

II-341 生活用水として利用されている井戸の水位観測に基づく透水係数の鉛直分布の推定法

東京工業大学大学院 総理工 学生員 入江光輝
 東京工業大学大学院 総理工 学生員 関口由紀江
 東京工業大学大学院 総理工 フェロー 石川忠晴

1. はじめに

飽和透水係数などの地盤の物性値の空間分布の把握は、水循環モデル作成などにおいて極めて重要な課題である。地盤の物性値を求める際、攪乱試料を再構成した供試体は現場状況とはかなりの差があり、また例え不攪乱試料でも採取時の乱れが完全には避けられず、単孔式透水試験法などの原位置試験によって求めることが望ましい。しかし、一般的な原位置試験法では、地層構造が互層している場合などに透水係数の鉛直分布を求めることは難しい。

本研究では、生活用水として一日数回揚水され、かつ水位が大きく季節変動する井戸の水位を観測した。そして揚水後の水位回復過程から浸透流解析¹⁾により鉛直平均透水係数を同定し、そのときの地下水面位置との対応から透水係数の鉛直分布を評価する手法を検討した。

2. 現地観測

観測を行っている井戸は、横浜市西部を流れる和泉川流域(延長 11.5km, 流域面積 11.4km²)の上流域にある。

図-1 に観測井周辺の地形の詳細を示す。周辺の土地利用は宅地化が進んでいるが、段丘崖や台地の上には田畑や河畔林などが残されている。井戸は台地上の V-1 地点にあり、井戸口の地表面標高は 62m、井戸底の標高は 53.83m、口径は 65cm である。(L-1:崖下湧水量、V-2:地下水位の計測も同時に行っているが、ここではその結果は示していない。) 1996 年 6 月より、井戸に圧力式水位計を設置し、計測時間間隔 10 分で自記記録しており、現在も継続している。

図-2 は図-1 中に(A-A')で示した断面に対応するように、上流側を左に下流側を右にして過去のボーリングに基づく地質柱状図²⁾を並べたものである。これらからこの周辺の地質は、基盤となる砂礫層(標高 45m程度)の上に不透水層となる凝灰質粘土層があり、さらにその上の透水性のローム層内に不圧地下水面があると考えられる。さらにロームは二層に分かれ、褐色のロームの上に茶褐色のロームが互層している。

また、粘土層と褐色ローム層は和泉川の流下方向と同じ方向になだらかに傾斜している。このような周辺のボーリングデータを考慮すると、V-1 周辺の地盤は、表土が 2m 弱あり、その下に茶褐色ロームが深度 3m(標高 59m)程度まであり、深度 3m 程度から不透水層までは褐色ロームからなっていると予測される。

図-3 に井戸 V-1 における地下水位観測結果の一例を示す。地下水位は涵養・流去により、比較的大きく変動をする。過去 3 年間の観測結果における最低水位は 56.89m 最高水位が 60.55m である。図-4 は、一日の地下水位の変動を、それぞれ水位が低い時期と高い時期のものについて示したものである。生活用に揚水されて 10~30cm 水位が低下し、その後ゆるやかに回復している様子がわかる。二つの図を比較すると元の水位に回復するまでの時定数が大きく異なっている。この水位回復特性の違いは地下水面の高低により、上部の茶褐色ロームが帯水層となるか否かによっているものと思われる。

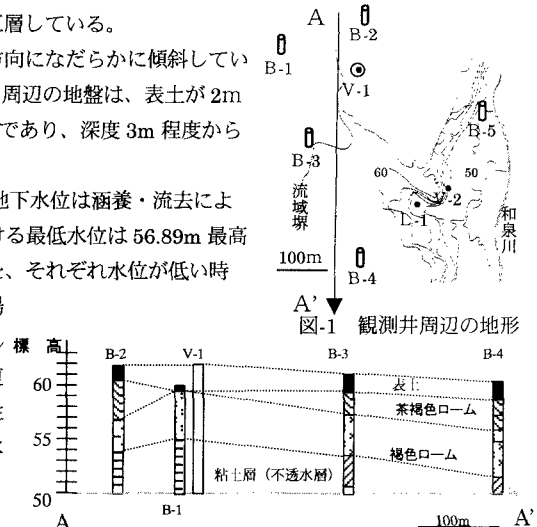


図-1 観測井周辺の地形

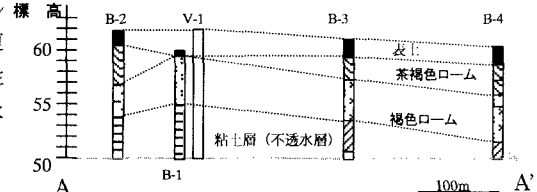


図-2 ローム台地の互層構造

3. 解析方法

図-5 に示すような井戸まわりの円筒座標系を考える。不飽和層では基礎方程式として Richards の式(1)を用い、含水率とサクシジョンの関係には Brooks & Corey の表示法(2)、不飽和透水係数には Cambell の表示法(3)を用いて、

キーワード：地下水・不均質地盤・揚水・透水係数・井戸

連絡先 (〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 電話：045-924-5515 FAX：045-924-5549)

