

ベントナイト・珪砂混合土の粒径加積曲線の近似方法に関する一考察

鹿児島大学 学生会員 前田 成美

鹿児島大学大学院 正会員 酒匂 一成, 伊藤 真一

(株)大林組 正会員 佐藤 伸, 森岩 寛稀, 深谷 正明, 山本 修一

1. はじめに

放射性廃棄物の深地層処分において、高い自己シール性と遮水性を持つベントナイト系材料が緩衝材として使用される。廃棄物施設の安全性評価には、THM 連成解析が用いられる。この解析を実施するためにはベントナイト系材料の水分特性曲線を把握することが重要である。しかし、水分特性曲線を得るための保水性試験は試験期間が長い等の課題がある。そこで、Sako ら¹⁾ が提案する粒度や間隙比から、水分特性曲線や不飽和透水係数ができる数値モデル（以下、間隙モデルと称す）の適用を検討している。このモデルでは、粒度試験結果をもとに粒径加積曲線を対数正規分布で近似し、間隙分布や水分特性曲線を推定している。しかし、混合土は粒径に段差があるため、本研究では、ベントナイト・珪砂混合土の粒径加積曲線の近似方法について考察した。

2. 対数正規分布による粒径加積曲線の近似

既往の研究において多くの土の粒径分布は対数正規分布に従うことが知られている²⁾。間隙モデルでは、対数正規分布による粒径加積曲線の近似を行っている。

対数正規分布は確率変数 X について $\ln X$ が正規分布に従うものであり、 X の確率密度関数は次式で表わされる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta x} \exp \left[-\frac{(\ln x - \lambda)^2}{2\zeta^2} \right] \quad (0 < x < \infty) \quad (1)$$

ここに、 λ : $\ln x$ の平均、 ζ^2 : $\ln x$ の分散。

本モデルでは、粒度試験から得られたデータに対して非線形回帰分析を行い、対数正規分布の λ と ζ を推定する。非線形回帰分析では、最小二乗法の Taylor 微分補正法を用いている。手法の詳細は紙面の都合により割愛するが、この手法では、初期の λ , ζ を与え、所定の精度が得られるまで推定値を更新しながら繰り返し計算される。よって、繰り返し計算の回数を少なくするため、2 点の粒径加積曲線

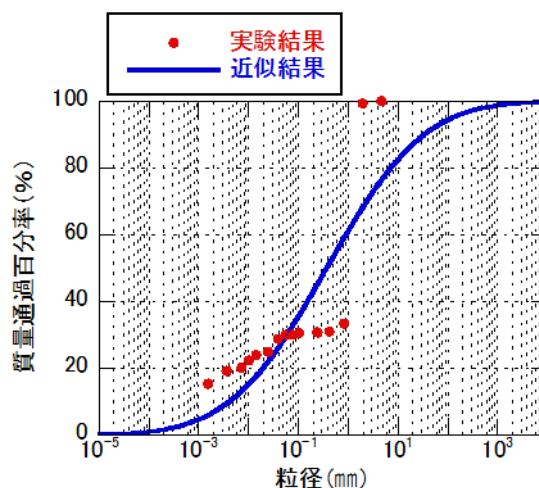


図-1 ベントナイト・珪砂混合土の試験結果と近似結果

データを用いて、初期の λ と ζ を求めている。

この近似法を用いて、ベントナイト・珪砂混合土（混合比 ベントナイト：珪砂＝3:7）の粒径加積曲線の近似を実施した結果を図-1 に示す。図より、粒度試験で得られた 2 種類の土を混合した土の粒径加積曲線は、2 つのモードを持っていることがわかる。この試験値に対して、対数正規分布を用いて近似した結果が図-1 の実線で表される。この近似は対数正規分布で近似しているため、2 つのモードを持つ曲線を表現することができていないことがわかる。そこで、2 つのモードを持つ曲線の近似方法について、次章で考える。

3. 混合土の粒径加積曲線の近似に関する検討

一般に 2 種類の土の混合土の粒径分布は混合する各土の粒径分布の重ね合わせに則る³⁾ことが知られる。そこで、ベントナイトと珪砂の粒径分布の重ね合わせによる近似が可能かどうかを検証するため、乾燥質量が 10g になるようにベントナイトと珪砂を混合比 3:7 で混合させた試料の粒度試験結果と、ベントナイトと珪砂の粒度試験で求めたそれぞれの粒径

