

摂南大学大学院 学生員 ○藤井 正明
 摂南大学 田中 富博
 大阪工業大学共同研究センター 越智 秀
 摂南大学工学部 正会員 伊藤 譲

1. はじめに

近年、化石エネルギー資源の枯渇と温室効果ガスによる地球温暖化が社会問題化している。これを解決するために産業界では様々な効率的なエネルギーの技術が開発されている。土木分野での試みとしては冬期の道路融雪を目的とした地盤蓄熱が提案された。しかし、この方法では予測と制御が困難な地盤の熱特性に依存するため設備投資に多大の費用を用するなどの解決すべき課題がある。

本研究では地盤蓄熱技術を発展させるために、熱伝導率の予測と改良方法の検討を試みた。予測方法としては、現在北欧などで使用され、最も信頼性があると言われる Johansen モデル¹⁾ (以下 J モデル) について行った。

2. 検討方法

実験に用いた試料土は西日本に広く分布するマサ土であり、土粒子の密度は 2.682g/cm^3 であり、粒度分布は図 1 に示されているとおりである。また、J モデルを用いるためには石英含有率を調べる必要がある。そこで、X線回折²⁾の定量分析によりマサ土の石英含有率を求めた。方法としては、マサ土に水晶を粉碎した石英を 0、2.5、5、7.5、10%と混合させて、測定した回折線強度を最小二乗法を用いて評価した。その結果、図 2 に示されるように石英含有率を 35%とした。

次に J モデルにより推定した熱伝導率がマサ土に適用するか調べた。J モデルは表 2 に示されるもので、未凍土においては石英含有量 q 、乾燥密度 ρ_d 、間隙率 n 、飽和度 S_r の関数で表される。ここで、J モデルにより求めた推定値と実測値を比較するためにマサ土の熱伝導率をプローブ法³⁾により測定した。プローブ法は試料に一定の熱を与えて生じる温度変化から熱伝導率を求める方法である。実験は熱伝導率に及ぼす含水比や乾燥密度の影響を調べるために、表 3 に示すような条件で熱伝導率を測定した。

表1 Johansenによる未凍結における鉱物土の熱伝導率の算定

$$\lambda = (\lambda_{sat} - \lambda_{dy}) K_c + \lambda_{dy}$$

$$\lambda_{sat} \text{ (未凍結)} = 0.57^n \cdot \lambda_s^{(1-n)}$$

$$\lambda_{dy} = \begin{cases} (0.137 \rho_d + 64.7) / (2700 - 0.947 \rho_d) & \text{(自然)} \\ 0.039 \cdot n^{-2.2} & \text{(碎石)} \end{cases}$$

$$K_c \text{ (未凍結)} = \begin{cases} 0.7 \log S_r & (S_r > 0.05) & \text{(粗粒)} \\ \log S_r + 1.0 & (S_r > 0.1) & \text{(細粒)} \end{cases}$$

$$\lambda_s = \begin{cases} 7.7 \times 2.0^{1-q} \\ 7.7 \times 3.0^{1-q} & (q < 0.20) \end{cases}$$

ただし、石英の熱伝導率 7.7 (W/m/K)

石英以外の固相部分の熱伝導率 2.0 (W/m/K)

表2 熱伝導率測定の実験条件

CASE	実験条件
1	含水比変化 $\omega = 6.05 \sim 14.90$ (%), $\gamma_d = 1.739 \sim 1.756$ (g/cm ³)
2	含水比変化 $\omega = 5.75 \sim 15.18$ (%), $\gamma_d = 1.809 \sim 1.819$ (g/cm ³)
3	含水比変化 $\omega = 5.86 \sim 14.51$ (%), $\gamma_d = 1.871 \sim 1.929$ (g/cm ³)
4	乾燥密度変化 $\gamma_d = 1.624 \sim 1.917$ (g/cm ³), $\omega = 8.13 \sim 8.37$ (%)
5	乾燥密度変化 $\gamma_d = 1.606 \sim 1.954$ (g/cm ³), $\omega = 12.20 \sim 12.37$ (%)
6	乾燥密度変化 $\gamma_d = 1.616 \sim 1.886$ (g/cm ³), $\omega = 13.71 \sim 13.89$ (%)

