

現場揚水プローブを用いた透水係数の異方性評価

九州大学大学院 学○大場 慎治 F 落合 英俊 正 安福 規之
九州大学大学院 正 大嶺 聖 正 小林 泰三 学 尾上 弘則

1. はじめに

近年の地盤環境問題への関心の高まりから、欧米を中心として、センサーやサンプラーを付与したロッドを地盤に直接貫入して地盤情報を取得する地盤調査法(Direct-Push Technology)が注目されてきている。著者らはその一手法として、揚水機能を有するプローブを用いて地盤の透水係数を評価する手法を提案した^{1) 2)}。本報では、揚水プローブの取水口高さを地盤貫入後に制御することができるプローブの試作機を製作し、異方性を有する模型地盤に対して揚水実験を行った。本報は、その結果を受けて、試作した現場揚水プローブによる透水係数の異方性の評価手法を検討した。

2. 揚水プローブを用いた透水係数の評価法

本研究で提案する透水係数の評価手法は、コーン貫入試験(CPT)のロッド部に取水口(フィルター)を設置し、ポンプを用いて地下水を定常的に揚水し、そのときの水圧 u と流量 Q を計測するシステムである。図 1 に製作した揚水プローブの試作機を示す。このプローブには、上下方向に自由にスライドさせることができるスリーブが設置されており、プローブを地盤貫入後に取水口高さの任意調整が可能となっている。内蔵されている水圧計で計測される水圧は、その地点の静水圧を差し引いた水圧 Δu であり、水頭表示で $\Delta h (= \Delta u / \gamma_w)$ と表す。ここで、揚水中の Q と Δh 、 k の関係を、有限要素解析を用いて定式化した。その結果、次式のように計測データの比である $Q / \Delta h$ にキャリブレーション係数 α を乗ずることで k が求められることが分かった。

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

ただし、 α ：キャリブレーション係数であり、プローブの半径 r_0 と取水口の高さ l によって決定される値である。

3. 揚水プローブの試作機を用いた模型実験

揚水プローブの試作機を用いて異方性を有する模型地盤に対して揚水実験を行った。図 2 に模型実験装置を示す。模型地盤には多孔の円筒チャンバー(高さ:400mm、内径:280 mm)を使用し、水をはったポリバケツに水浸した状態で揚水を行った。揚水プローブの外径は40mmである。取水口の高さ l は、 $l = 2 \sim 16\text{cm}$ とし、プローブ内に内蔵されている水圧計で Δu を測定した。流量はチューブ先端から流出する水量を一定時間計測して求めた。実験では豊浦砂を使用し、空中落下法によって異方性 ($k_h > k_v$) を有する模型地盤を製作した。砂の落下高さを変えることによって、4 種類の密度となる地盤を作製し、それぞれの地盤に対して取水口を変化させて透水係数の推定を行った(図 3)。図 3 から取水口高さが大きくなると、透水係数の推定値は大きくなっていることが確認できる。実験結果を曲線で近似すると、取水口高さが十分大きな領域では収束する傾向にあることが分かった。

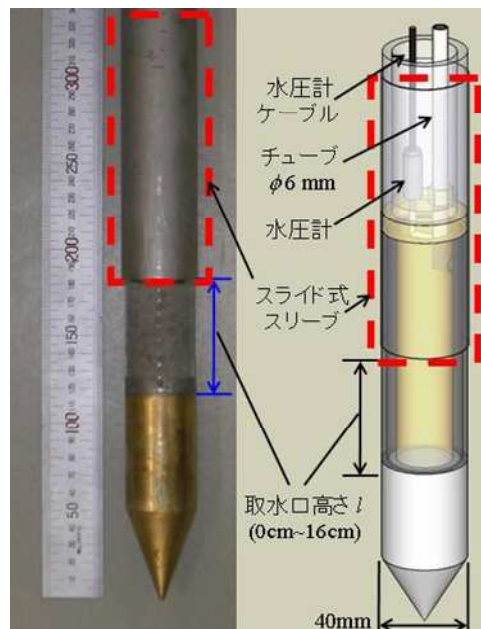


図 1 揚水プローブの試作機



図 2 模型実験装置

(左:円筒チャンバー、右:装置全体図)

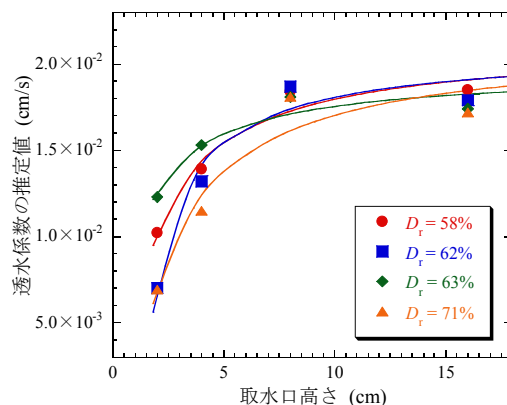


図 3 豊浦砂における取水口高さと透水係数の推定値の関係

4. 透水係数の異方性の評価手法

前節の模型実験の結果より、透水係数の推定値の近似曲線は収束する傾向にあることが分かった。これは、取水口の長い揚水プローブを用いて測定を行うと、取水口に流入する流れが、鉛直方向の流れ成分よりも水平方向の流れ成分が卓越するためであると考えられる。このことから、異方性地盤(一般に $k_h > k_v$)では、実験結果を近似した曲線の収束値が横透水係数 k_h を表すと考えられる。曲線の収束値を求めるために、双曲線で近似したモデル関数①(式(2))を考えた。

$$\text{近似モデル①(双曲線)} \quad k = \frac{a}{l+b} + c \quad (2)$$

ただし、 k : 透水係数の推定値、 l : 取水口高さ、 a, b, c : 曲線を近似する係数である。式(2)の双曲線では、係数 c が収束値を表すため、この値が横透水係数 k_h となる。図4に揚水実験を想定した FEM 解析を行って得られた透水係数の推定値と取水口高さの関係を示している。解析条件は、 $k_v = 1.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 、 $k_h = 1.0 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 、揚水プローブの半径 $r_0 = 2.0 \text{cm}$ である。図4の場合では、収束値である係数 c が 0.10 であるので、横透水係数 k_h が $1.0 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ であることが分かる。このことから、双曲線の収束値を用いた横透水係数 k_h の評価手法は妥当であると考えられる。

