

遺伝的アルゴリズムを用いた不飽和浸透特性の逆解析方法

岡山大学環境理工学部 正会員 竹下祐二
 岡山大学大学院 学生員 ○八木一雄
 岡山大学環境理工学部 フェロー 河野伊一郎

1. はじめに

不飽和浸透特性の推定方法として、非定常不飽和浸透試験データを数値解析によってシミュレートし、不飽和浸透特性の関数モデルの同定を行う方法が提案されている。¹⁾ しかし、勾配法に代表される従来のパラメータ推定方法では飽和・不飽和浸透特性を同時に推定することは困難であると考えられる。そこで、本文では遺伝的アルゴリズムを適当し van Genuchten の関数モデル²⁾（以下、VG モデルと記す）に含まれる飽和・不飽和の浸透パラメータを同時に推定する方法を提案し、その適用性について吟味した。

2. 遺伝的アルゴリズム³⁾

遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithms、以下、GA と記す）は、自然界における生物の進化の過程を模倣した最適化アルゴリズムであり、組み合わせ最適化問題の解析手法として注目されており、以下のような特徴を有している。

- ①複数の探索点から同時に探索を行い、互いに協調または競合することによって局所的な安定点をさける機能がある。また、初期値に対して比較的依存しにくい。
- ②次の探索点を設定するために、現在の探索点における評価値だけを用い、評価値の勾配などを用いないので、不連続な評価関数の探索にも適用できる。

3. GA を用いた逆解析方法

(1) 解析モデルの設定

本文では、式(1)に示す VG モデルにおける4つの未知パラメータ（ α 、 n 、 θ_r 、 K_s ）を、鉛直一次元浸透試験より計測される非定常データを用いて推定する問題を考える。解析条件を図-1に示す。不飽和浸透試験方法は、複数段階の背圧を試料上面に段階的に作用させ、試料内部の水を強制的に排水させる加圧法を想定した。計測データとしては、試料の中心部における圧力水頭とフィルター上面での定水位による排水流量に着目した。

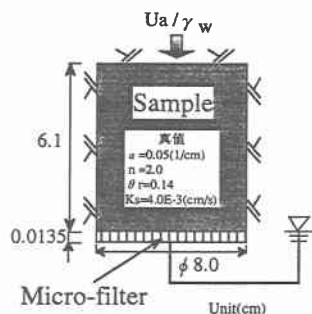


図-1 解析モデル図

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = Se = \left\{ 1 + \left| \alpha \psi \right| \right\}^{(1-n)} \quad (1)$$

$$K(Se) = K_s Se^{1/2} \left\{ 1 + (1 - Se)^{n/(n-1)} \right\}^{((n-1)/n)}$$

ここで、
 θ_s ：飽和体積含水率、 θ_r ：最小含水量、
 Se ：有効飽和度、 K_s ：飽和透水係数、 ψ ：圧力水頭

(2) GA による VG モデルパラメータの推定方法

推定する未知パラメータ（ α 、 n 、 θ_r 、 K_s ）の定義域を表-1に示すように設定し、パラメータの真値は、これらの中に存在するものとする。4つのパラメータの組み合わせ総数は、 $64 \times 64 \times 8 \times 128 = 4,194,304$ 通りであり、これらの

中から実行可能解の推定を行う。GAによるパラメータ探索過程において、式(2)に示すように観測データと解析データとの残差を評価基準として用い、評価値の高いものを次世代に残すことにより世代交代のシミュレーションを実行する。式(2)における重み W_p 、 W_q の設定は式(3)により行った。

(3) 数値モデルデータによる検証

$$R = W_p \left\{ \sum_{i=1}^N (P_c(t_i) - P_m(t_i))^2 \right\}^{1/2} + W_q \left\{ \sum_{j=1}^N (Q_c(t_j) - Q_m(t_j))^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

ここで、
 W_p ：圧力水頭の重み、 W_q ：排水重量の重み
 P_c ：解析による圧力水頭、 P_m ：観測による圧力水頭
 Q_c ：解析による排水重量、 Q_m ：観測による排水重量

表-1 未知パラメータの定義域

未知パラメータ	定義域	分割幅	分割数
α (1/cm)	0.005~0.068	0.001	64
n	1.1~7.4	0.1	64
θ_r	0.02~0.16	0.02	8
K_s (cm/s)	6.0E-4~9.7E-3	各オクタード0.1	128

背圧として3段階の空気圧ステップを作用させ、数値解析による浸透流解析手法によって算出された観測データを各背圧ごとに逆解析を行った。観測データの時間分布を図-2に示す。解析ケースを表-2に示し、解析結果を表-3に示した。なお、平均残差は式(3)における重み $W_p=W_q=1$ とし、GAで使用されている乱数の影響を評価するために各Caseとも3回の試行を試みた。

