

非線形計画法を用いた単孔式透水試験の解析方法

名古屋大学 正会員 大東憲二
 名古屋大学 正会員 植下 協
 名古屋大学 学生会員 鹿沼岳司

1. まえがき

単孔式透水試験は比較的安価で簡単に実施でき、しかも地質調査用のボーリング孔を利用して試験できることから広く行われている。しかし、従来の試験結果の解析方法では揚水試験のように透水係数と比貯留係数を同時に求めることができないとされている。そこで、著者らは単孔式透水試験を数値解析により再現し、透水係数と比貯留係数を未知のパラメータとして逆解析することにより、透水係数と比貯留係数を求める方法を研究してきた^{1), 2)}。逆解析の方法には大きく二つに分けて直接法と間接法がある。直接法は、透水係数と比貯留係数を既知として一定の境界条件の下で地下水頭を求める式を、透水係数と比貯留係数を未知数とする式に変換し、経時的に変化する地下水頭分布を入力して透水係数と比貯留係数を求める方法である。また、間接法は、地下水頭の実測値と計算値の誤差を基にして設定した評価関数が、透水係数と比貯留係数を調整して最小値をとるようにし、最適な透水係数と比貯留係数を求める方法である。

本報告では、被圧帯水層における単孔式透水試験（回復法）を取り上げ、試験から得られる水位回復曲線と有限要素法を用いた単孔式透水試験のシミュレーションにより求まる水位回復曲線との誤差の二乗和を間接法の評価関数として設定した。そして、非線形計画法の一つであるPowell法を用いてこの評価関数の最小化を行い、評価関数が最小となるときに透水係数と比貯留係数の組み合わせを最適解とする方法を提案した。

