

Ⅲ - A 262

遺伝的アルゴリズムとマルチステップ法を用いた不飽和浸透特性値の室内測定方法

清水建設（株） 正会員 中澤 一磨
 岡山大学環境理工学部 正会員 竹下 祐二
 （株）鴻池組 福田 大樹
 岡山大学環境理工学部 フェロー 河野伊一郎

1. はじめに

飽和・不飽和浸透流解析の入力データとして不飽和浸透特性が必要であるが、その計測は現時点において必ずしも容易ではない。そこで、本文では不飽和浸透特性の迅速かつ簡便な室内測定法の開発を目的として、pF試験法における加圧板法を改良したマルチステップ法¹⁾に着目し圧力水頭および排水流量の非定常計測データより浸透流解析と遺伝的アルゴリズム²⁾によって van Genuchten の不飽和浸透特性の関数モデル³⁾（以後 VG モデルと記す）を逆解析し、不飽和浸透特性と飽和透水係数とを同時に算定する方法の提案を行う。

2. 不飽和浸透特性の室内計測方法

用いた試験装置を図-1に示す。供試体は内径80mm高さ61mmとし、供試体下部には厚さ4mmのセラミックディスクを設置した。圧力水頭の測定のためにステンレスパイプとセラミックカップから成るマイクロテンシオメータを供試体中心部に挿入し、排水流量の測定には、電子上皿天秤（最小読取精度0.01g）を用いた。実験はまさ土試料を用い $\gamma_d=1.92\text{gf/cm}^3$ で締固めた後、24時間脱気したものを準備した。マルチステップ法では、供試体に $U_a=0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 1.0\text{kgf/cm}^2$ の5段階にて加圧を行う。ここで、1,2段階目は試料の状態を安定させるためのステップ、3,4段階目はVGモデル同定に用いるための観測データを得るためのステップ、5段階目は解析に既知パラメータとして導入する最小含水量を求めるためのステップとした。ここで、表-1に試料の変水位透水試験結果と最小含水量 θ_r 、飽和体積含水率 θ_s を示す。

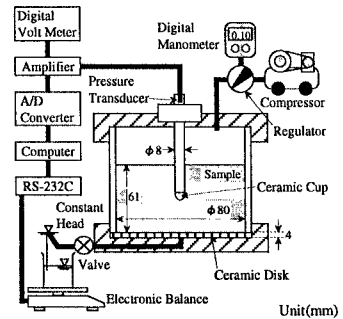


図-1 試験装置図

表-1 試料の物性値

変水位透水 試験結果(cm/s)	θ_r	θ_s
4.2E-3	0.128	0.342

3. 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm、以後GAと記す）は、自然界における生物の進化の過程を模した最適化手法であり、以下のような特徴がある。
 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ので、初期値に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（適応度）だけを用いており、評価値の勾配など、他の情報を用いないので、不連続もしくは離散的な評価関数の性質が不明確な問題にも適応できる。
 ③確率的な遷移ルールに従って挙動するので、局所解にとどまらずに大域的な解に到達し得る可能性が高い。

4. GAを用いた不飽和浸透特性の算定方法

加圧板法より計測される圧力水頭と排水流量の計測データと浸透流解析より得られる解析データとの残差をGAの評価基準として、残差の小さい解析データを適応度大、残差の大きい解析データを適応度小として、GAを適用する。また、図-2にGAによる不飽和浸透特性の算定手順のフローチャートを示し、以下にその手順の説明を加える。

①設定した個体数の初期集団（ α, n, k_s の組み合わせの集団）を乱数により発生させる。

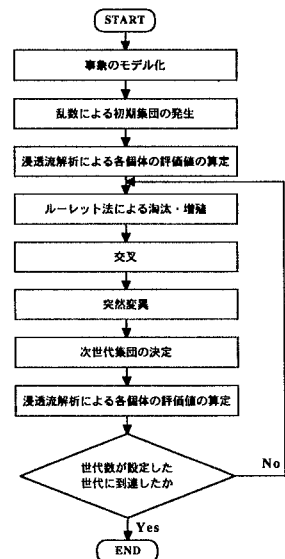


図-2 GAフローチャート

Keywords：不飽和浸透特性、遺伝的アルゴリズム、室内試験、マルチステップ法
 連絡先：〒700 岡山市津島中2-1-1 (☎086-251-8153)

- ②加圧板法のシミュレーションデータに初期集団内の各個体のパラメータ値を代入して浸透流解析を行い、各個体の評価値を計算することで各個体の評価を行う。
- ③ルーレット法により、集団内の各個体の評価値をもとに淘汰及び増殖の実行。
- ④設定した交叉率、突然変異率で交叉、突然変異の実行。
- ⑤③～④の操作を行うことにより、現世集団の代わりとなる次世代集団の決定が行われる。
- ⑥集団内の各個体の評価値を浸透流解析により計算し、終了条件を満たしてせば終了、それ以外は③に戻る。

