

ニューラルネットワークを用いたタイプカーブによる 揚水試験データの解析方法

岡山大学環境理工学部 正会員 竹下祐二
岡山大学大学院 学生員 ○白神聡司
岡山大学環境理工学部 フェロー 河野伊一郎

1. はじめに

揚水試験の理論的な解析手法として標準曲線(以下タイプカーブと呼ぶ)による方法がある。これは特定の試験条件のもとに誘導されたタイプカーブと計測データとのマッチングにより、浸透特性値を得る方法であるが、個人誤差の介入やデータプロット等、その算定精度やその取り扱いに難があった。著者らは、種々の揚水試験条件下において算定されるタイプカーブや計測データ事例をニューラルネットワークに学習させ、計測された水位低下曲線のパターン認識とデータ処理を行うことにより、揚水試験データの評価・解析を行うシステムの開発の検討している。本文では、被圧漏水性帯水層におけるタイプカーブをニューラルネットワークに学習・評価させるシステムを作成し、非定常計測データを迅速かつ簡便に評価し、透水係数と貯留係数を算定する方法について報告する。本方法の妥当性は被圧漏水性帯水層におけるサンプルデータを用いて検討した。

2. タイプカーブによる揚水試験データの解析方法

タイプカーブのマッチングによるデータ解析では、タイプカーブと同一スケールにて水位計測データをプロットし、両者の座標軸を平行に保持した状態で重ね合わせを行い、得られたマッチポイントの座標データより浸透特性値を算定する。したがって、評価すべき水位計測データを良好に近似できるタイプカーブを簡便、迅速に見いだすことができれば、タイプカーブ法は有効な解析方法であると考えられる。

本文では、図1に示すような被圧漏水性帯水層における揚水問題を考える。次式に示すHuntush&Jacobの示した井戸関数¹⁾を用い、この場合のタイプカーブ($W(u, r/B) \sim 1/u$)を図2に示す。

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/B) \quad (1)$$

$$W(u, r/B) = \int_u^\infty \frac{1}{y} \exp\left[-y - \frac{r^2}{4B^2 y}\right] dy \quad (2)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (3) \quad B = \sqrt{\frac{Tb'}{k'}} \quad (4)$$

ここで、Q:揚水流量、T:透水量係数、 $W(u, r/B)$:井戸関数、S:貯留係数、r:揚水井戸からの距離、s:水位低下量、t:揚水開始からの時間

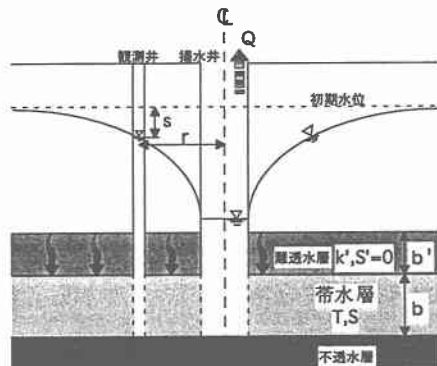


図1 被圧漏水性帯水層における揚水試験モデル

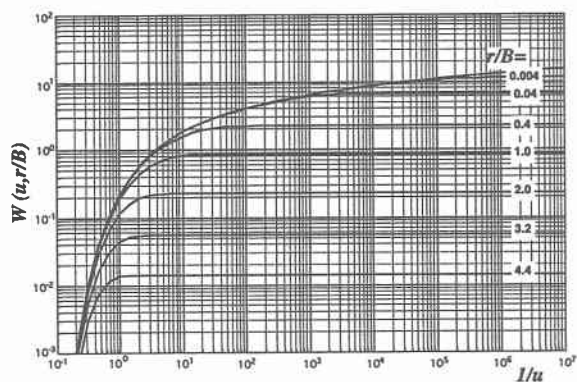


図2 被圧漏水性帯水層におけるタイプカーブ

3. ニューラルネットワークによるタイプカーブの解析方法

従来の手動によるマッチング作業をニューラルネットワークを用いて行うための手順を以下に示す。

(Step1) タイプカーブおよび水位計測曲線の形状をニューラルネットワークに認識・学習させるために、図3に示すように横軸($1/u$ 軸および時間軸)の対数1サイクルをN等分して勾配値を算出し、それらの値を用いて曲線の形状を表現する。

(Step2) 図2に示したタイプカーブの中から、 r/B 値の異なる数本のタイプカーブを選び、その形状と r/B 値との関係をニューラルネットワークにBP法を用いて学習させる。ここでは、 $0.01 \leq r/B \leq 4.4$ の範囲で図4に示すように3分割し、それぞれにおいて6本ずつの計18本のタイプカーブを選定して学習データとした。ニューラルネットワークは、 r/B 値が $0.01 \sim 4.4$ で1つ(Type0ニューロ)、 $2.0 \sim 4.4$ 、 $0.4 \sim 2.0$ 、 $0.01 \sim 0.4$ でそれぞれ1つずつ(Type1～Type3ニューロ)の計4つを構築した。なお、タイプカーブの算定に必要な $W(u, r/B)$ の計算は文献2)に掲載されたFORTRAN プログラムを用いた。また、学習に要した時間はPentium166MHz-CPUにて約20分である。

