

III-A 303 ニューラルネットワークによる原位置透水試験データの評価方法に関する研究

大林組 正会員 深見 秀樹
 岡山大学環境理工学部 正会員 竹下 祐二
 岡山大学環境理工学部 正会員 河野伊一郎

1. はじめに

透水係数や貯留係数といった地盤の浸透特性値の原位置計測手法として、単孔式透水試験や揚水試験といった原位置透水試験がよく実地されている。しかし、従来の原位置透水試験の解析手法は、帯水層や試験条件に対して理想的な条件のもとに誘導されたものであり、複雑な境界条件のもとではその適用が困難であった。このような場合の解析手法として、数値解析による逆解析手法が提案されている¹⁾。しかし、非線形性の強い非定常計算を大量に行う必要があり、演算時間が過大になるといった難点を有するため、現場での適用には問題があった。

そこで、本研究では、原位置透水試験の計測データの新しい工学的処理方法として、階層型ニューラルネットワークを用いた浸透特性値の算定システムの開発を試み、その事例について報告を行う。

2. 階層型ニューラルネットワーク

ニューラルネットワーク法（NN法）は、脳における神経細胞の信号伝達系をモデルとした情報処理法であり耐ノイズ性、学習・推論機能を有し近年注目を集めている。本研究では、原位置透水試験によって得られた水位低下パターンと帯水層条件や水理地質境界条件の関係を説明するために、バックプロパゲーション（誤差逆伝搬法）²⁾を用いた階層型ニューラルネットワークを構築する。本方法の特徴としては、

- ① 計測される水位低下曲線のパターンを滑らかに内挿し、未学習の水位低下データ入力に対しても妥当な帯水層条件を算定できる。
- ② 学習が終了したネットワークに計測された水位低下データを入力すれば、簡単な積和演算を行うだけで迅速に帯水層条件を算定できる。

といった点である。

3. 階層型ニューラルネットワークへの適用

本研究では、NN法を用いる際に、計測データおよび浸透特性値の無次元化を行っている。この無次元化を行うことによって、学習データと教師データの関係が既存の方程式にとらわれないものとなり、かつNN法の学習、推論機能が効率よく行えると考えられる。無次元化を行う式を以下に示す。

(1) 水位低下量 s (cm) の無次元化

$$s' = \frac{s \cdot L}{r_w^2} \quad (1)$$

ここで、 L はストレーナ長(cm)、 r_w は井戸半径(cm)

(2) 透水係数 k (cm/s) の無次元化

$$k' = \frac{k \cdot \pi \cdot r_w^2}{Q} \quad (2)$$

ここで、 Q は揚水流量(cm^3/s)

(3) 帯水層厚 D (cm) の無次元化

$$D' = \frac{D}{L} \quad (3)$$

4. 揚水試験概要

本研究における揚水試験の概念図を図-1に示す。このモデルは2層帯水層を考慮している。このモデルにお

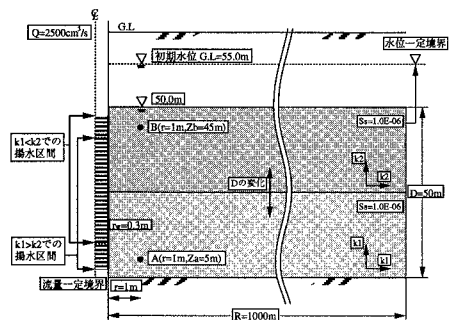


図-1 揚水試験概念図

いて透水係数k、帯水層厚Dの算定を行う。

5. 水圧伝播特性の検討

本手法により各浸透特性値を算定する際に、上部の水位h1と下部の水位h2の水位低下量の差 $\delta h(|h_1-h_2|)$ と時間tとの関係を調べることによって上部帯水層の透水係数が下部帯水層の透水係数に比べて小さい場合と上部帯水層の透水係数が下部帯水層の透水係数に比べて大きい場合の違いが把握できると考えた。

6. 透水係数の算定

本研究では、下部帯水層の透水係数k1と上部帯水層の透水係数k2の取る範囲を $5.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^{-4} (\text{cm/s})$ 、1層の帯水層厚Dを10~40(m)と変化させ、さらに $[k_1 > k_2]$ の場合と $[k_1 < k_2]$ の場合の場合分けを行い、その組合せ数から80通りの条件で浸透流解析を行い、得られる水位低下量sを無次元化したもの(s')を学習データに、透水係数を無次元化したもの(k')を教師データとして用いて解析を行った。このときの学習収束条件は、誤差が0.00001以下あるいは学習回数が上限の90000回となるまで行うものとした。

7. 帯水層厚の算定

帯水層厚を学習、算定する場合、上下の帯水層の透水係数の組合せによって、水位低下量は無限個の挙動を示すものと考えられる。そこで、本研究では仮定として、上部帯水層もしくは下部帯水層の透水係数が6節の方法で算定されたものとし、帯水層厚の学習・算定を行った。表-1に算定結果を記す。また、この値を用いて浸透流解析を行った結果を図-2に示す。ここで、真の水位低下量と算定結果を用いて浸透流解析により得られた水位低下量の平均残差Rは(4)式で定義したものである。このとき最も大きい平均残差Rは $R=5.07\text{cm}$ と小さく、本研究において妥当な浸透特性値が算定されているといえる。

$$R = \left\{ \sum_{i=1}^N (Y_i - y_i)^2 / N \right\}^{1/2} \quad (4)$$

ここで、 Y_i :期待値データの水位低下量、 y_i :算定値データの水位低下量、 N :観測時間数

8. おわりに

本研究の方法により、従来は解析が困難であった地盤条件においても妥当な浸透特性値を算定することができた。このとき、学習・算定に要した時間は十数秒から数分程度であり、十分実用的な演算量であると思われる。また、複数パラメータの推定に際し、複数のニューラルネットワークを作成、併用することでそれぞれのパラメータの算定が可能となった。従ってあらかじめ行われる事前調査を十分考慮してニューラルネットワークを構築することで更なる原位置透水試験データの解析が行えるものと思われる。

表-1 算定結果

No	k1 (Real)	k1 (Given)
1	2.00E-02	2.18E-02
2		
3	2.00E-03	2.20E-03
4		
No	k2 (Real)	k2 (Given)
1		
2	2.00E-03	2.21E-03
3		
4	8.00E-03	7.60E-03
No	D1 (Real)	D1 (Given)
1	1000.0	916.6
2	4000.0	4379.2
3	1000.0	751.8
4	2500.0	2324.4
No	D2 (Real)	D2 (Given)
1	4000.0	4083.4
2	1000.0	620.8
3	4000.0	4248.2
4	2500.0	2675.6
No	R (O.P-A)	R (O.P-B)
1	0.27	0.09
2	1.75	1.61
3	1.75	1.39
4	3.92	5.07

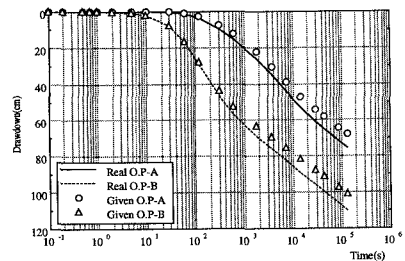


図-2 水位低下曲線

【参考文献】

- 1)河野、西垣、竹下(1989):逆解析手法を用いた被圧帯水層における揚水試験結果の解析方法、土質工学会論文集、VOL. 29. No. 2, pp. 159~168.
- 2)市川(1993):階層型ニューラルネットワーク、啓文堂、pp. 24~27.