2. 評価関数の特徴

評価関数 J を式(1) のように設定した。

$$J(k, s,) = \sum_{i=1}^n \{h_o(t) - h_c(k, s, , t)\}^2 \quad (1)$$

$h_o(t)$: 透水試験による測定用パイプ内の
実測水位

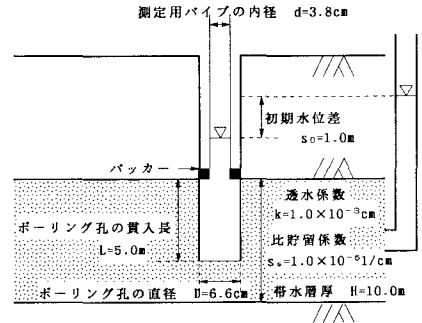


図-1 透水試験の概要とシミュレーションの諸元

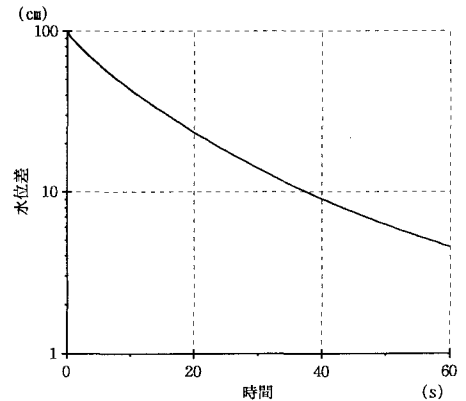


図-2 シミュレーションから得られた水位回復曲線

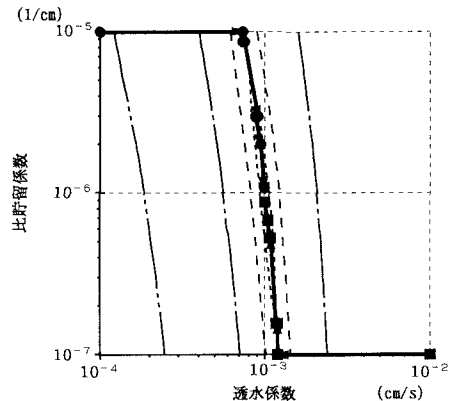


図-3 評価関数の形状とPowell法による解析結果

$h_e(k, s, t)$: 数値解析による測定用パイプ内の
計算水位

評価関数の形状を把握するために、透水係数と比貯留係数の真値が既知である図-1のような透水試験のシミュレーションから求まる水位回復曲線を実測値として用いた。この透水試験のシミュレーションには軸対称二次元浸透流の有限要素解析を用いた。有限要素の形状は、z 軸方向の節点数10、r 軸方向の節点数は28とし、 Δt を 0.5秒とした。また、評価関数の設定に用いる時間 t は、1、2、…、60秒の合計60点とした。このシミュレーションの結果得られた水位回復曲線を図-2に示す。図-2の水位回復曲線を実測値と仮定した場合に、式(1) によって求められる評価関数の形状を図-3に示す。

3. 評価関数最小化の方法

一般の評価関数の最小化の方法としては、最急降下法、ニュートン法、共役方向法などがあるが、今回は評価関数の形状が楕円形であるという特徴を生かすために共役方向法を採用した。共役方向法には、評価関数の偏微分値を利用しないPowell法と、一階の偏微分値を利用した共役勾配法とがあるが、評価関数の偏微分値を求めるのに計算時間がかかるため、Powell法を適用して最小化を行った。このPowellの共役方向法のアルゴリズムを表-1に示す。

4. Powellの共役方向法の検定

前述の透水試験のシミュレーションを利用して、Powellの共役方向法の検定を以下のようにして行った。まず、真値と異なる透水係数と比貯留係数の組み合わせを2組設定して解析の出発点とした。次に、Powellの共役方向法を用いて評価関数が最小値となるように計算を繰り返し、透水係数と比貯留係数の最適解を求めた。この解析結果を表-2に示すと同時に、解析の経路を図-3の評価関数の形状に重ねて示す。

5. 結論

従来の解析法では単孔式透水試験からは比貯留係数を求めることができなかったが、今回提案した方法により単孔式透水試験の試験結果から透水係数と比貯留係数を同時に求めることができた。これにより、今後の単孔式透水試験の有効利用が期待できる。

参考文献

1) Daito, K. and Ueshita, K. : A new method of determining parameters of an aquifer, Proc. of the 8th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, pp.33-36, 1987.
2) Daito, K. and Ueshita, K. : Determination of aquifer parameters by the numerical back analysis of single borehole permeability test, Proc. of the 7th Int. Conf. on Computer Methods and Advances in Geomechanics, pp.967-972, 1991.

表-1 Powellの共役方向法

ステップ0	ベクトル $d_0^0 = (1, 0)$, $d_1^0 = (0, 1)$ 出発点 $x_B^0 = (k_B^0, s_B^0)$ を用意して $k = 0$ とする.
ステップ1	$x_0^k = x_B^k$ において $i = 0, 1$ に対し $x_{i+1}^k = x_i^k + \alpha_i^k d_i^k$ とする. α_i^k : 直線上の最小化による直線探索法により決定
ステップ2	$d_{*}^k = x_{*}^k - x_0^k$ において $x_{*+1}^k = x_{*}^k + \alpha_{*}^k d_{*}^k$ とする. α_{*}^k : 直線上の最小化による直線探索法により決定
ステップ3	$x_{*+1}^{k+1} = x_{*+1}^k$ とおく.
ステップ4	$ x_B^{k+1} - x_B^k < \varepsilon$ (許容誤差) ならばストップ
ステップ5	$d_i^{k+1} = d_{i+1}^k, i = 0, 1$ とし, $k = k + 1$ としてステップ1に行く.

表-2 透水係数と比貯留係数の出発点と推定値

		透水係数(cm/s)	比貯留係数(1/cm)
出発点	a	1.00×10^{-4}	1.00×10^{-6}
	b	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-7}
推定値	a	9.90×10^{-4}	1.07×10^{-6}
	b	1.01×10^{-3}	8.79×10^{-7}
真値		1.00×10^{-3}	1.00×10^{-6}