次に縦透水係数 k_v の導出を考える。横透水係数 k_h は双曲線の収束値として得られたが、縦透水係数 k_v は得られない。そこで新たに累乗関数で近似したモデル関数②(式(3))を考えた。

$$\text{近似モデル②(累乗関数)} \quad k = A \cdot l^B \quad (3)$$

ただし、 A, B : 曲線を近似する係数である。この係数 B は、 $B < 1$ であり、累乗関数の曲率を決定する値である。この係数 B と k_h / k_v の値の間に関係性がないかと考え、FEM 解析を行って確認した(縦透水係数 k_v が得られなくても k_h / k_v の値が分かれば、 k_h の値を用いて計算できるからである)。解析の結果、 k_h / k_v の値と累乗関数の曲率を表す係数 B の関係は、 k_h, k_v の値の大きさによらず、一つの曲線(図5)で表すことができることが分かった。これより、測定結果を式(3)で近似し、図5を用いることで係数 B から k_h / k_v の値が分かり、 k_h の値を用いて k_v の値が計算できることになる。

図6に透水係数の異方性の評価プロセスを整理して示す。 k_h の値は測定結果を式(2)で近似し、双曲線の収束値を表す係数 c より評価できる。 k_v の値は式(3)で近似し、累乗関数の曲率を表す係数 B より k_h / k_v の値が評価でき、 k_h の値を用いて k_v の値が計算可能となることが示された。

5. まとめ

本報告では、揚水プローブの試作機を用いた模型実験を行い、実験結果の近似曲線を双曲線・累乗関数で近似することで、透水係数の異方性を評価する手法を紹介した。今後は模型実験を繰り返し行い、データを蓄積させ、更なる検討を行う予定である。

【参考文献】 1) 尾上弘則、落合英俊、安福規之、大嶺 聖、小林泰三、大場眞治: 透水試験機能を有するコーン貫入試験機の開発(その1: 模型実験)、西部支部研究発表会、北九州、2007. 2) 大場眞治、落合英俊、安福規之、大嶺聖、小林泰三、尾上弘則: 地下水揚水機能を有するダイレクトプッシュプローブを用いた透水係数の異方向性評価、第42回地盤工学研究発表会、名古屋、2007.

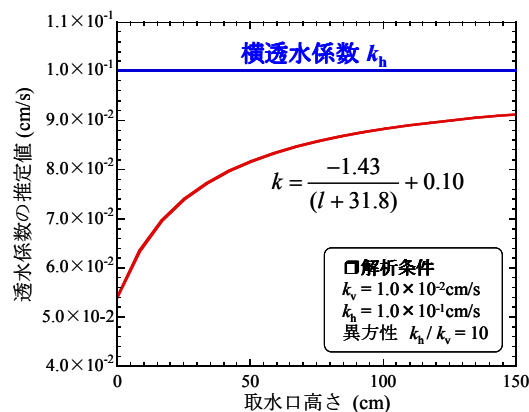


図4 測定における取水口高さ と推定値の関係

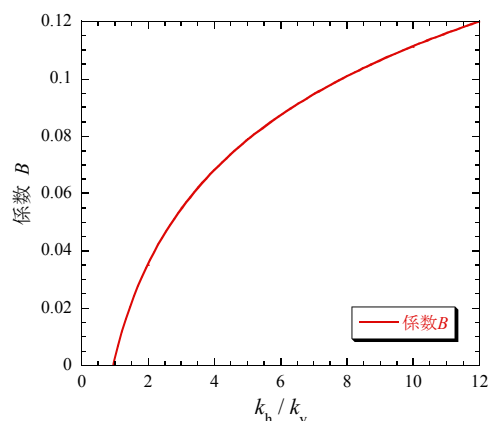


図5 k_h / k_v の値と係数 B の関係

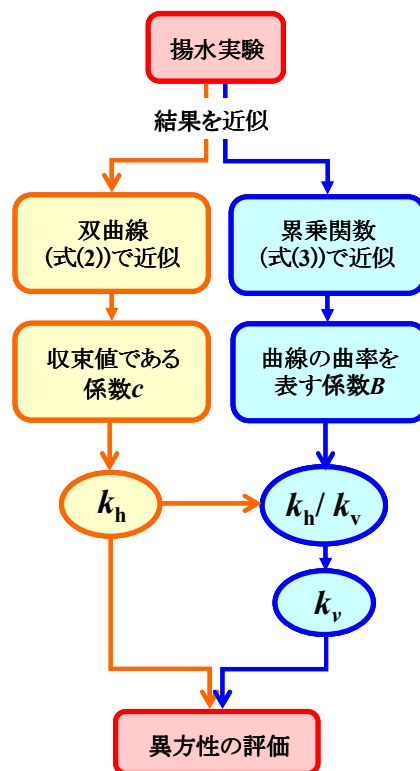


図6 異方性の評価プロセス