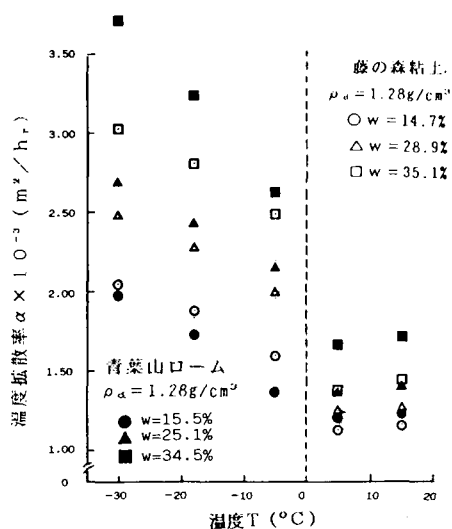


図-2

ど大きくなるからである。即ち、凍土の比熱の温度依存性は大部分が水に支配されているからと考えられる。なお同一温度における土の比熱は、低含水比より高含水比の方が大きい。これは土の比熱は、おのおのの比熱とその構成の割合から考えれば妥当なことである。なぜならば水または水の比熱は土粒子のそれより遥

かに大きいからである。

3.2 温度拡散率の温度依存性

図-2は2種類の土についての温度拡散率と温度の関係を示す。この図より凍土の温度拡散率は未凍土の値より大きく、温度が低くなるほど大きくなる傾向が見られる。このことは温度変化に伴う熱伝導率と比熱の変化からも予想できることである。

3.3 比熱の計算値と実測値の比較

土の比熱は、おのおのの比熱と割合から次式によって計算できる。即ち、未凍土の比熱 c_u は

$$c_u W = c_s W_s + c_w W_w + c_a W_a \quad (1)$$

ここに c_s 、 c_w 、 c_a はそれぞれ土粒子、水、空気の比熱であり、 W 、 W_s 、 W_w 、 W_a はそれぞれ土の全重量、乾燥重量、水重量、空気重量であるが、 W_a は他に比して小さいので無視できる。従って式(1)は次式のようになる。

$$c_u W = c_s W_s + c_w W_w \quad (2)$$

または

$$c_u = \frac{1}{1+W} (c_s + W c_w) \quad (3)$$

一方、凍土の比熱 c_f は

$$c_f W = c_s W_s + c_w (W_w)_u + c_i W_i \quad (4)$$

または

$$c_f = \frac{1}{1+W} [c_s + w_u c_w + (w - w_u) c_i] \quad (5)$$

ここに c_i は水の比熱であり、 w_u 、 w はそれぞれ未凍水量、初期含水比である。式(3)と式(5)を用いて計算した値と実測値の比較は図-3である。計算値は一般に凍土の場合、実測値よりやや小さく、未凍土の場合実測値よりやや大きいという傾向が見られるが大きな差が見られなかった。

3.4 温度拡散率の推定

温度拡散率の推定は、熱伝導率の推定式と上記比熱の計算式を用いて温度拡散率 $\alpha = k / c \rho$ より計算したものである。熱伝導率 k の推定式として次式を用いた。即ち

$$k = k_s^a \cdot k_w^b \cdot k_i^c \cdot k_a^d \quad (6)$$

である。計算値と実験値の比較は図-4に示す通りである。計算値は実験値より大きくなる傾向が見られる。これは熱伝導率の推定による誤差から生じたものであると考えられる。

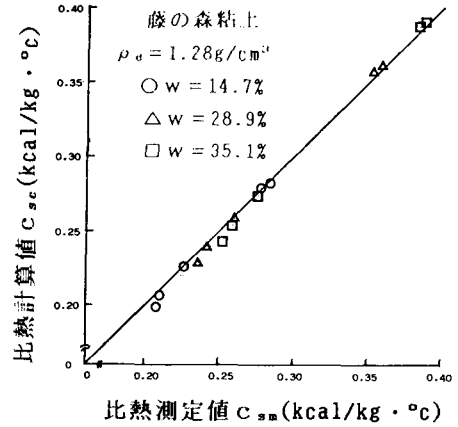


図-3

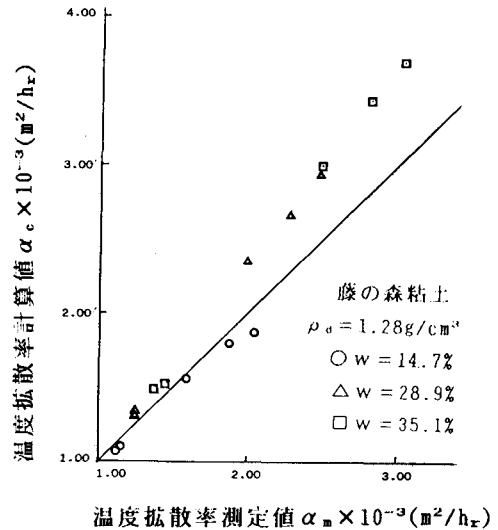


図-4

4. まとめ

本測定法は間接であるが熱伝導率、熱浸透率 $\sqrt{k c \rho}$ と同時に測定することができるという利点があるので実用的に有効である。

参考文献1) 桃・柳沢、1986：土の熱伝導率とその推定、第6回東北支部研究討論会講演集、土質工学会東北支部、pp59-66

2) 岡垣理、1957：熱伝導率、熱浸透率、温度拡散率及び比熱の同時測定法について、衛生工業協会誌、第33巻第7号、pp20-29