

Ⅲ-84

次元を考慮した定量注入タイプカーブの自動フィッティングコード

岩手大学 正 小林 晃

1. はじめに

単孔式透水試験から透水係数を算出する際には、何らかのモデルが必要であり、そのモデルの係数としての透水係数を算出することになる。現状、ルジオン試験から透水係数を求めるときによく使われるのが Hvorslev の式である。これは元々の仮定は三次元無限境界の点注入の理論解を注入区間で積分したものであるが、通常用いられている式は、逆双曲線関数を対数関数で表す際に用いる近似のために、二次元軸対象モデルで注入区間と同じ半径を境界とする解と同じになっている。また、点注入の解を注入区間で積分するために、注入区間の圧力に分布が生じることも定圧という試験条件とは異なったものである。筆者らが行った理論解を用いた計算¹⁾によると、定圧注入試験では流れの様相が二次元以上の場合には、注入点で圧力と流量が早い時期に釣り合うために、もし次元と境界条件が自明の場合には定圧注入試験は非常に有効な手法である。しかし、現状では事前に流れの様相を推定することが難しく、したがって、釣り合った状態での流量から透水係数を求めることは本来なら難しい。Hvorslev の式を用いた検討では、流れの様相や式の意味を全く考慮せずに盲目的に注入点での釣り合い状態を用いて透水係数を求めていることが多い。このような現状を鑑みると、より妥当かつモデル化の情報源を与える解析手法として Barker の提案した次元を考慮したモデルの使用が適切であろうと思われる。これは、無限境界を仮定しているが、次元により多くの非定常過程を再現でき、計測結果と最もよく一致するカーブから次元を決定し、そして、マッチングポイントから透水係数と貯留係数を求めるものである。既に、筆者らがそのタイプカーブを誘導している。しかし、定圧注入の場合には、先述のように早い時期に釣り合うために非定常なデータを入手することは事実上困難である。また、定量注入の場合には非定常なデータは入手しやすいが、次元のほかに、もう一つの係数もパラメータにして最もよくフィッティングするカーブを探す必要がある。そこで、これを計算機内で自動的にフィッティングするコードを作成したので、その内容と適用例について報告する。

2. 理論解

理論の詳細と理論解の誘導過程は参考文献1)を参照されたい。その結果の理論解は次式のようにになる。

$$\overline{H_D} = -\frac{1}{p} \left(\eta p + \frac{\sqrt{p} K_{\nu-1}(\sqrt{p})}{K_{\nu}(\sqrt{p}) + S_N \sqrt{p} K_{\nu-1}(\sqrt{p})} \right)^{-1} \quad (1)$$

ここで、 $\overline{\cdot}$ はラプラス変換を示し、 p はラプラス変換のパラメータである。 K_{ν} は変形ベッセル関数、 $\eta = \pi r_w / S_{st} b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1}$ 、 r は注入孔中心からの距離、 S_{st} は比貯留係数、 b は注入区間長、 r_w は注入孔半径、 α_n は $2\pi^{n/2} \Gamma(n/2)$ で、 Γ はガンマー関数、 ν は $1-n/2$ 、 n は次元である。 H_D は無次元水位低下量で次式で表される。

$$H_D = \frac{K b^{3-n} \alpha_n r_w^{n-1}}{Q S_w} (H_i - H) \quad (2)$$

(1) 式を数値ラプラス逆変換することにより任意の次元でのタイプカーブ ($H_D \sim t_D$) を求めることができる。このタイプカーブは次元により異なるが、また η の値によっても異なる。そのため、実測値とのフィッティングでは次元と η をパラメータにして最もよくフィッティングするカーブを求める必要がある。

3. フィッティング手順

図-1にフィッティングプロセスを示す。その各過程について以下に説明する。

3.1 実測値の回帰曲線の算出

まず、任意の時刻における実測値を推定するために、多項式の最小二乗近似により実測値の回帰曲線を求める。この時の次数は多いほど実測値を忠実に再現するが、通常は5以上だと差異は少ない。そして、計測時間の最小(t_{min})と最大時刻(t_{max})の比($r=t_{min}/t_{max}$)を記憶する。

