

砂および粘土の熱伝導率の水分・NaCl濃度依存性のモデル化

Modeling of Thermal Conductivity of Sand and Clay as a Function of Water Content and NaCl Concentration

望月 秀俊, 溝口 勝, 宮崎 毅

Mochizuki Hidetoshi, Mizoguchi Masaru, Miyazaki Tsuyoshi

1. はじめに 土壌の砂漠化・塩類化は地球温暖化と並ぶ地球環境問題である。この問題を解決するために、多くの研究者は、土壌中の水・熱・塩類の同時移動解析を行っている。通常この解析には各要素の移動係数を水分量や温度、塩類濃度などの関数として表す必要がある。本研究では、こうした移動係数の中から、土壌の熱伝導率を取り上げた。土壌の熱伝導率は水分量・温度・塩類濃度などによって変化し、水分依存性や塩類濃度依存性を表現するモデルはあるが、両方の依存性を同時に表現できるモデルは見当たらない。そこで、本研究では、実測値に基づいて、砂および粘土の熱伝導率の水分・NaCl濃度依存性を同時に表す実験式を提案する。

2. 実験 豊浦砂とガラスビーズ(以下GB015), カオリンの熱伝導率をプローブ法を用いて測定した。

水分依存性: NaClを含まない豊浦砂の熱伝導率の水分依存性をFig. 1に示した。熱伝導率は水分量の増加に伴って三段階の変化を示した: 急激に上昇(第1段階), 直線的に上昇(第2段階), 測定結果のバラツキが大きく、統一した傾向がない(第3段階)。NaCl濃度を変えても傾向に変化はなかった。試料によって各段階の境界の水分量は異なるが、GB015やカオリンについても同様の水分依存性が確認された。

NaCl濃度依存性: 水分依存性で示した第2段階のみについて豊浦砂, GB015, カオリンの熱伝導率のNaCl濃度依存性を検討した。なぜなら, Fig. 1に示したように、わずかなサククション変化が大きな水分量変化を引き起こす領域だからである。

豊浦砂の熱伝導率の第2段階におけるNaCl濃度依存性をFig. 2に示した。NaCl濃度依存性は二つのパターンに分けられる。 $w=4\%$ では熱伝導率はほとんど変化しないが、 $w=12\%$ では、NaCl濃度の上昇に伴って低下した。

GB015とカオリンの場合は、豊浦砂の場合と逆に、低水分域で熱伝導率は低下し、高水分域で上昇した。しかし、全ての試料の熱伝導率は、第2段階に含まれる含水比では、NaCl濃度の上昇に対して直線的に変化した。

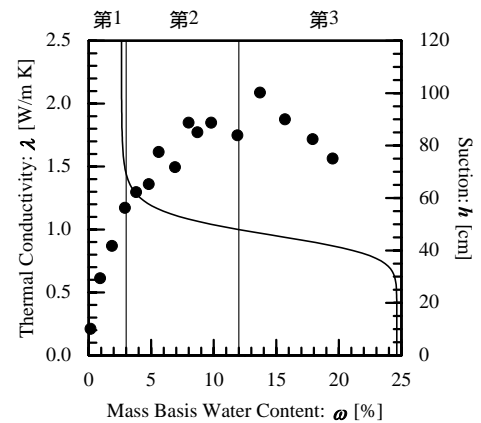


Fig. 1 豊浦砂の熱伝導率の水分依存性と水分特性曲線

Effect of water content on λ of Toyoura Sand and WCC

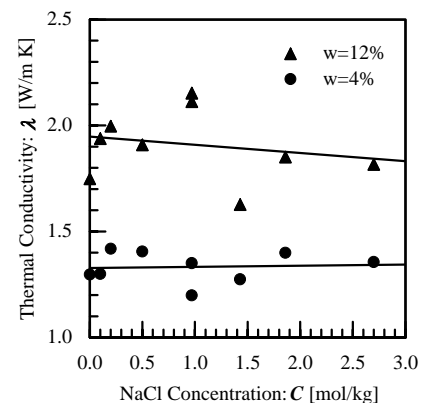


Fig. 2 豊浦砂の熱伝導率のNaCl濃度依存性
Effect of NaCl Concentration on λ of Toyoura Sand

3. 実験式の提案 水分依存性の第2段階では, 豊浦砂, GB015, カオリンの熱伝導率は, NaCl濃度の上昇にともなって直線的に変化したので, この特性を利用して実験式を作った. すなわち熱伝導率 λ を, 傾き m とNaCl濃度 C , NaCl濃度が0mol/kgの時の熱伝導率 λ' を用いて, Eq.(1)で表現した.

$$\lambda = m \cdot C + \lambda' \quad (1)$$

さらに, 傾き m と λ' の含水比依存性を調べたところ, Fig. 3に示したように, m も λ' も第2段階に含まれる含水比では試料によらず, 直線的に変化した. そこで, この性質を利用すると, Eq.(1)はEq.(2)のように,

