

軟岩の不飽和透水パラメーター同定における遺伝的アルゴリズムの収束性の基礎研究

埼玉大学 地圏科学研究センター 正会員 ○ 渡辺邦夫
西松建設 正会員 石山宏二

はじめに

高レベル放射性廃棄物処分では、廃棄物運搬・定置等に要する操業期間が数十年と長く、地下水の解析では処分用トンネル周辺に発生する可能性のある不飽和領域の評価が大事となる。今回、処分場母岩の候補の1つである堆積軟岩の不飽和透水特性を Campbell モデルで表現し、モデルに内在する2つのパラメーターを遺伝的アルゴリズムを用いて同定した時の解の収束性について検討した。

1. 室内実験とパラメーター同定法

Campbellモデルは下記の式により表現できる¹⁾。

$$\theta = \theta_{sat} \left(\frac{\psi_e}{\psi} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad k = k_{sat} \left(\frac{\theta}{\theta_{sat}} \right)^m \quad (1)$$

ここに、 θ は水分量、 k は透水係数、 ψ は毛管ポテンシャル、 ψ_e はエア・エントリーポテンシャル、 b は定数で m は b から決まる値である。この式を軟岩に適用する場合、下記の2つの問題がある。

- ・ もともと Campbell モデルは砂質土についての式であり、軟岩に適用できるかを検証する。

- ・ モデルに内在する定数である ψ_e と b の実用的な決定法を確立する。

後者については、図-1に示すように、上面を除いてシールされたディスク状の試料を用いて、その上面からの蒸発量変化の実験値に解析値が合うようにパラメーターを逆推定する方法が提案されている^{2),3)}。ここで、蒸発量変化の解析は、試料内の水分と水蒸気の輸送を計算する事により行われる。Campbellモデルが実際の軟岩に適用できるかは、多くの試料について蒸発量計算式がどの程度良く近似できるか調査しなければならない。また、従来この蒸発実験は恒温恒湿槽の中で行われていたが、将来的な原位置計測を想定して、今回はそれに加えて、室内環境で2点センサー型蒸発計により蒸発量を計測し、同時に計測される温度・湿度に基づき蒸発量の計算を行なった。

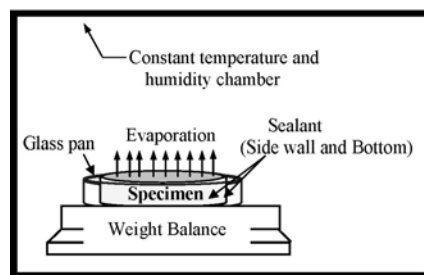


図-1 蒸発実験模式図

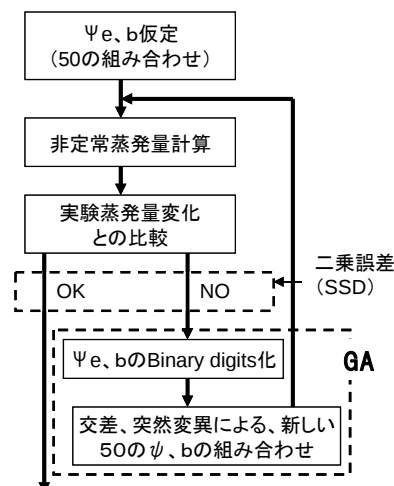


図-2 解析手順

図-2に、パラメーターの逆推定のフローを示す。今回のパラメーター同定は、遺伝的アルゴリズム (GA) により逐次近似的に行なった。GA計算のため、 ψ_e と b それぞれを22桁の2進法で表し、それらを合体した。つまり44個の0,1の数値で2つのパラメーターの組み合わせを表現した。今回の計算では、50個の異なるパラメーター組み合わせより成る1つの集合(プール)を作った。初期のパラメーターは乱数で与えた。各パラメーター組み合わせを用いて、蒸発量変化を計算し、実測値との違いを最小二乗誤差 (SSD) で評価した。実測値と計算値のSSDがすべての組み合わせで大きい場合は、パラメーター組み合わせを交差と突然変位のプロセスを用いて変化させ、次の世代 (generation) の集合を作成する。今回は1点交差を用い、交差させる組み合わせはRoulette wheel法で決定した。Roulette wheelの確率は、二乗誤差SSDの逆数に比例させた。また突然変異率は0.005とした。新しく作られた集合

キーワード 不飽和透水パラメーター、軟岩、キャンベルモデル、蒸発、遺伝的アルゴリズム

連絡先 〒338-8570 さいたま市下大久保 255 埼玉大学地圏科学研究センター Tel 048-858-3571

の各パラメーター組み合わせで同様に蒸発量変化を計算し、実測と比較してSSDを計算する。GAの収束性がよければ、図-3のようにSSDは変化するはずである。ここに、 SSD_{max} 、 SSD_{min} はそれぞれ各世代の集合の中の最大及び最小の二乗誤差である。 SSD_{max} と SSD_{min} の差(D_{SSD})は世代の進行と共に小さくなり、 SSD_{min} はほぼ一定値となる。