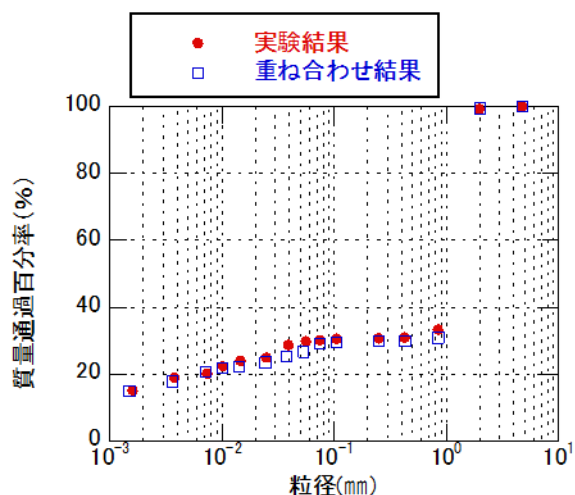


図-2 混合土の粒径加積曲線の実験値とそれぞれの土の粒径加積曲線を質量比で重ね合わせた計算値の比較（ベントナイト：珪砂=3:7）

加積曲線を混合比 3:7 で重ね合わせて算定した結果の比較を行い、その結果を図-2 に示す。図-2 より、混合土の粒径加積曲線の試験値とそれぞれの土の粒径加積曲線を混合比で重ね合わせた計算値がほぼ同じ曲線を示すことがわかった。また、混合比がそれぞれ 5:5 と 7:3 としたケースでも確認したが、試験値および計算値ともにほぼ同じ曲線を示す結果が得られた。このことから、混合土の粒径加積曲線を近似するため、ベントナイトおよび珪砂のそれぞれに近似させた対数正規分布の確率密度関数に混合比を乗じて重ね合わせすることとした。2 種類の土の混合土の粒径加積曲線を表すための確率密度関数を次式で示す。

$$f_{bi}(x) = \omega f_1(x) + (1-\omega) f_2(x) \quad (2)$$

ここに、 $f_{bi}(x)$: 2 つのモードの粒径加積曲線の確率密度関数、 $f_1(x)$, $f_2(x)$: 各土の粒径加積曲線の確率密度関数 (式(1))、 ω : 重み (混合比)。

4. 改良した近似方法と実験値の比較

式(1)、式(2)を用いて、ベントナイト・珪砂混合土のような 2 つのモードを持つ粒径加積曲線の近似を行う。それぞれの土の粒径加積曲線に関する確率密度関数 $f_1(x)$, $f_2(x)$ を非線形回帰分析から推定し、混合比から ω を決め、式(2)を用いて 2 つのモードを持つ粒径加積曲線の確率密度関数を求める。図-3 に、ベントナイト・珪砂混合土 (混合比 ベントナイト:珪

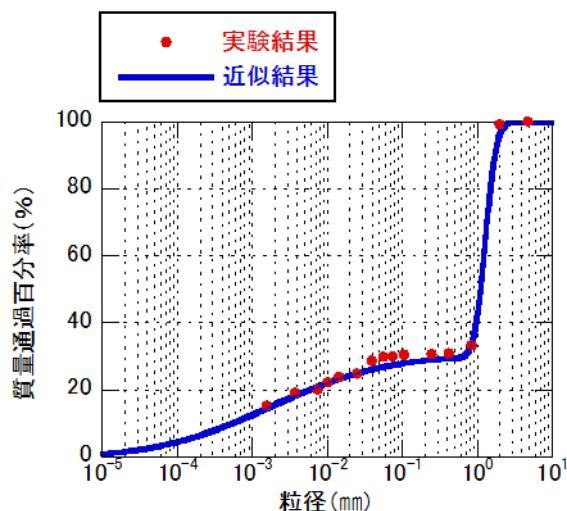


図-3 近似結果と試験結果の比較

砂=3:7) の粒径加積曲線の試験結果と近似結果を示す。図より、式(2)により試験結果を精度良く近似できていることがわかる。また、混合比 5:5, 7:3 においても同様な結果が得られた。以上のことからベントナイト・珪砂混合土の粒径加積曲線はベントナイトと珪砂それぞれの粒径加積曲線の重ね合わせによって表されることがわかった。

5. おわりに

本研究では、ベントナイト・珪砂混合土のような 2 つのモードを持つ粒径加積曲線の近似方法について検討を行い、2 種類の土のそれぞれの粒径加積曲線を重ね合わせることで近似できることがわかった。この粒径加積曲線を間隙モデルに組み込むことで、2 つのモードを持つ間隙径分布の推定ができ、水分特性曲線や不飽和透水係数などを推定することが可能となる。

参考文献

- 1) K. Sako and R. Kitamura: A practical numerical model for seepage behavior of unsaturated soil, *Soils and Foundations*, Vol.46, No.5, pp.595-604, 2006.
- 2) R. A. Bagnold and O. Barndorff-Nielsen: The pattern of natural size distributions, *Sedimentology*, Vol.27, pp.199-207, 1980.
- 3) M.D. Fredlund, D.G. Fredlund, and G.W. Wilson: An equation to represent grain-size distribution, *Can Geotech J*, Vol.37, pp.817-827, 2000.