

Ⅲ-A300

遺伝的アルゴリズムを用いた多層帯水層地盤 における浸透特性値の逆解析方法

清水建設（株） 正会員 安井克豊
岡山大学環境理工学部 正会員 竹下祐二
岡山大学環境理工学部 フェロー 河野伊一郎

1. はじめに

原位置透水試験データの工学的な解析手法として、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms;以下 GA と記す)を用いた地盤の浸透特性の逆解析的な算定方法の開発を試みた。GA は生物の進化（自然淘汰・交叉・突然変異）の仕組みをモデル化した情報処理システムであり、組み合わせ最適化問題として、複数の未知パラメータを同時に推定することができる。その適用例として、二層被圧帯水層地盤における揚水問題を取り上げ、数値モデルデータによる検証および実測データへの適用を行った結果を報告する。

2. 揚水試験モデルデータによる検証

本手法の有用性および妥当性を検証するために、二層被圧帯水層地盤モデルにおいて各層の透水係数 k および比貯留係数 S_s 、帯水層厚 D を逆解析する問題を考えた。地盤モデルおよび揚水試験条件を図-1に示す。

(1) GA による揚水試験データの逆解析手順²⁾

□STEP 1 事象のモデル化：対象地盤の土質情報や要求される推定精度を考慮して、実行可能解と予想されるパラメータ群を表-1のように定義する。これらパラメータ群を図-2に示すように2進数にて表記し、帯水層モデルの構成に必要な浸透特性値を表現する。

□STEP 2 初期集団の発生：STEP1で作成した個体をランダムに多数（50個体）発生させる。

□STEP 3 各個体の適応度評価：式(1)に示す評価関数を用いて各個体の適応度を評価する。 y_j と Y_j はそれぞれ水位観測値および計算値であり、重み値は $W_j=1.0$ とした。

$$FIT = \frac{1}{\sum_{j=1}^n W_j \{y_j - Y_j\}^2} \quad (1)$$

□STEP 4 淘汰および増殖：各個体の適応度に応じて、ルールット法で次世代に生き残る個体を決定する。ただし、各世代で最も優れた個体（エリート個体）を次世代には必ず1個体は残るように設定した。

□STEP 5 交叉：交叉率0.6で一様交叉を行う。

□STEP 6 突然変異：突然変異率0.1で突然変異を行う。

□終了条件：エリート個体の残差二乗和が $0.001(\text{cm}^2)$ 以下になったとき、もしくは世代数が60世代を越えたときを終了条件とする。

(2) 解析結果および考察

逆解析に用いた水位低下データを図-3に示す。また、同じ条件で3回の逆解析を行ったときの各世代のエリート個体の平均残差 $RMSE$ および各パラメータの変化を図-4～9に示す。ここで、図中の縦軸の□で囲んだ値は、設定したパラメータの真値である。また、 $RMSE$ は式(2)で表される（ n ：観測データ数）。

$$RMSE = \left\{ \sum_{j=1}^n (y_j - Y_j)^2 / n \right\}^{1/2} \quad (2)$$

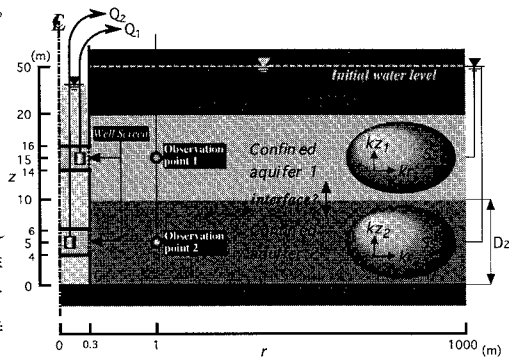


図-1 地盤モデルおよび揚水試験条件

表-1 解析に用いたパラメータ群

No.	k (cm/s)	2進文字列 (7bit)	No.	S_s (cm ⁻¹)	2進文字列 (6bit)
0	5.0×10^{-4}	0000000	0	9.0×10^{-8}	000000
1	5.2×10^{-4}	0000001	1	9.5×10^{-8}	000001
.	.	.	.	.	.
63	8.6×10^{-3}	0111111	31	6.5×10^{-6}	011111
64	8.8×10^{-3}	1000000	32	7.0×10^{-6}	100000
.	.	.	.	.	.
126	3.2×10^{-1}	1111110	62	4.0×10^{-4}	111110
127	3.4×10^{-1}	1111111	63	4.5×10^{-4}	111111