重みを考慮しなかった場合はstep2・3の高pF領域において、 n と θ_r については真値に到達しているが、 α と透水係数については精度よく同定されていない。step1ではこのような現象が見られないことから、飽和状態から排水が行われた場合は排水重量の変化量も多く、パラメータの同定に情報量が十分であるが、不飽和領域においては排水重量の変化量が少なく、 α と透水係数に関してはその同定が困難になるものと考えられる。

step2以降の不飽和領域では、排水重量の変化量が減少となり、評価関数における圧力水頭と排水重量の平均残差のバランスが崩れる。GAの設定が評価関数の最小値問題であるため、重みを考慮しなかった場合の解析結果は、圧力水頭だけが影響し、排水重量の感度がゼロに等しくなる。このため得られる最適解は局所解に陥ったものと考えられる。このようなことを防ぎ精度良く最適解を得るためにも、排水重量に適切な重みを設定することが重要であると思われる。

【参考文献】

- 1) 西垣・竹下・河野：室内試験による不飽和浸透特性の非定常算定方法，「土木学会論文集」，No.454/ III - 20, pp.103-112, 1992.
- 2) Van Genuchten, M.th. : "A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.", soil sci. Am. J., Vol.44, No.5, pp.892-898, 1980.
- 3) 坂和・田中：「遺伝的アルゴリズム」，朝倉書店，1995

$$W_p = 1.0$$
$$W_q = \frac{\sum \Delta P / N}{\sum \Delta Q / N} \quad (3)$$

ここで、
 ΔP ：任意の空気圧段階における圧力水頭の変化量
 ΔQ ：任意の空気圧段階における排水重量の変化量
 N ：観測データ数

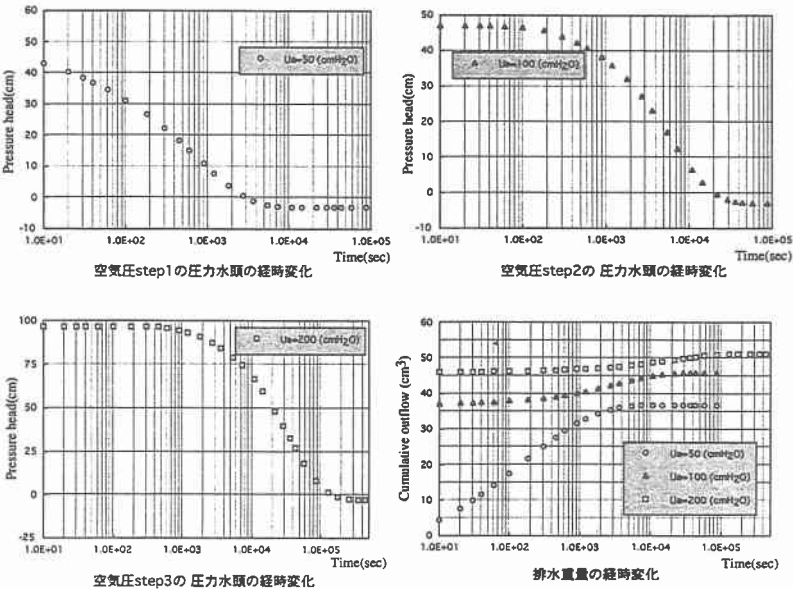


図-2 数値モデルデータの時間分布

表-2 解析ケース

Case NO.	Case1-1	Case1-2	Case1-3	Case2-1	Case2-2	Case2-3
空気圧 step	1	2	3	1	2	3
作用圧	50	100	200	50	100	200
観測時間 (hour)	24	24	120	24	24	120
重み	x	x	x	○	○	○

表-3 解析結果

Case .NO.	Trial	平均残差	α (1/cm)	n	θ_r	K_s (cm/s)
Case 1-1	1	0.43499	0.049	2.0	0.14	3.70E-03
	2	0.63497	0.045	2.1	0.14	3.20E-03
	3	0.00000	0.050	2.0	0.14	4.00E-03
Case 1-2	1	0.00000	0.050	2.0	0.14	4.00E-03
	2	0.95423	0.047	2.3	0.16	7.50E-03
	3	0.46838	0.059	1.9	0.14	5.60E-03
Case 1-3	1	1.32581	0.031	2.0	0.12	8.30E-04
	2	0.32640	0.061	1.9	0.14	5.70E-03
	3	1.67246	0.030	2.0	0.12	7.40E-04
Case 2-1	1	0.71686	0.046	1.9	0.12	3.20E-03
	2	0.45321	0.050	2.0	0.14	3.80E-03
	3	0.00000	0.050	2.0	0.14	4.00E-03
Case 2-2	1	0.00000	0.050	2.0	0.14	4.00E-03
	2	0.31413	0.062	1.7	0.12	4.60E-03
	3	0.00000	0.050	2.0	0.14	4.00E-03
Case 2-3	1	0.00000	0.050	2.0	0.14	4.00E-03
	2	0.33981	0.062	1.9	0.14	6.00E-03
	3	0.00000	0.050	2.0	0.14	4.00E-03

真値に到達