

名古屋大学工学部 正 員 原田守博

名古屋大学大学院 学生員 内田光一

名古屋大学工学部 正 員 高木不折

1. まえがき

一般に広域地下水のシミュレーションを行なう際、そのモデルに含まれる透水(量)係数などのパラメータは、通常、シミュレーションの試算結果が過去の地下水頭記録に最も近づくように試行錯誤的に修正する、いわゆる同定過程を通じて決定される。こうした方法によるパラメータ決定は、豊富な水頭記録を必要とするのに加えて、解析者自身の判断に左右され易く、客観性に乏しいことが指摘されている。¹⁾ このために、多数の揚水試験や現場透水試験の結果など、一応は客観性をもつと考えられる実地盤の透水性の情報を、いかに有効に同定過程に反映させるかが課題となる。一方、こうした水頭の再現性に重点を置いて同定された透水係数が、解析領域を流れる流量を正しく表現しているとは必ずしも保証されていない。すなわち、あるパラメータ値が水頭分布を正しく再現したとしても、流量の評価には誤差を生ずることがありうる。本研究では、地下水パラメータの評価について、簡易なモデルによる数値実験を行ない検討を試みた。

2. 実地盤の局所的透水性の頻度分布

沖積平野において、比較的近距离の井戸で揚水試験を行なったとき、その結果がオーダーで異なることは、しばしば体験することである。図1は、濃尾平野の北東部のおおむね同じ地質であると考えられる地域(面積30 km²)において、55本の井戸を用いた現場透水試験(注水試験)の結果をプロットしたものである。この図によれば、Freeze²⁾が仮定したように、同一の地質から成る領域でも透水係数は局所的には数オーダーの幅をもって変動し、全体としては対数正規分布に近い傾向が認められよう。本論では、このように実地盤の局所的な透水係数は対数正規分布に従うことを前提として、議論を進めることにする。

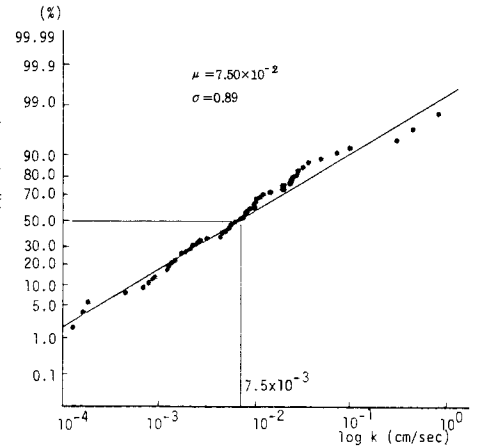


図1. 現場透水試験の結果

3. 簡易モデルによる数値実験

図2に示すような水平2次元の地下水流動場を考え、その120個の要素の透水係数を、一例として、図1に示された対数正規分布からランダムに与えることにする。解析の基礎方程式には(1)式を用い、境界条件は、y方向の境界で $\partial h / \partial y = 0$ (不透水条件)、下流端($x = L$)で $h = 0$ とし、上流端($x = 0$)では① $h = 2$ (水頭固定)と、② $h = 0 \rightarrow 2$ (緩慢な水位上昇)の2種類を設定する。本研究では、このような有限要素モデルを用いて、以下の3種類合計5個の平均的透水係数を算出し、それら相互の比較・検討を行なった。

(i) モデルの各要素にランダムに与えた透水係数 k_i ($i = 1 \sim 120$)の相加平均 K_A 、相乗平均 K_G 、調和平均 K_H 。

(ii) 境界条件①の下で定常解析を行ない、その定常流量 Q から次式で求まる解析領域の平均的透水係数 $\bar{K}$ 。

$$\bar{K} = Q / \bar{I} A, \quad \bar{I}: \text{平均的動水勾配} [= (h_{x=0} - h_{x=L}) / L], \quad A: y \text{ 方向の断面積}$$

(iii) 境界条件②の下で非定常解析を行ない、領域内に選んだ1~7個の節点(●印)において、地下水頭の数値解 $h(x, y, t)$ が、(2)式の解析解 $h^*(x, t)$ と最も近くなるように同定された解析解の透水係数 $\bar{K}^*$ 。

$$\theta \frac{\partial h}{\partial t} = k h_0 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k h_0 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \cdots \cdots (1) \quad \theta \frac{\partial h^*}{\partial t} = \bar{K}^* h_0 \frac{\partial^2 h^*}{\partial x^2} \cdots \cdots (2)$$

ここに、 θ : 有効間隙率(=0.2)、 h_0 : 平均水深(=10)、 k : 要素の透水係数、 $\bar{K}^*$: 領域の平均的透水係数。

モデルの各要素の透水係数 $k_i (i=1\sim 120)$ の設定は、同一の対数正規分布から 100 回繰返して行なわれ、そのたびに上記(i)～(iii)の 5 個の平均的透水係数が求められた。