No.	D (m)	2進文字列 (4bit)
0	6.0	0000
1	6.5	0001
.	.	.
7	9.5	0111
8	10.0	1000
.	.	.
14	13.0	1110
15	13.5	1111



図-2 パラメータ表記例

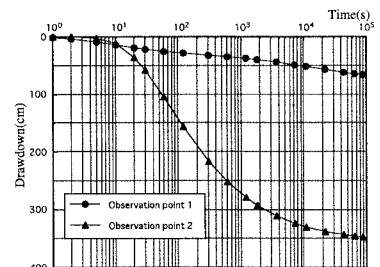


図-3 逆解析に用いた水位低下データ

キーワード: 揚水試験, 逆解析, 遺伝的アルゴリズム, 数値解析, 多層帯水層
岡山大学環境理工学部 (〒700-8530 岡山市津島中2-1-1、086-251-8153)

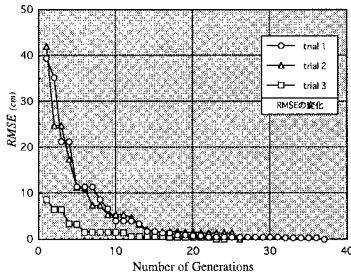


図-4 エリート個体の RMSE 変化

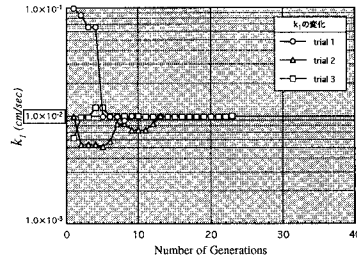


図-5 エリート個体の k_1 の変化

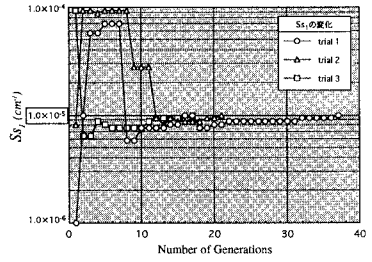


図-6 エリート個体の S_{s1} の変化

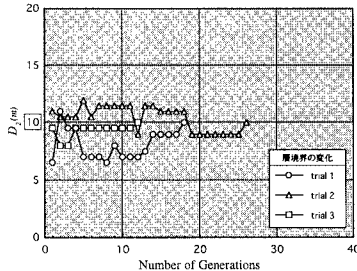


図-7 エリート個体の D_2 変化

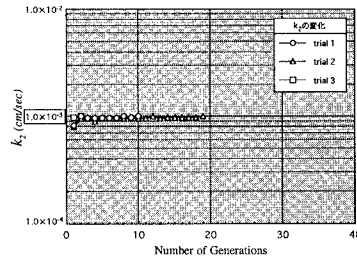


図-8 エリート個体の k_2 の変化

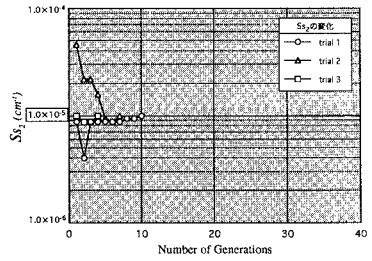


図-9 エリート個体の S_{s2} の変化

全てのケースについて40世代までに真値を発見することができた。各パラメータの収束性を見ると、下部層のパラメータの収束性がわずかながら良いように思われる。これは、上下両層とも同じ揚水量(500cm³/s)で揚水しているために、透水性の悪い下部層でのインパクトが上部層と比べて大きくなったためであると考えられる。