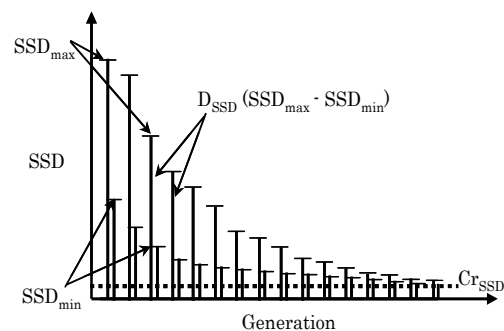


図-3 二乗誤差 SSD の変化

SSD_{min} が最小となるパラメーター組み合わせが求める解となる。ここで問題となるのは、SSDの収束性であり、実験結果を解析して検討する必要がある。

2. パラメーター同定

今回の研究では、試料として青森県六ヶ所村に分布する鷹架層のパミス凝灰岩及び砂岩を用いた。図-4は、例として、各々の岩種の蒸発量変化とGAで求められた最適パラメーターを用いた蒸発量解析結果を示したものである。なお、この実験は恒温恒湿槽内で行なわれた。図から、実測蒸発量変化が良く解析されており、これはCampbellモデルの妥当性を示した物と考えられる。図-5は、これらのパラメーター推定における、SSDの収束性を示している。

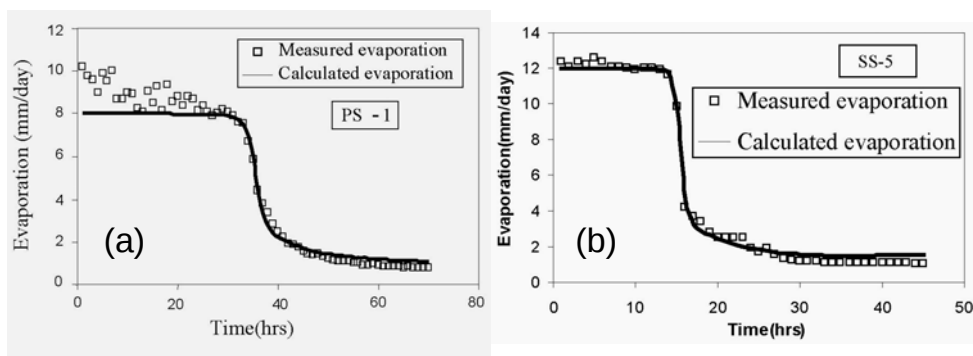


図-4 (a)パミス凝灰岩(b)砂岩の蒸発量変化の実測と解析

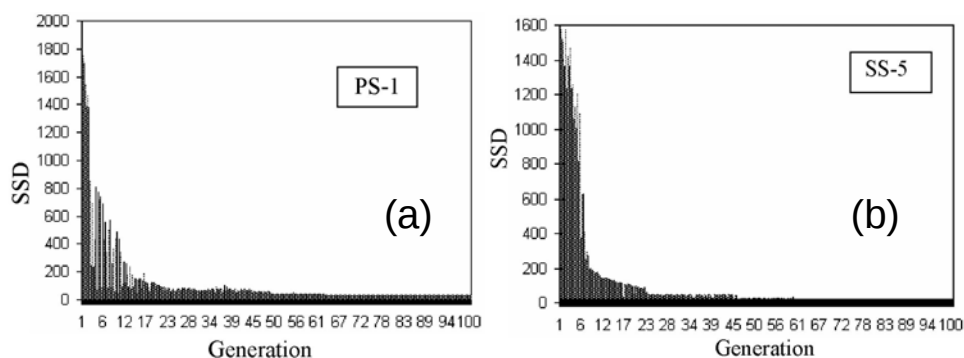


図-5 最小二乗誤差 SSD の変化

ほぼ20-25世代で収束して

いる事が分かり、GAが実用的であるといえる。

本研究では、温度・湿度が変化する室内の条件下でも蒸発実験を行ってパラメーター推定を行なったが、その場合、蒸発量の変化が大きく、やや最終最小二乗誤差が大きくなった。

3. 結論

今回、堆積軟岩の不飽和透水性をCampbellモデルで表現し、そのパラメーターをGAを用いて推定した。その結果、Campbellモデルの適用性やGAの実用性が明らかとなった。不飽和透水パラメーターの推定は、軟岩中の処分用トンネル壁面付近では重要であり、今後は原位置計測法の確立が重要となる。

参考文献

- 1) Campbell, G.S., A simple method for determining unsaturated conductivity from the moisture retention data, Soil Sci., Vol.117, pp.311-314, 1974.
- 2) Campbell, G.S., Soil physics with Basic: Transport models for soil-plant systems, Elsevier, 1985.
- 3) Ali, A.M., Ozaki, T., Hashem, M. & Watanabe, K., New method for determining hydraulic properties of unsaturated soil using evaporation data, Ann. J. Hydraulic Engng, JSCE, Vol.44, pp.205-210, 2000.