含水比 ω とNaCl濃度 C を変数とした, 線形の実験式となった. ここで, Eq.(2)の各パラメータは, Fig. 3に示した近似直線の傾きとY切片で与えられる. (Table 1)

$$\lambda = (a \cdot \omega + b)C + (a' \cdot \omega + b') = a \cdot \omega C + b \cdot C + a' \cdot \omega + b' \quad (2)$$

4. 既存のモデルとの比較 Eq.(2)と既存の熱伝導率予測モデル(Noborio et al. (1993): 塩類濃度依存性, de Vries (1963), 粕淵 (1982): 水分依存性) を用いて, 予測値と測定値を比較した (Fig. 4). Eq.(2)は, 試料によらず, 既存のモデルと同等以上に測定値をよく再現でき, 計算が簡便で, 汎用性が高いことがわかる.

5. まとめ 砂および粘土の熱伝導率の水分・NaCl濃度依存性を表現する適用性の高い線形の実験式を提案した. ただし, 乾燥状態や極度の湿潤状態では, 本モデルの適用性に限界があると考えられる.

参考文献 Noborio and McInnes (1993): SSSAJ, p.329-334, de Vries (1963): *Physics of Plant Environment*, pp.210-235, 粕淵 (1982): 農技研報 B, p.1-54

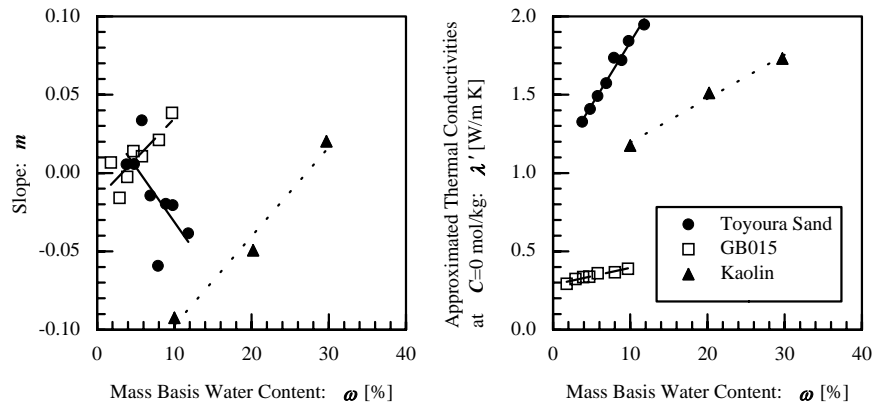


Fig. 3 傾き m とNaCl濃度0mol/kgの時の熱伝導率 λ' の含水比依存性
 m and λ' as a Function of Water Content

Table 1 Eq. (2) の各パラメータ Parameters of Eq. (2)

	a	b	a'	b'
Toyouira Sand	-0.00703	.03896	.08056	1.0301
GB015	.00514	-.01663	.01083	.28678
Kaolin	.00568	-.15399	.02799	.91439

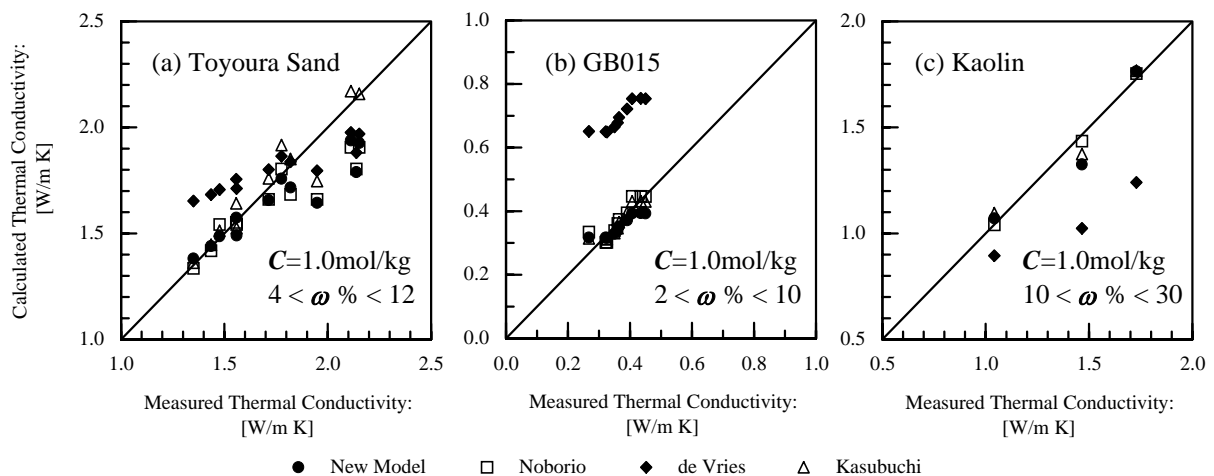


Fig. 4 熱伝導率の測定値とモデルを用いた計算値の比較 ($C=1.0\text{mol/kg}$)
Comparison between Calculated and Measured Thermal Conductivities ($C=1.0\text{mol/kg}$)