

# 遺伝的アルゴリズムを用いた広域地下水モデルの逆解析方法

岡山大学環境理工学部 正会員 竹下祐二  
 (株) 鴻池組 正会員 竹内嘉彦  
 信州大学工学部 正会員 中屋眞司

## 1. はじめに

地下水の挙動を定量的に把握するためには、対象領域の水みちとなるような高透水性領域を探索することが重要である。従来、これらの作業は、限られた地下水調査データに基づき、解析担当者が試行錯誤的に実施する機会が多く、多くの労力を要していた。本文では、地下水位の一斉計測データから、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms、以下 GA と記す。) と浸透流解析手法を用いて、地盤の透水係数の空間分布の概略推定を行う方法を検討する。GA は組み合わせ最適化問題の近似解法の一手法であり、広域な未知パラメータの探索区間を効率よく探索し、実用上の最適解を速やかに発見するアプローチとして期待されている手法<sup>1)</sup>である。ここで対象とする帯水層は、透水係数  $k$  が明瞭な2つの透水係数  $k_1$  または  $k_2$  ( $k_1, k_2$ ) に分類できるような浸透場 (bimodal permeability field) を考える。

## 2. 広域地下水モデルの推定方法

平面二次元浸透場において、解析対象領域内に透水係数の比が 10 ~ 100 程度の 2 層の地層が存在する帯水層を想定し、定常状態における地下水位コンターが得られていると仮定する。ここで推定すべき未知量は、良好な透水係数を有する地層の平面的な分布形状とその浸透特性値 (透水係数、貯留係数) である。本研究では、図-1 に示す手順により高透水性領域の分布形状と各地層の透水係数、貯留係数の推定を試みた。

今回解析に用いた解析モデル及び定常浸透流解析<sup>2)</sup>によって算出した地下水位コンターを図-2 に示す。対象領域は帯水層厚 10m の平面二次元浸透場であり、解析領域のほぼ中央部に透水係数の高い地層が存在する帯水層を想定した。各地層の透水係数、貯留係数は  $k_1=8.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 、 $k_2=2.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 、 $k_1/k_2=40$ 、 $S_1=S_2=3.0 \times 10^{-1}$  と設定した。なお、解析モデルの仮定条件として、a) 高透水性領域は連続している。b) 高透水性領域の形状は矩形であり、浸透流解析に用いる四角形有限要素メッシュによって表現できる。c) 浸透流解析時の境界条件は既知である。

### (1) 高透水性領域の分布形状の推定

【STEP1】 材質領域を材質分割数  $N=25$  に等分割し、各材質領域の透水係数が  $k_1$  または  $k_2$  のいずれかの値を有するとして、表-1 に示す任意の透水係数の組み合わせの中から

キーワード：透水係数、地下水モデル、浸透流解析、遺伝的アルゴリズム、逆解析  
 岡山大学環境理工学部 (〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1、086-251-8153)

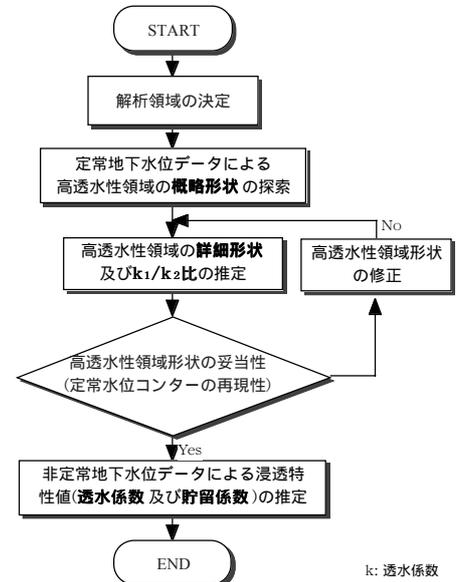


図-1 解析手順

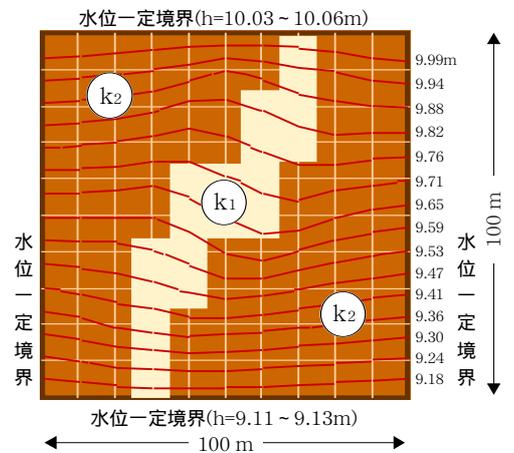


図-2 解析モデル及び地下水コンター

表-1  $k_1/k_2$  の組み合わせ

$k_1/k_2$	$k_1$ (cm/s)	$k_2$ (cm/s)
2	$1.0 \times 10^{-2}$	$5.0 \times 10^{-3}$
3	$9.0 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-3}$
5	$1.0 \times 10^{-2}$	$2.0 \times 10^{-3}$
10	$1.0 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-4}$
30	$9.0 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-4}$
50	$1.0 \times 10^{-2}$	$2.0 \times 10^{-4}$
100	$1.0 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^{-4}$

地下水位コンターの観測値と浸透流解析によって算出される計算値との残差平方和  $R$  が最小となるような  $k_1/k_2$  の比を GA を用いて探索し、高透水性領域の概略形状を探索する。なお、観測値及び計算値は、断面的に地下水位コンターの形状をとらえることを考え、隣接する観測点間での地下水位の勾配を用いることとした。図-3 の解析結果より  $k_1/k_2=10$  で  $R$  が最小の値を示し、その形状において連続した高透水性領域が存在すると予想される箇所が 2 箇所存在することがわかる。しかし、地下水位コンターより、高透水性領域は解析対象領域の中央を斜めに横切るように存在していると予想されるため、これに当てはまる高透水性領域を選択し、図-4 に示すように概略形状を決定した。

