

少ない観測データを用いた透水異方性評価に関する考察

(株)竹中土木 正会員 阿部 崇*
 (株)竹中工務店 正会員 清水孝昭**

1. はじめに

地下水位の高い砂礫地盤での地下工事においては、地下水位低下工法が用いられることが多いが、地盤の不均質性から、排水設計の妥当性や周辺への影響を確認することを目的とし、遮水壁、揚水井戸設置後に確認揚水試験が実施される。本報では、確認揚水試験の少ない観測データから異方性を考慮した透水性評価手法を提案するとともに、透水異方性評価の必要性を検討した結果について報告する。

2. 評価手法の概要

本評価手法では、軸対称有限要素モデルを用いて定常浸透流解析を実施し¹⁾、確認揚水試験時における少ない観測データから非線形最小二乗法を用いて、水平透水係数 k_h 、鉛直透水係数 k_v を同定する。逆解析のフローチャートを図-1 に示す。未知パラメータの初期値は、事前の揚水試験結果から推定された透水係数を $k_{h0}=k_{v0}$ として与え、観測データは、定常揚水量と遮水壁内外の定常地下水位とした。検討モデルを図-2 に示す。定常揚水量の観測値を遮水壁内側に流量固定境界として設定し、遮水壁内外の地下水位の観測値を用いて、非線形最小二乗法の Marquardt 法による最適化を行った。収束判定基準は、バラツキの多い実地盤での観測データを用いる為、各観測値に対する厳密な許容誤差を設けず、残差二乗和の極小値をもって収束とした。遮水壁外側の観測点は、鉛直成分を含んだ流れの影響を大きく受けると予想される遮水壁の先端より鉛直方向にやや距離をとった位置に設定した。ここで、定常浸透流解析は、影響圏半径 R の取り方により解析結果が無視できないほど異なってくる傾向がある。影響圏半径の算定には Siehardt 式(式 1)がよく用いられ、透水係数には地盤調査結果より推定した値が、水位低下量には遮水壁内側の設計水位低下量が設定されることが多い。

$$R = 3000 \times s \times \sqrt{k} \quad \text{〔式〕}$$

R : 影響圏半径、 s : 水位低下量、 k : 透水係数

しかし、揚水時の実現象を考えると、遮水壁の根入れ効果、地盤の異方性から遮水壁内外に地下水位差を生じる為、本評価手法では、遮水壁外側の水位低下量の観測値を用いて影響圏半径を算定した。

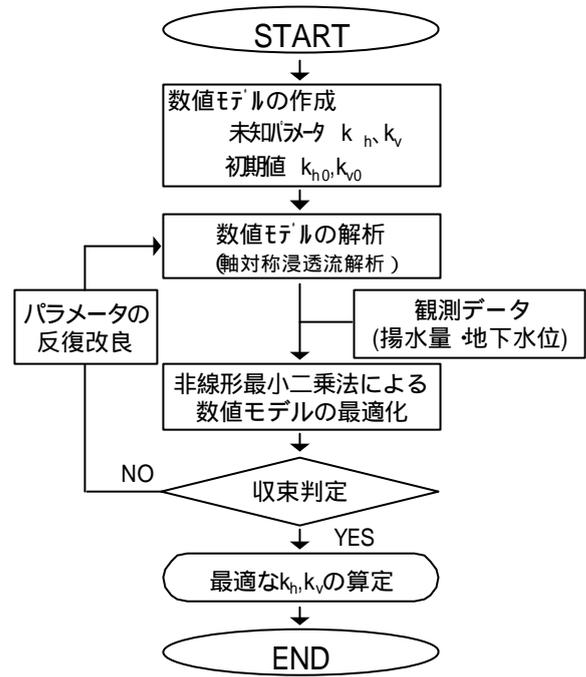


図-1 逆解析フローチャート

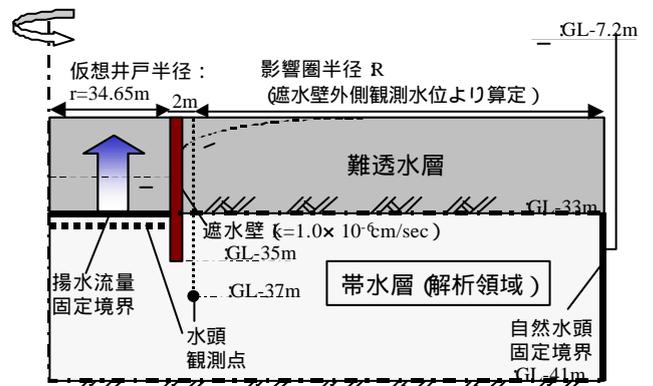


図-2 検討モデル²⁾

キーワード：地下水，浸透流，逆解析，透水係数，異方性

連絡先： *〒104-8234 東京都中央区銀座 8-21-1 (株)竹中土木 技術本部 TEL:03-3542-6321 FAX:03-3248-6545
 **〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1 (株)竹中工務店 技術研究所 TEL:0476-47-1700 FAX:0476-47-3080

