ガラスビーズを用いた実験による不飽和砂の熱伝導特性の研究

岡山大学　学生会員　○中村　隆史
岡山大学　正会員　木本　和志

１．はじめに

地盤や岩盤の熱伝導性を正確に評価し予測することは，地熱開発や地下空間を利用した廃棄物処分において重要である．しかしながら，地盤は土粒子，水，空隙から成る飽和/不飽和多孔質体であるため，間隙や水分の多寡，形状，連結性に応じて，熱や水の輸送特性は複雑に変化するため，多様な地盤材料に対して成り立つような熱伝導率の予測式を与えることは困難である．そこで岩崎ら 1)は，豊浦砂の熱伝導率を室内実験によって求め，飽和度との関係を明らかにするとともに，簡単な周期多孔質体を用いた熱伝導シミュレーションで，実験的に求めた熱伝導率がよく再現できていることを示している．ただし，飽和度を変えた熱伝導実験の結果は，豊浦砂に対してのみ行われており，熱伝導と飽和砂の関係が，より粒径の小さな砂やシルト質土に対してもあてはまるか否かは明らかでない．以上のことを踏まえ，本研究では，粒径の異なるガラスビーズを用いて，温度場の時間変化の計測結果と熱伝導方程式の数値解析解をフィッティングすることで不飽和ガラスビーズカラム全体の平均的な熱伝導率を求めることで，粒径が不飽和砂の熱伝導性に与える影響を調べた．

２．実験概要

本実験には，豊浦砂と東新理工(株)製のガラスビーズを用いた．**図-1** に(a)ガラスビーズの粒径 0.2mm，(b)豊浦砂の画像を示す．ガラスビーズの粒径は，豊浦砂の 50%粒径 D_50 が 0.17mm 程度である 2)ことを考慮し，0.05mm，0.2mm，0.8mm のそれぞれで円柱カラム供試体を作成し，温度計測と熱伝導率の推定を行った．

実験に使用した装置を**図-2** に示す．スタイロフォームの容器により豊浦砂とガラスビーズの円柱カラム供試体の側面を断熱し，定温に保ったウォーターバスにスタイロフォーム容器底部を接触させることでカラム底部を加熱あるいは冷却した．温度計測は，容器側面に埋め込んだ防水加工の K 型被覆熱電対を用いた．

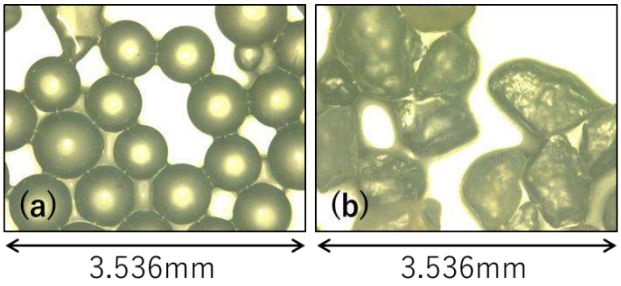

図-1　含水したガラスビーズと豊浦砂

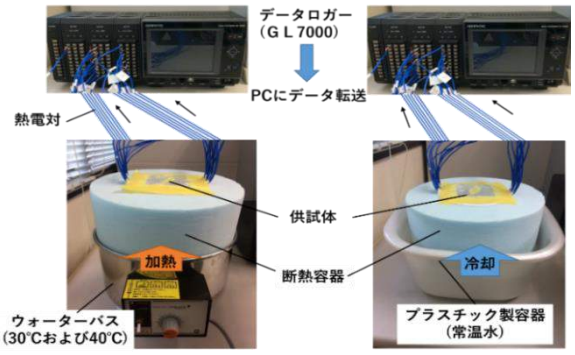

図-2　実験装置の構成

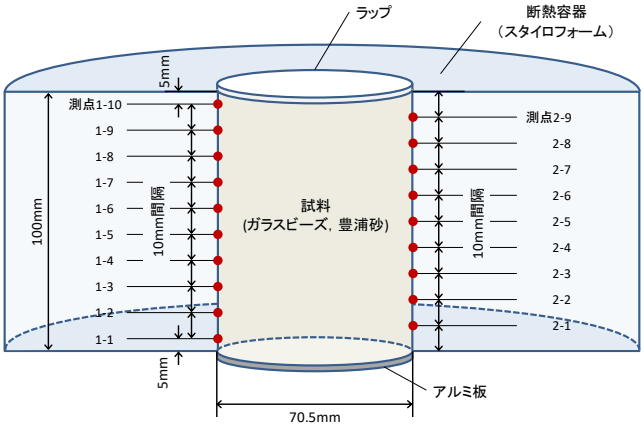

図-3　供試体寸法と温度計測位置

実験によって得られた供試体内部の温度データの両端点を境界条件として与え，有限要素法により式(1)の一次元熱伝導方程式の数値解を求めた．

$$\bar{\rho}\bar{c}\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}\left(\bar{\lambda}\frac{\partial T}{\partial z}\right) \qquad (1)$$

キーワード　熱伝導率，ガラスビーズ，一次元熱伝導方程式
連絡先　〒700-8530　岡山県岡山市北区津島中 3-1-1 岡山大学環境理工学部
ＴＥＬ086-251-8801