【STEP 2】 得られた概略形状をもとに図-4 に示すように材質を細分化することで、高透水性領域の詳細形状の探索を行った。この際、残差平方和  $R$  が小さい地盤モデルほど、真の地盤条件に近い  $k_1/k_2$  の比が得られていると思われる。図-5 の解析結果より、 $R$  が最小の値を示す  $k_1/k_2=50$  において連続した高透水性領域が探索されていること、また図-6 に示すように真の地下水位コンターの形状と類似した形状を示していることから、良好な探索が行えたと判断し、高透水性領域の形状認識作業を終了した。

### (2) 浸透特性値の推定

推定された高透水性領域の形状をもとに解析対象領域中央部で  $Q=180\text{l/min}$  の揚水を行うこととし、非定常浸透流解析により非定常水位低下データを作成した。得られた計測データを用いて GA による逆解析を行い、透水係数、貯留係数の推定を行った。なお、観測値及び計算値は、図-7 に示すように観測点を 4 点設け、各観測点での計測水位を用いる。また、GA によるパラメータ探索において、実行可能解としては、透水係数は  $9.4 \times 10^{-5} k_{1,2}$  (cm/s)  $9.4 \times 10^{-2}$  の範囲を 128 分割、貯留係数は  $1.0 \times 10^{-1} S_{1,2}$   $4.5 \times 10^{-1}$  の範囲を 32 分割した  $1,048,576 (=128 \times 128 \times 32 \times 32)$  通りの組み合わせを設定した。GA による 50 世代の世代交代シミュレーションの結果、両層とも設定した真の浸透特性値を推定できた。

### 3. おわりに

GA によるパラメータ探索手法と浸透流解析手法によって、地下水位コンターの情報より高透水性領域形状の認識及び浸透特性値を推定することが可能であると思われる。今後の課題として、定常解析における外部水理境界の設定及び地下水位コンターの精度に関して検討を行う必要があると考えられる。

<参考文献> 1) 坂和・田中:「遺伝的アルゴリズム」,朝倉書店,1995.

2) 河野・西垣:「有限要素法による広域地下水の準 3 次元解析」,岡山大学工学部土木工学教室レポート,1982

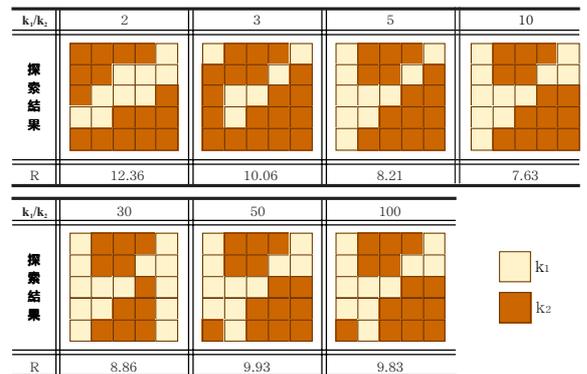


図-3 STEP1 における解析結果

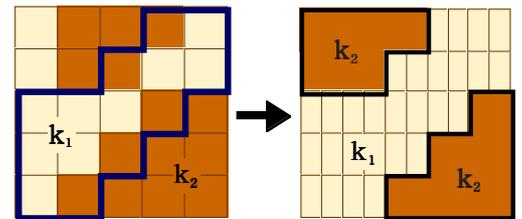


図-4 概略形状の決定及び材質の細分化

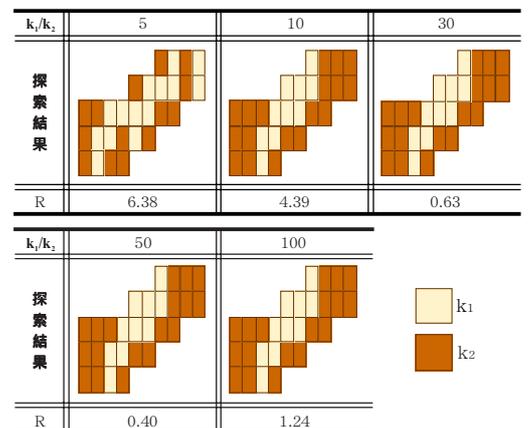


図-5 STEP2 における解析結果

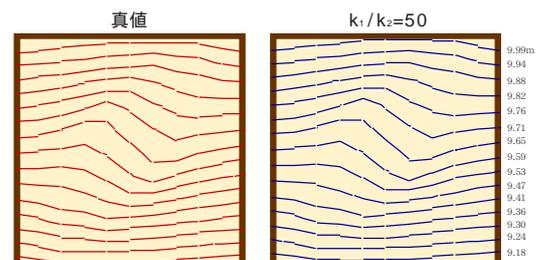


図-6 地下水位コンターの比較

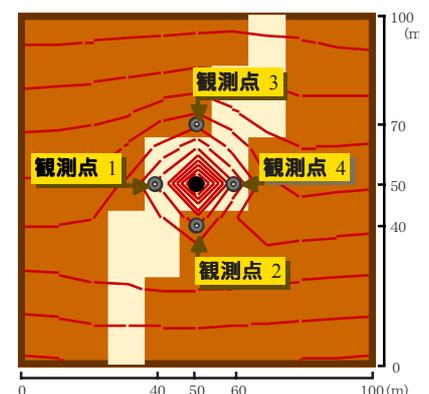


図-7 観測点配置