以上のような方法でGAによる不飽和浸透特性の算定を行う。ここで、GAのパラメータとして個体数50、交叉率0.6、突然変異率0.2、50世代で強制終了とした。また、推定すべき未知パラメータ（ α, n, ks ）の値は、 $0.005 \leq \alpha (\text{cm}^{-1}) \leq 0.068$ の範囲を64、 $1.1 \leq n \leq 7.4$ の範囲を64、 $1.0 \times 10^{-4} \leq ks (\text{cm/s}) \leq 4.7 \times 10^{-2}$ の範囲を256にそれぞれ等分割した値の内、いずれかの値をとるものと設定した。そのため、未知パラメータの組み合わせ総数は、 $64 \times 64 \times 256 = 1,048,576$ 通りとなり、その組み合わせの中から最適解の算定を行う。

5. 実験データによる未知パラメータの算定

本解析方法に用いた非定常観測データは、圧力水頭と排水流量とし、GAにおいては式(1)に示す評価関数を用いた。

$$R = \left\{ W_P \sum_{i=1}^N (P_i - p_i)^2 / N \right\}^{1/2} + \left\{ W_Q \sum_{i=1}^N (Q_i - q_i)^2 / N \right\}^{1/2} \quad (1)$$

ここで、 P_i :圧力水頭計測データ、 p_i :圧力水頭解析データ、 Q_i :排水流量計測データ、 q_i :排水流量解析データ、 N :観測データ数。

なお、 $W_P=1$ 、 $W_Q=20$ とした。

また、観測データの時間分布は、圧力水頭、排水重量共に、試験開始後1日間の経時的変化を良く表現できるように、対数目盛上（単位：秒）でおよそ均等になるような21個の観測データを用いて解析を行う。表-2に未知パラメータの算定結果を示す。また、図-3、4に空気圧値0.2kgf/cm²における圧力水頭と排水流量の非定常挙動を示し、図-5には従来の加圧板法による計測値と、同定されたVGモデルによる水分特性曲線を示す。以上の結果より、水分特性曲線及び飽和透水係数は従来法と比較して十分な精度で算定されていると考えられる。

6. おわりに

本研究で得られた成果は以下のようである。

- ①マルチステップ法によれば、低い空気圧値から段階的に空気圧値を増加させることにより、供試体への急激なインパクトを低減し、安定した圧力水頭と排水流量の非定常計測データの取得が可能である。
- ②GAを用いてVGモデルの同定を行うことにより、飽和と不飽和の浸透特性値を同時に算定することが可能である。
- ③本方法により、1～2段階の低い空気圧値により不飽和試料が安定した後、1日程度の圧力水頭と排水流量の非定常データを計測すれば、従来法と比較して迅速に飽和・不飽和浸透特性値の算定が可能である。

- <参考文献> 1) J.W.Hopmans, J.C.Van Dam, S.O.Eching and J.N.M.Stricker: "Parameter estimation of soil hydraulic functions using inverse modeling of transient outflow experiments.", Trends in Hydrology, pp.217-242, 1994.
 2) 坂和正敏・田中雅博:「遺伝的アルゴリズム」, 朝倉書店, 1995.
 3) 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.

表-2 算定結果

$\alpha (1/\text{cm})$	n	$ks (\text{cm/s})$
0.054	1.6	3.9E-3

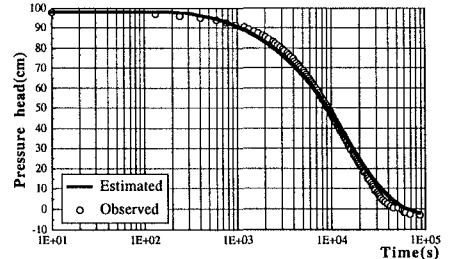


図-3 圧力水頭の経時的変化($U_a=0.2 \text{ kgf/cm}^2$)

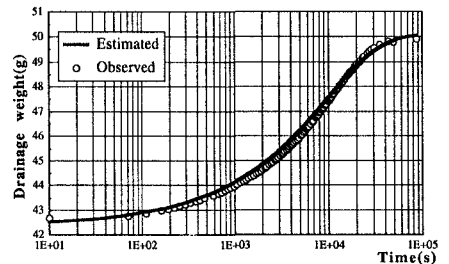


図-4 排水流量の経時的変化($U_a=0.2 \text{ kgf/cm}^2$)

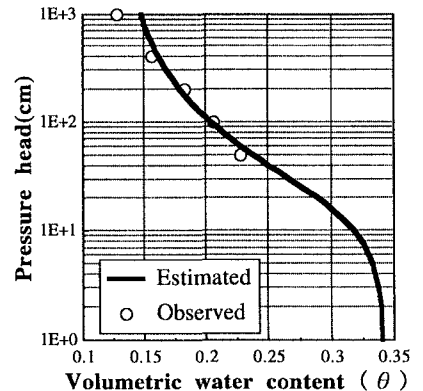


図-5 水分特性曲線算定結果