

現場揚水プローブを用いた透水係数推定法の多層地盤における適用性

九州大学大学院 学生会員○尾上 弘則 フェロー会員 落合 英俊
正会員 安福 規之 正会員 大嶺 聖
正会員 小林 泰三 学生会員 大場 慎治

1. はじめに

地下水調査の重要性は、地下工事における地下水処理や構造物の維持管理、長期安定性の検討、地盤汚染物質の移流・拡散現象の把握、水資源としての地下水の利用など様々な観点から高まってきている。当研究室では、簡便性の高いコーン貫入試験 (CPT) に着目し、これに透水係数を評価する機能を付与することで、局所的な地盤の透水性を評価することができ、ピンポイントでの多点計測を可能とする地盤調査機の開発を進めている¹⁾。本報では、多層地盤において個別の層の透水係数を求めるための方法論を展開する。

2. 既往の研究成果

本研究で提案する透水係数推定法は、揚水機能を有するコーンペネトロメータを地中に貫入し、ロッドに設置された取水口を介して地下水を揚水するものである。揚水時の計測データ ($\Delta h, Q$) と透水係数 k との間には、以下のような線形関係が得られることが分かっている¹⁾。

$$k = \alpha \cdot \frac{Q}{\Delta h} \quad (1)$$

ただし、 k : 透水係数 (cm/s)、 α : キャリブレーション係数 (1/cm)、 Q : 流量 (cm³/s)、 Δh : 水頭差 (cm) である。なお、キャリブレーション係数 α は、取水口の条件 (コーンの外径、取水口の高さ) によって決まる値であり、理論解析によって事前に求めることができる。(1)式から、計測データの比 $Q/\Delta h$ に α を掛けることで、 k が求められることになる。

3. 多層地盤における推定法の適用

(1)式は透水係数が均質に分布している地盤を前提としたものであるが、実地盤では、透水性の異なる土が層状に堆積した多層構造となっていることが大半である。そこで、本報では、多層地盤を想定し、個別の層の透水係数をピンポイントで推定する方法を提案する。ここでは、多層地盤として、上層、中層、下層からなる 3 層モデルを仮定し、中層の中心にプローブの取水口を接地して揚水を行う場合を考える。なお、コーンの先端に CPT を取り付けることによって地層判別が可能となるので、中層の層厚 D は既知量として扱うことができる。また、本報では、簡単のため、上下層は同一地盤とし、透水係数は等しいものとした。多層地盤内において揚水中に形成される流れ場を有限要素法を用いて解析した結果の例を図-1に示す。図-1(b)、(c)に示すように、上下に透水性の異なる層がある場合には流れ場に変化が起り、得られる計測データにその影響が

反映される。したがって、(1)式を用いても中層の透水係数の真値を得ることができず、(b)の場合は k を過小評価、(c)の場合は過大評価することになる。取水口周辺の流れ場は、取水口高さに対して中層の層厚が大きいくほど上下層の影響を受けにくくなると考えられるため、原理的には取水口高さを十分小さくすれば推定値は中層の透水係数である真値に近づくはずである。本報では、取水口高さを任意に変化させることのできるプローブを用い²⁾、取水口高さを変化させた場合の推定値の変化から、中層の透水係数を外挿する方法を検討する。

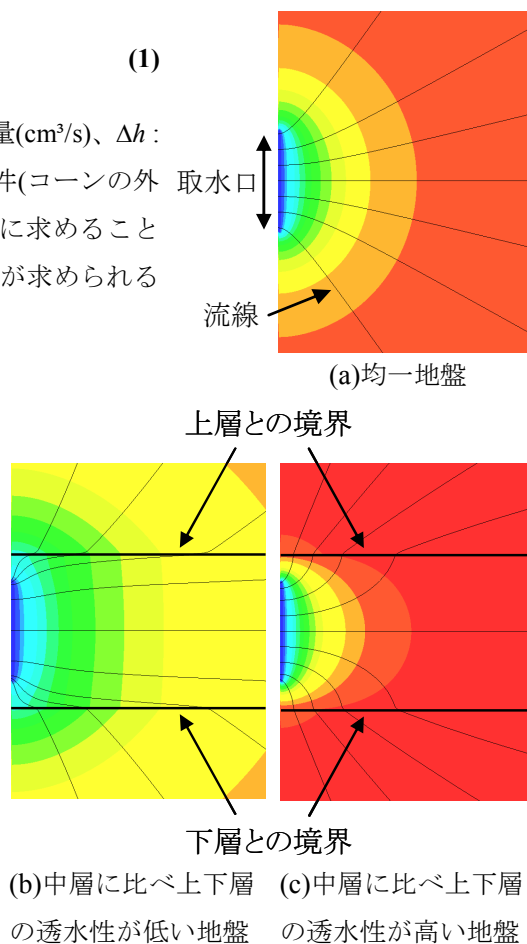


図-1 取水口周りの流線図

3.1 FEM 解析

多層地盤における透水係数推定法の妥当性を検討するために、有限要素法を用いて数値シミュレーションを行った。解析では揚水プローブの半径を 2cm とし、軸対称モデルで計算を行った。中層の層厚 $D=40\text{cm}$ とし、上下層の層厚は 80cm とした。中層の透水係数を $k=1.0 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ で固定し、上下層の透水係数 k' は $k'/k=10, 10^2, 10^3, 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}$ となる 6 種類を考えた。取水口高さ L は $L=2, 4, 8, 12, 16\text{cm}$ の 5 種類を考え、解析結果は $Q/\Delta h$ の値で出力し、(1)式を用いて透水係数 k_{est} を求めた。解析結果を図-2 に示す。図-2 より、 D/L が大きくなるほど推定値 k_{est} は真値 k に近くなり、近似曲線は真値に漸近していくことが分かった。以上の結果から、収束型の関数を準備し、その近似曲線によるフィッティングを行うことによって、注目している層の透水係数（近似曲線の収束値）を推定できる可能性がある。すなわち、注目層の中央までプローブを貫入させた後、取水口高さを変化させながら数回測定を行い、得られた間欠的な推定値の近似曲線をフィッティングすることによって、各層ごとの透水係数を評価できることになる。