(Step3) 学習済みニューラルネットワークは評価すべき非常水位計測データ(水位低下量～時間の関係)の形状を最も良好に説明できるタイプカーブを内挿補間機能によって推定し、その r/B 値を出力する。本研究では、推定精度の向上のため、まず、Type0ニューロで評価し、得られた r/B 値を概略値としてType1～Type3ニューロのいずれかを選定し、 r/B 値の最終値を決定する。

(Step4) マッチングポイントの座標として、ニューラルネットワークにより推定されたタイプカーブおよび評価すべき計測水位曲線の曲線勾配が十分に小さくなった点(本研究では、 $m_i \leq 10^{-5}$ に設定)を選び、浸透特性値の算出のために必要な $\{W(u, r/B), 1/u, s, \text{time}\}$ の値を算出する。

本研究では、(Step1)における分割数 N について3, 6, 10の3通りの検討を行い、その結果、 $N=6$ (等分)を採用した。その理由としては、3(等分)では勾配の緩いタイプカーブにおいては良い精度で r/B 値を求めることができるが、勾配の急なタイプカーブにおいては精度が悪い。また、10(等分)に関しては、学習データの増加に伴う精度向上がそれほど期待できないことが挙げられる。

4. 適用例

本方法の妥当性を検討するための揚水試験サンプルデータとして、数値解析より得られた揚水試験データを用いた。表1に算定された浸透特性値を比較した結果を示す。また、図5にニューラルネットワークによって推定されたタイプカーブと計測データとのマッチング状況を示した。これらにより、本方法によれば従来の手動によるマッチング作業と比較して、ほぼ同程度のパラメータ値が推定できるものと考えられる。

<参考文献> 1)Hantush,M.S.and C.E.Jacob(1955):Non-steady radial

flow in an infinite leaky aquifer. Transactions, American Geophysical Union, Vol.36, No.1, pp.95-100. 2)Reed, J.E.(1980): Type Curves For Selected Problems Of Flow To Wells In Confined Aquifers, Techniques of Water-Resources Investigations of The United States Geological Survey, Chapter B3, book 3, Applications of Hydraulics.

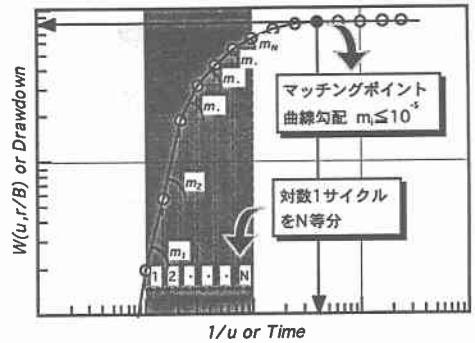


図3 曲線勾配の算出およびマッチングポイントの設定方法

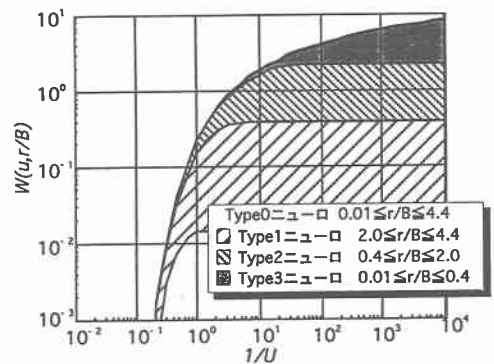


図4 タイプカーブの分割図

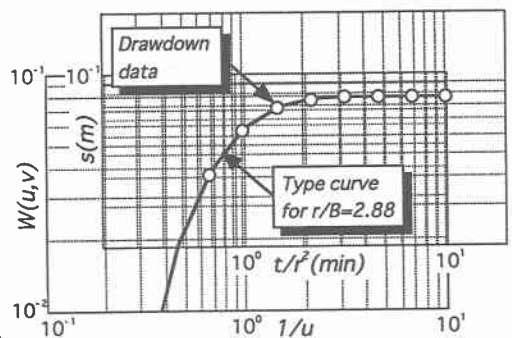


図5 推定されたタイプカーブによるマッチング結果

表1 ニューラルネットワークによる算出結果

浸透特性値	サンプルデータ値	計算値
T(m ² /min)	2.87E-02	3.18E-02
S	1.15E-03	1.27E-03
r/B	2.80	2.88
K'(m/min)	5.99E-04	6.24E-04