3. 揚水試験実測データへの GA の適用例

(1) 試験概要³⁾

対象地盤におけるボーリング調査や比抵抗プロファイルによる電気検層等の調査結果から、透水性の異なる2層の帯水層が存在し、 $k_1 \geq k_2$ であると推定された。図-10に地層構成および解析に使用した試験井戸の配置を示す。本解析では、 D_g 層（上部層）から400(l/min)で揚水を行ったデータについてGAによる逆解析を行った。

(2) 解析条件

GAにより、図-11に示すO.P1およびO.P2で観測された水位観測データを用いて、各層の透水係数、比貯留係数および層境界(D_2)を同時に推定する。解析条件としては、前述のモデルデータの逆解析と同じ条件で、3回の解析を行った。ただし、 D_2 については、表-2に示すパラメータ群を用いた。また、事前情報を考慮して $k_1 < k_2$ となる組み合わせを持つ個体には、小さな適応度を設定した（ここでは $FIT=0.00001(\text{cm}^{-1})$ ）。

(3) 解析結果および考察

算定結果を表-3に、3回目に算定された水位低下データを図-11に示す。GAによる逆解析結果は安定した収束性を示し、計測データを十分に表現できるパラメータが推定された。以上の結果から、GAによる逆解析手法によれば、多層帯水層地盤における複数の浸透特性値を同時に安定して推定することが可能であると思われる。

＜参考文献＞1) 坂和・田中(1995):遺伝的アルゴリズム, 朝倉書店, pp.199, 2) 竹下・安井・河野:遺伝的アルゴリズムを用いた多層帯水層地盤における揚水試験データの逆解析方法, 地下水学会誌, Vol.39, No.4, pp.313-325, 1997, 3) 上熊・西村・竹下:2層被圧帯水層における揚水試験の実施例, 第30回土質工学研究発表会, pp.1933-1934, 1995.

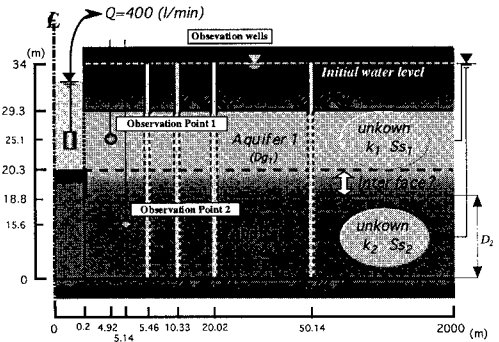


図-10 地層構成および揚水試験条件

表-2 D_2 パラメータ群

No.	D_2 (m)	2進文字列
0	20.3	000
1	20.1	001
2	19.9	010
3	19.7	011
4	19.5	100
5	19.3	101
6	19.1	110
7	18.8	111

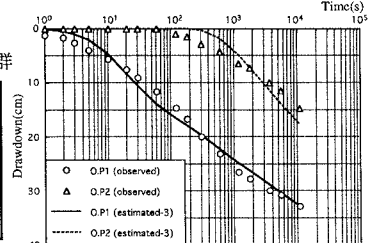


図-11 水位低下データ

表-3 算定結果

trial	RMSE (cm)	k_1 (cm/s)	k_2 (cm/s)	S_{s1} (cm ⁻¹)	S_{s2} (cm ⁻¹)	D_2 (m)
trial 1	1.3907	6.6×10^{-2}	7.6×10^{-3}	2.5×10^{-7}	9.5×10^{-5}	20.3
trial 2	1.3754	6.6×10^{-2}	7.6×10^{-3}	8.5×10^{-7}	1.0×10^{-4}	20.3
trial 3	1.3696	8.2×10^{-2}	8.2×10^{-3}	7.0×10^{-7}	1.0×10^{-4}	20.3