式(2)より実験データと数値解の残差rが最小となるときの熱伝導率を求め，これを実験に用いた試験体の熱伝導率の推定値とした．

$$r^2 = \int_0^{t_{end}} \sum_{i=2}^{18} |T(z,t) - T_i(t)|^2 dt \qquad (2)$$

3． 実験結果

図-4 に乾燥状態と飽和状態の豊浦砂を40℃で加熱した時の供試体内部温度の時刻歴および一次元熱伝導方程式の数値解析結果を示す．実験値を点で，一次元熱伝導方程式の数値解析結果を実線で示している．飽和した試料は乾燥した試料に比べ，供試体上部まで熱が伝わっていることが分かる．数値解析解と実験値の比較では，わずかな温度差が見てとれる．

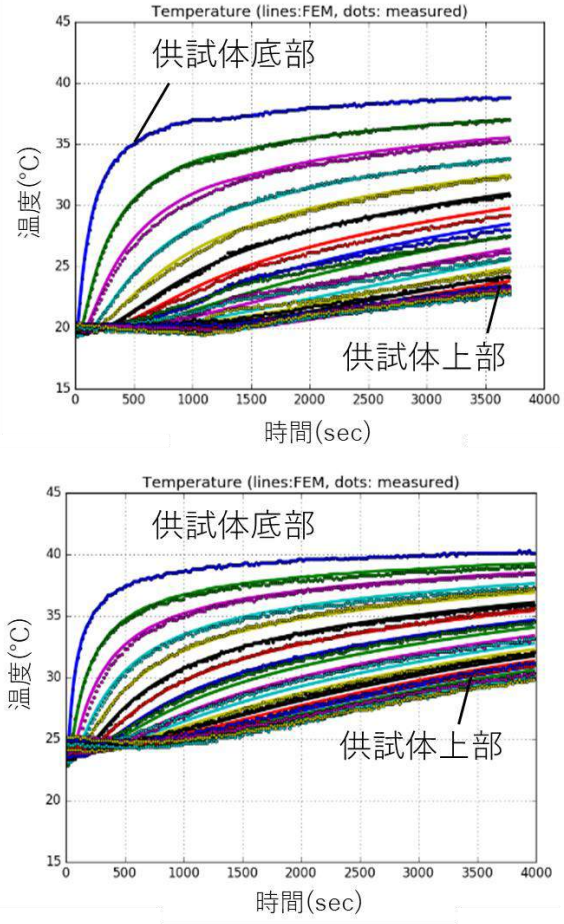

図-4　背景差分法の処理の流れ

豊浦砂を用いて作成した供試体を30℃と40℃の熱浴で加熱，また常温水で冷却した場合において，算出した熱伝導率と飽和度の関係を**図-5** に示す．熱負荷の与え方の顕著な違いは見られなかった．40℃の熱浴で供試体を加熱した場合において，試料ごとに算出した熱伝導率と飽和度の関係を**図-6** に示す．豊浦砂を用いた供試体では，低飽和度領域で熱伝導率が飽和度の増加とともに急激に上昇する傾向があり，高飽和度領域では，飽和度の増加に対する熱伝導率の上昇は緩慢である．ガラスビーズを用いた供試体における熱伝導率は，飽和度に関わらず，緩やかに上昇している．粒径の異なるガラスビーズによる顕著な違いは見られなかった．

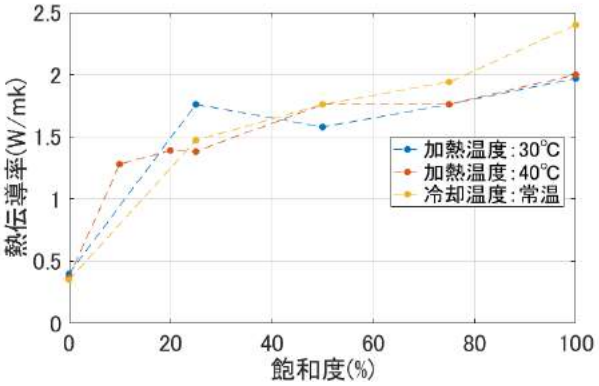

図-5　熱負荷による熱伝導率の飽和度の関係

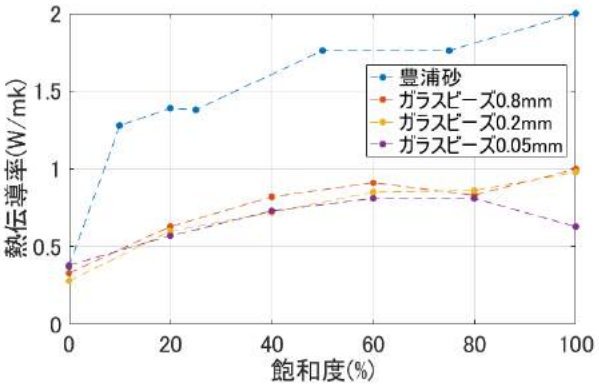

図-6　各試料における熱伝導率の飽和度の関係

4． まとめ

本研究において，粒径が不飽和砂の熱伝導性に与える影響を調べ，得られた知見とその成果をまとめる．

・豊浦砂における加熱温度の比較結果から，熱負荷の与え方による熱伝導率の影響は見られない．

・豊浦砂と粒径の異なるガラスビーズの比較では，低飽和度領域において熱伝導率の傾向が大きく異なる．

以上より，粒径によって熱伝導率の差が見られないことから，熱伝導率は，複数の粒径や形状から構成されている不飽和砂の場合，粒子の形状やぬれ性などの接触面積による他の要因が影響を与えると考えられる．

参考文献

1) 岩崎圭介，木本和志，市川康明：含水した砂質土の熱応答特性に関する実験および数値解析　応用力学論文集

2) 瀬戸内秀規，小宮康明：シリカ砂および石灰質砂の粒子形状と間隙比および内部摩擦角の関係