4. 解析結果および考察

図 3 は、100 回の数値計算によって得られた(i)～(iii)の平均的透水係数の頻度分布を示したものである。流量から求まるモデル全体の透水性 $\bar{K}$ は、モデルを構成している各要素の透水性を相乗平均した値 K_G に近い。これは、地層が流れ方向に平行に成層化しているとき全体の平均的透水性は K_A となり、垂直に成層化しているときは K_H で表わされることを考慮すれば、このモデルのように流れの場が空間的にランダムな透水性を持つ場合、全体の流れはその両者の性質を合わせた構造となり、数学的に K_A と K_H の中間に位置する K_G が $\bar{K}$ の最も良い推定値となるものと考えられる。

一方、水頭から同定されるモデル全体の透水性 $\bar{K}^*$ は、分布の中央値は K_G と同じく $\bar{K}$ にかなり近いものの、その分布形は K_G より広い範囲に拡がっており、場合によっては $\bar{K}^*$ と $\bar{K}$ が大きく異なることもあると思われる。そこで、1 回の計算ごとの $\bar{K}^*/\bar{K}$ の値を調べたところ、図 4 のように $\bar{K}^*/\bar{K}$ の分布は 1 以下の範囲に偏り、特に 0.8 付近に集中する結果が得られた。この結果の物理的根拠は明らかではないが、水頭によってモデルの透水係数を同定した場合、全体の流量を過小評価する可能性が高いものと推測される。

5. あとがき

地下水流動モデルのパラメータ評価に関して、簡易なモデルによる数値実験を行ない、定性的ではあるが一応の結論を得た。今後はこれをより一層一般性を持ったものにすべく、物理的な機構を考慮して検討を続けていきたい。最後に、本研究を行なうにあたり、名大工学部学生 伊藤 剛君（現在 フジタ工業）の熱心な協力を得たことを付記し、謝意を表します。

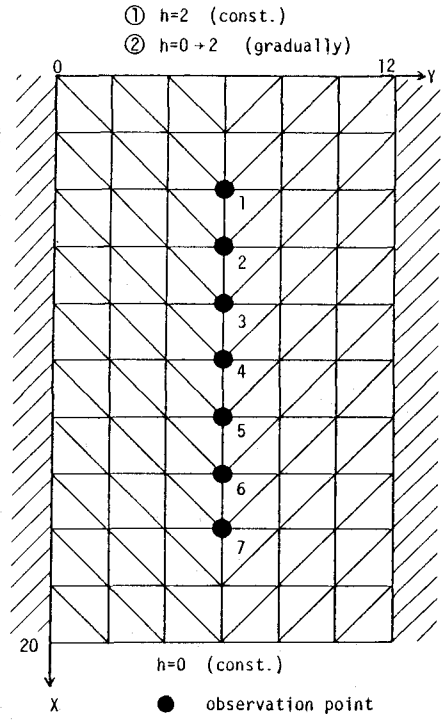


図2. 解析モデル

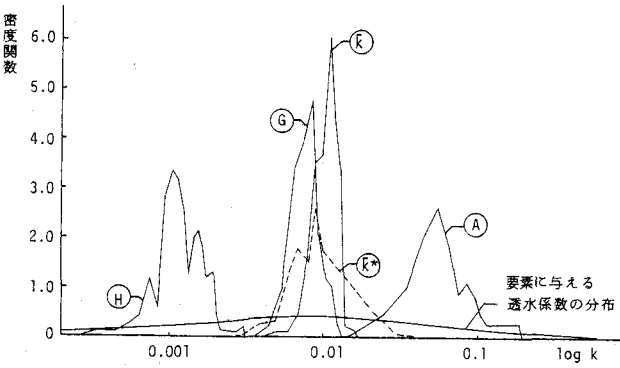


図3. 平均的透水係数の頻度分布

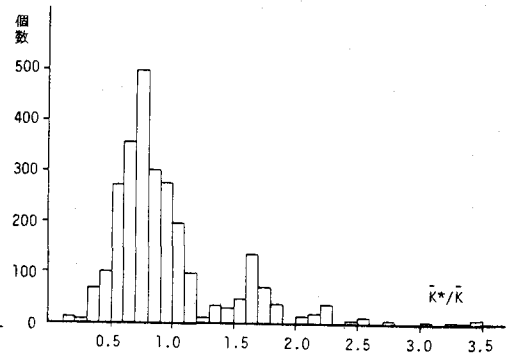


図4. $\bar{K}^*/\bar{K}$ の頻度分布

<参考文献>

- 1) 藤縄克之, 他: 地下水流動モデルにおけるシステムパラメータの同定について, 農土論集, 74, 1978.
- 2) Freeze, R. A. : A Stochastic-Conceptual Analysis of One-Dimensional Groundwater Flow in Nonuniform Homogeneous Media, W. R. R., 11-5, 1975.
- 3) Mostyn, G. : A Statistical Approach to Characterizing the Permeability of a Mass, 4th. I. C. on Applications of Statistics and Probability in Soil and Str. Eng., 1983.