Masaaki FUJII, Tomihiro TANAKA, Hiizu OCHI, Yuzuru ITO

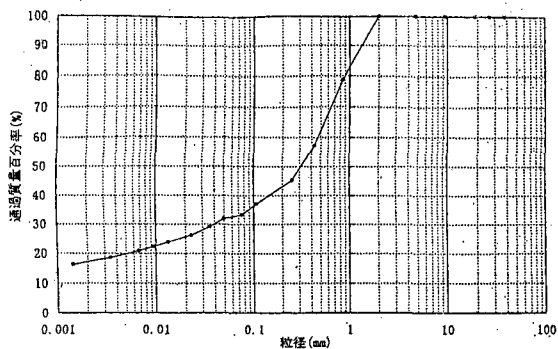


図1 マサ土の粒径加積曲線

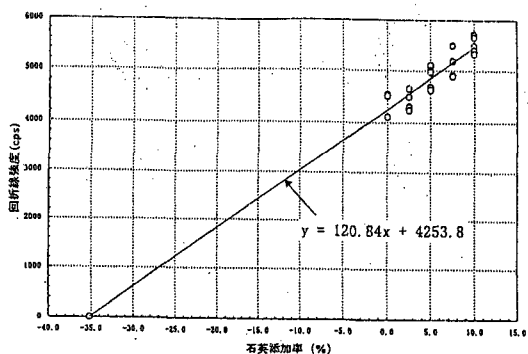


図2 マサ土の石英含有率の測定

結果と考察

J式による推定値と実測値の比較は乾燥密度一定含水比変化では図3、含水比一定乾燥密度変化では図4に示す。図3においては、熱伝導率の測定値は含水比が増加するほど高くなる。しかし、これはJ式により推定した熱伝導率よりも低かった。図4においては、測定値は乾燥密度が増加するほど熱伝導率は高くなる。これも、J式により推定した熱伝導率よりも低かった。また、J式では実測値の乾燥密度が高い場合、実測値と推定値の差が小さくなる傾向にある。図3、4からは、それぞれの近似線の勾配はほとんど一致しているが差は大きく、J式をそのまま使用するには問題があると思われる。そこで、熱伝導率を低減させるために、表2に示されている K_e に0.8を乗じた式を以下に提案した（以後修正J式とする）。

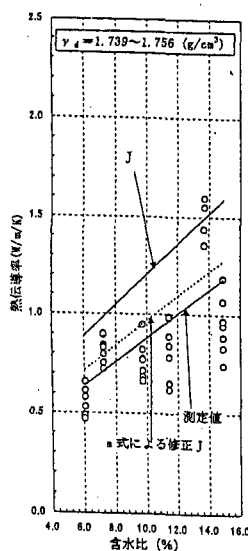


図3 乾燥密度一定含水比変化

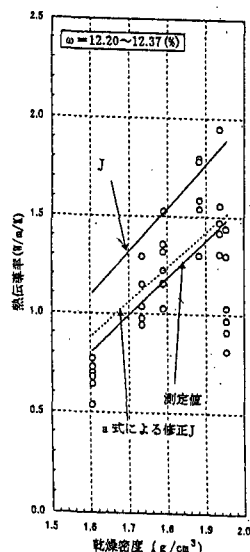


図4 含水比一定乾燥密度変化

$$\lambda = (\lambda_{\text{sat}} - \lambda_{\text{dry}}) \times K_e \times 0.8 + \lambda_{\text{dry}}$$

(a)

図3、4に示されるように修正J式では、実測値との差は修正前よりも小さくなり、この程度であれば修正J式を使用できる可能性は十分にあると考えられる。

3. まとめ

図3、4からマサ土におけるJ式は乾燥密度の高い方が一致しやすい傾向にある。しかし、それ以外では実測値と推定値との差は大きかった。新しく提案した修正J式では、25%の誤差程度であれば土の熱伝導率を推定することは可能であると考えられた。ただし、石英含有率の値に影響されるのでその正確な測定が必要となる。

<参考文献>1) 土質工学会：土の凍結—その理論と実際—，土質工学会，pp. 33-38，1994

2) 理学電気株式会社：X線回折の手引き，理学電気株式会社，pp. 1-64

3) 粕淵辰昭：土壌の熱伝導率におよぼす水分の影響，日本土壌肥科学雑誌，pp. 437-441，1972