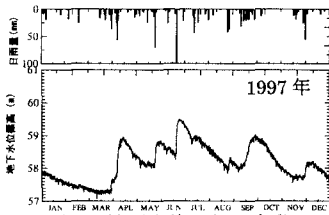


図-3 地下水位の年間変動

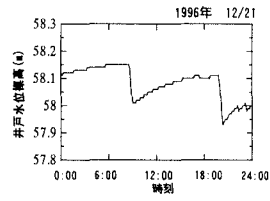
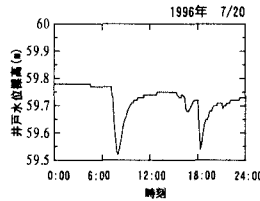


図-4 地下水位の日変動 (左: 地下水位高 右: 地下水位低)

鉛直一次元不飽和浸透流計算を行う。

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K_s(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\} \quad (1)$$

$$C(\psi) = \frac{\partial \theta}{\partial \psi} = (\theta_s - \theta_r) \lambda \frac{\psi_a^\lambda}{\psi^{\lambda+1}} \quad (2)$$

$$K_s(\psi) = K_{s0} \left(\frac{\psi_a}{\psi} \right)^n \quad (3)$$

z: 地表面を原点とする鉛直下向き座標
 Ψ : 圧力ポテンシャル Ψ_{cr} : 空気侵入値
 $K_s(\Psi)$: 不飽和透水係数 K_{s0} : 飽和透水係数
 θ_s : 飽和体積含水率 θ_r : 最小体積含水率

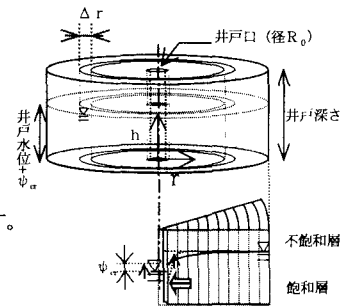


図-5 計算領域

一方、飽和層における円筒座標系の側方流はダルシー則と連続条件を満たす。

$$\text{Darcy 則: } Q = -K_{s0}(2\pi rh) \frac{\partial h}{\partial r} \quad (4)$$

h: 不透水層からの水位

q_b : 不飽和域から飽和域への流量

$$\text{連続式: } q_b = v = \left(\frac{\partial u}{\partial r} \right) h = \frac{1}{2\pi r} \frac{\partial Q}{\partial r} \quad (5)$$

Q : 飽和側方浸透流量

これらの基礎式に基づき、文献³⁾に示した手順で不飽和層と飽和層の一次元浸透流モデルを可変の浸潤面で接合する。本研究ではこのモデルを用いて揚水後の水位回復過程をシミュレートし、各地下水位時の鉛直平均透水係数を同定した。計算例を図-6に示す。計算結果は高水位時、低水位時、いずれの場合においても観測結果の水位回復過程を良く再現している。

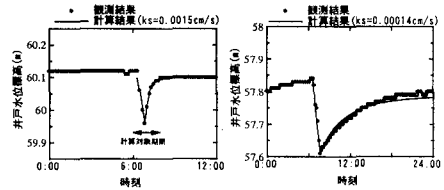


図-6 計算結果と観測結果の比較 (右: 高水位時 左: 低水位時)

4. 透水係数の鉛直分布の推定

上述の透水係数の同定を様々な地下水位時について数十ケースの水位回復過程について行った。同定された透水係数と揚水前の元水位との関係を図-7に示す。標高 59m までほぼ一定値を示しているが、59m 以浅は透水係数が急激に大きくなっている。このことから、標高 59m 以深は一様な土層であり、それより上は比較的高い透水係数の層が分布していると考えられる。この透水係数が変化する標高は、前述のボーリング資料から予測される二種のロームの境界とよく一致している。

また、標高 59m より上に地下水位がある場合に同定された透水係数は、各層の透水係数を層厚を重みとして重み付き平均されたものであると考えられる。このとき、平均化によって図-7中に示した曲線で水位-透水係数関係が示されるように、各層の層厚と透水係数を同定した。その結果を図-8に示す。このとき同定された透水係数も関東ロームの値として妥当な値となっているものと思われる。

以上のように、既存の井戸の水位観測を行うことによって、新たにボーリング等の大規模な施工を行うことなく、地盤の透水係数の鉛直分布を推定することができた。

参考文献

- 1) 入江光輝, 鈴木伴征, 石川忠晴: 水平飽和浸透と鉛直不飽和浸透を可変境界で接合した疑似二次元的浸透流計算について, 水理講演会論文集 43 巻, pp181-186, 1999
- 2) 横浜市地盤図集: 横浜市, 1996

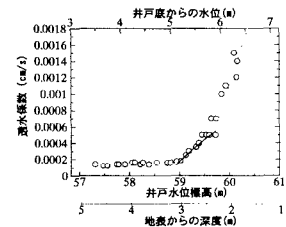


図-7 透水係数と地下水位の関係

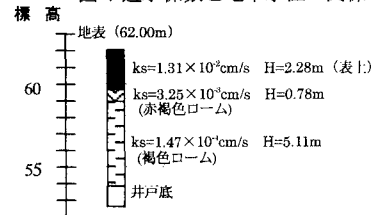


図-8 各層の透水係数と層厚