3. 評価手法の検証

本評価手法により、実工事における観測データ²⁾を用いて、異方性を考慮した透水係数を同定した。また、結果の妥当性を検証する為に、得られた透水係数を用いて、図-2の遮水壁内側観測点を水頭固定境界とした順解析により、次段階以降の揚水時における揚水量、遮水壁外側水位を予測し、観測値と比較した。さらに、異方性考慮の必要性を確認する為に、揚水量と遮水壁内側水位の観測データを用いて異方性を考慮しない場合の透水係数を同定し、次段階以降の揚水時における揚水量、遮水壁外側水位を予測した。なお、何れの順解析も影響圏半径の算定には揚水量と遮水壁外側水位の関係を線形と仮定し、式2より外挿補間した遮水壁外側の水位低下量を用いた。

$$s_{n+1} = \frac{Q_{n+1}}{Q_n} s_n \quad (\text{式2})$$

s_{n+1} : n+1段階の揚水時における遮水壁外側水位低下量
 s_n : n段階の揚水時における遮水壁外側水位低下量
 Q_{n+1} : n+1段階の揚水時における揚水量
 Q_n : n段階の揚水時における揚水量

検討条件および透水係数の同定結果を表-1に示す。実施工は、工事の進捗に伴い複数段階の揚水量で揚水したが、揚水量を抑制した揚水期間を便宜上確認揚水試験と称した。異方性を考慮した同定の結果、鉛直透水係数に対する水平透水係数の比は、3.46~3.87程度であった。また、最終揚水量14.0m³/minに近い揚水条件の方が、同定された透水係数が若干大きいことが分かる。同定された透水係数を用いて、次段階以降の揚水量と遮水壁外側水位を予測した結果を図-3,4に示す。揚水量は、異方性を考慮した場合としない場合で予測精度に大きな差異は認められなかったが、遮水壁外側水位は、異方性を考慮した方が異方性を考慮しない場合と比較して、予測精度がよいことが確認された。また、最終揚水量に近い揚水量での確認揚水試験結果を用いて、異方性を考慮した場合が、最も予測精度がよかった。

表-1 検討条件と同定結果

CASE	異方性考慮	物性評価時期	観測値			同定結果	
			揚水量 : Q (m ³ /min)	遮水壁内側水位 : h ₁ (m)	遮水壁外側水位 : h ₂ (m)	水平透水係数 : k _h (cm/sec)	鉛直透水係数 : k _v (cm/sec)
CASE1	あり	確認揚水試験1	5.0	GL-13.870	GL-12.659	7.370 × 10 ⁻³	2.132 × 10 ⁻³
CASE2	なし					5.940 × 10 ⁻³	5.940 × 10 ⁻³
CASE3	あり	確認揚水試験2	12.0	GL-23.180	GL-20.455	9.545 × 10 ⁻³	2.469 × 10 ⁻³
CASE4	なし					7.984 × 10 ⁻³	7.984 × 10 ⁻³

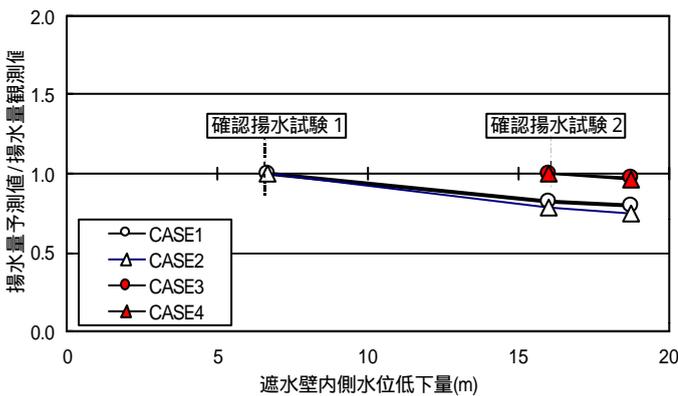


図-3 揚水量の予測精度

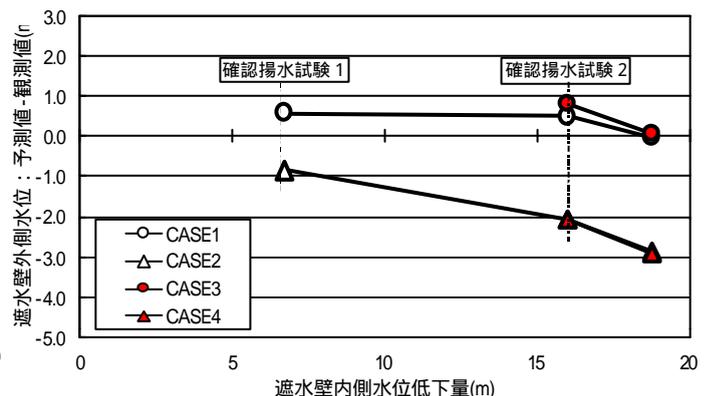


図-4 遮水壁外側の水位低下量の予測精度

4. おわりに

地下水位低下工法において、厳密な排水設計の妥当性、周辺地下水への影響評価をする為には、異方性を考慮した地盤の透水性を評価することが重要であり、今後実地盤の透水異方性データの蓄積が望まれる。

[参考文献]

- 1) 西垣誠：有限要素法による飽和不飽和浸透流解析-AC-UNSAF2D-、1999.
- 2) 根切り工事と地下水、地盤工学会、p.288-302、1991.