3.2 タイプカーブの作成

最初は任意に設定した η の値を用いて各次元毎にタイプカーブを式(1)を数値ラプラス逆変換することにより作成する。その際、ラプラス逆変換する時刻は、対数場を考えるので、定数倍で更新する。また、 η の変更に伴いカーブも変化する。

3.3 フィッティング誤差の計算

誤差の計算は、タイプカーブを計算した無次元時間から、それに r_t を乗じた時刻までの範囲で行う。そして、フィッティング区間の始点は設定無次元時間間隔で移動する。フィッティング区間内での設定時間間隔毎の両対数場での傾きとそれに相当する実測値の傾きの差をその時間間隔の誤差とし、フィッティング区間での各間隔の誤差の総和をその区間での総誤差とする（図-2参照）。

3.4 η の更新

η の値は求めた S_{tr} の値を用いて更新され、同様のフィッティング過程を繰り返す。

4. 適用例²⁾

以上の自動フィッティングコードを用いて8つの実測値を用いて検討した結果を表-1に示す。それによると、二点ほど誤差の大きな地点があるが、それ以外はよくフィッティング出来たことがわかる。

表-1 適用例の結果

透水係数(m/s)	比貯留係数(1/m)	次元	誤差
1.77×10^{-7}	3.97×10^{-4}	2.9	0.765
7.08×10^{-7}	3.72×10^{-12}	2.9	1.62
7.49×10^{-8}	3.00×10^{-17}	2.9	9.94
3.42×10^{-5}	5.24×10^{-5}	1.4	1.16
6.40×10^{-6}	1.73×10^{-2}	2.7	1.74
3.72×10^{-5}	4.83×10^{-2}	2.7	0.957
1.03×10^{-6}	2.98×10^{-2}	1.3	2.89
2.41×10^{-7}	5.96×10^{-8}	2.4	7.19

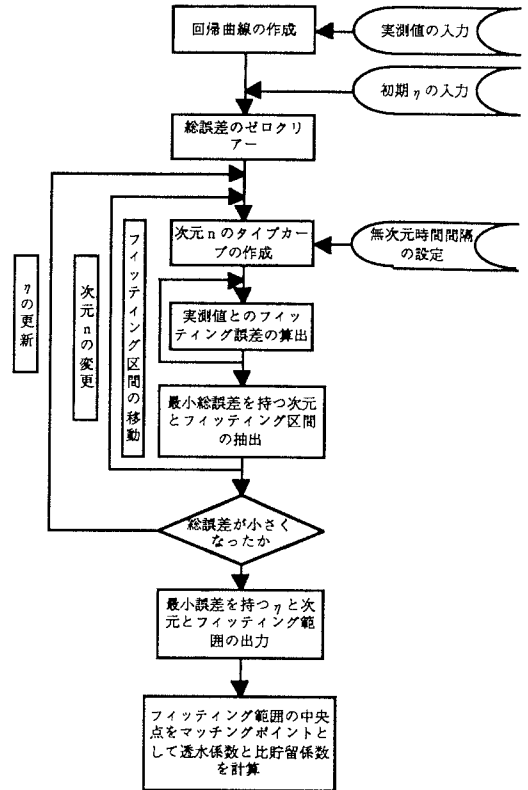


図-1 解析フロー図

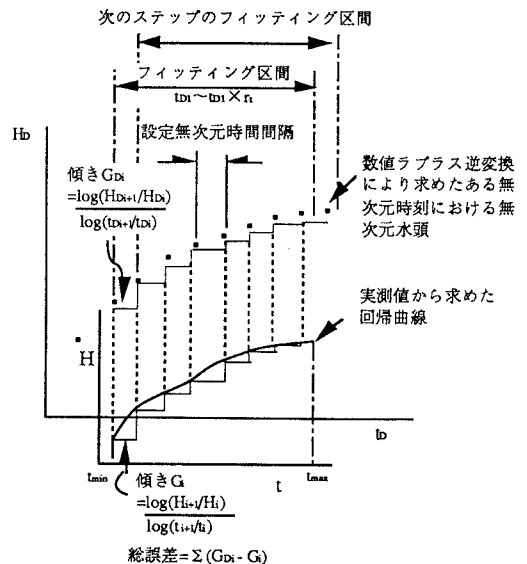


図-2 フィッティング過程の概要図

参考文献1) 土木学会第50回年次講演会(投稿中)

2) 平成7年度農業土木学会大会(投稿中)