3.2 模型実験

FEM 解析によって得られた関係が実際に得られるかどうか模型実験を行って確認した。実験装置には取水口高さを調節できる揚水プローブと小型のチャンバーを用いた²⁾。本実験では、豊浦砂と珪砂からなる層を組み合わせ多層地盤を模擬した。なお、あらかじめそれぞれの試料のみで均一地盤を作製し、同様の揚水試験を行った結果、豊浦砂および珪砂の透水係数は、それぞれ $1.03 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ 、 $1.16 \times 10^{-1}\text{cm/s}$ となった。模型地盤（図-3）の条件は、以下の 2 ケースとした。

Case1 : 中層を珪砂、上層および下層を豊浦砂で形成し、中層に対して上下層の透水係数が小さい場合

Case2 : 中層を豊浦砂、上層および下層を珪砂で形成し、中層に対して上下層の透水係数が大きい場合

揚水プローブを貫入し、取水口が常に地盤の中央に位置するように調節しながら取水口高さ L を 2, 4, 8, 12, 16cm と変化させ、計測データ ($\Delta h, Q$) から (1) 式を用いて中層の透水係数の推定値 k_{est} を求めた。その実験結果を図-4 に示す。図-4 より、**Case1** では L が小さくなるほど k_{est} の値が大きくなり、**Case2** では逆に k_{est} の値は小さくなっている。したがって、 L が小さくなるほど k_{est} は中層の透水係数の値に近づいていることが分かる。これらの結果から解析と同様の傾向が実験によっても得られることが確認できた。

4. まとめ

本報では、提案する透水係数推定法および開発した揚水プローブを用いて、多層地盤において個別の層の透水係数を評価できる可能性を示した。今回は限られた条件のみで検討を行ったが、今後も適合性を確認するために様々な条件下でのデータを蓄積し、研究を進めていく。

【参考文献】1) 小林泰三ら：透水試験機能を有するコーン貫入試験機の開発、第 41 回地盤工学研究発表会、鹿児島、C-03、pp.1147-1148、2006. 2) 大場慎治ら：現場揚水プローブを用いた透水係数の異方性評価、土木学会西部支部、長崎、2008.

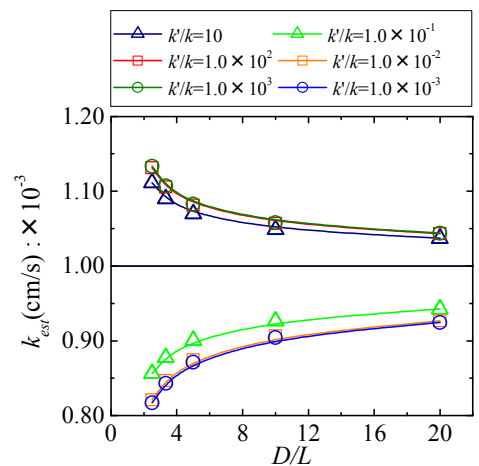


図-2 解析結果

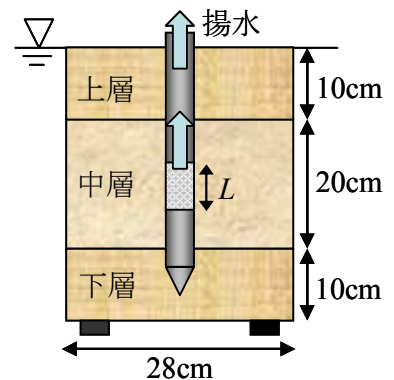
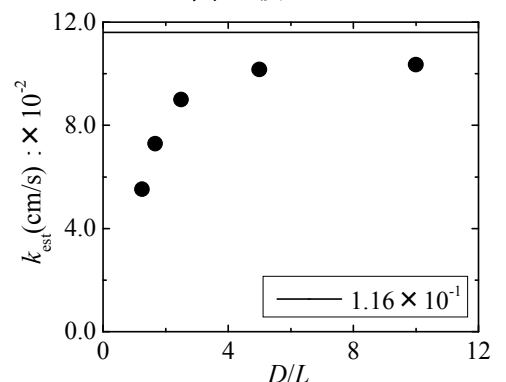
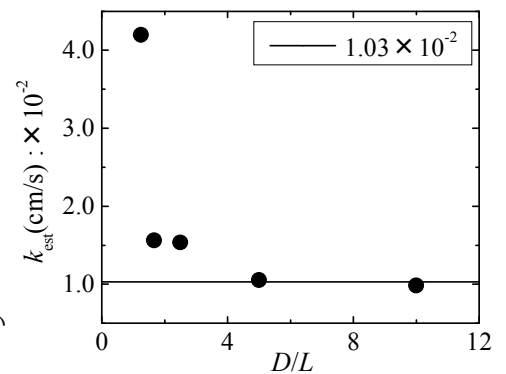


図-3 模型地盤



Case1



Case2

図-4 実験結果