

模型実験による透水係数の異方性評価

九州大学大学院 学生会員○尾上 弘則 正会員 安福 規之
正会員 大嶺 聖 正会員 小林 泰三

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、本研究で提案している揚水プローブを用いた透水係数の異方性評価法に関して、模型実験による妥当性の検証を行ったので結果を報告する。

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推定法は、揚水機能を有するプローブ (揚水プローブ) を地中に貫入後、プローブに設置した取水口を介して地下水を定常的に揚水し、そのときの水圧 u と流量 Q を計測するものである。図-1 に新たに開発した揚水プローブの試作機を示す。この試作機は、付属の加圧ポンプのレバーを押し込むことで、貫入後に取水口の高さを任意に調整することが可能となっている。計測した水圧 u を水頭表示で Δh とすれば、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. 透水係数の異方性の評価手法²⁾

異方性地盤の透水係数は鉛直方向の透水係数 k_v 、水平方向の透水係数 k_h に代表される。本研究で行う揚水実験で得られる値は、周辺地盤の平均的な透水係数であるが、試験区間に流入する流れは、鉛直方向成分よりも水平方向成分が卓越するため、評価される透水係数は k_v よりも k_h に近い値となると考えられる。地盤中の同一の測定点において、取水口高さを変化させて揚水試験を行うと、取水口高さを大きくするほど水平方向成分が卓越し、取水口高さと透水係数の推定値との間に図-2 に示すような関係が得られる。したがって理論的には、取水口高さを大きくすれば、透水係数の推定値は k_h に漸近していくはずである。そこで、このグラフを収束関数で近似することで、関数の収束値として地盤の透水係数の水平方向成分の値 k_h を評価できると考えた。双曲線で近似したモデル関数 (2)式) を次式に示す。



図-1 揚水プローブと取水口伸張用加圧ポンプ

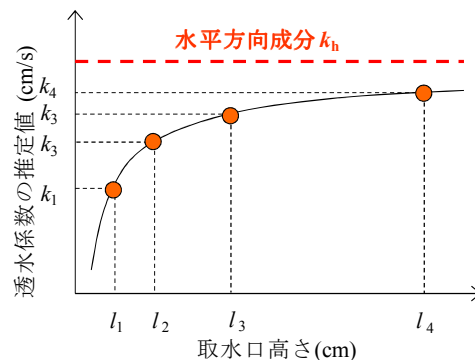


図-2 取水口高さと推定値の関係

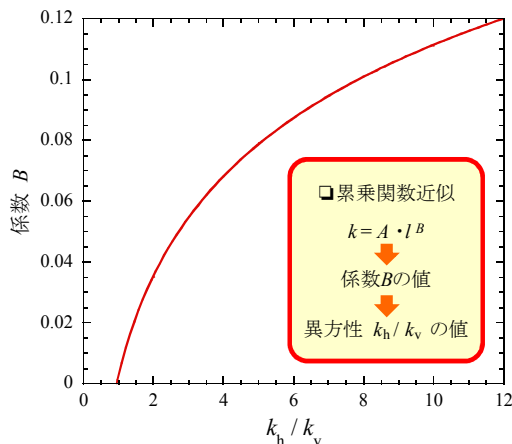


図-3 係数 B と k_h/k_v の関係

$$k = \frac{a}{l+b} + c \quad (2)$$

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。(2)式の双曲線では、係数 c が収束値を表すため、この値が k_h となる。次に鉛直方向の透水係数 k_v を得るためには、新たに累乗関数で近似したモデル関数 (3)式) でフィッティングを行う必要がある。

$$k = A \cdot l^B \quad (3)$$

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 の値の間には図-3 に示す関係性があることが FEM 解析の結果から分かっており、 k_h の値を用いて k_v の値が計算できることになる。

4. 模型実験

提案する異方性評価法の検証を行うために、模型地盤による揚水実験を行った。図-4 に実験装置を示す。模型地盤には多孔の円筒チャンバー(高さ:70cm、内径:50cm)を使用し、試料は珪砂($D_{10} = 0.14\text{mm}$ 、 $D_{50} = 0.25\text{mm}$)を用い、空中落下法によって地盤を作製した。図-5 に実験の概略を示す。チャンバーを水で満たした水槽に水浸させ、図-1 に示した揚水プローブを用いて揚水を行った。取水口高さ l は $l = 2 \sim 30\text{cm}$ と変化させ、各種水口高さごとに計測を行い、透水係数の推定を行った。実験結果を図-6 に示す。図-6 のプロットより、取水口高さが大きくなるほど推定値が大きくなっていく傾向が確認でき、対象地盤の異方性が認められる。続いて、対象地盤の異方性を評価するため、このグラフを用いてフィッティングを行った。図-6.1 に(2)式によるフィッティング、図-6.2 に(3)式によるフィッティングの結果を示した。図-6.1 より、係数 c の値から k_h の値が $k_h = 7.58 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ と推定された。また、図-6.2 より、係数 B の値が 0.039 と得られ、図-3 を参照すれば、 k_h / k_v の値が 2.3 と得られる。先に得られた k_h の値から計算して、 k_v の値は $k_v = 3.30 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ と推定された。さらに得られた推定値の妥当性を検証するため、あらかじめ行った透水試験結果と比較した。透水試験に用いた供試体は模型地盤と同一の条件で作製し、 k_v を求める鉛直方向の透水試験と k_h を求める水平方向の透水試験をそれぞれ行ったところ、 $k_v = 2.75 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 、 $k_h = 7.26 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ であり、透水試験の結果と模型実験によって推定された値とを比較したところ、 k_v, k_h 共に良い一致を示している。以上の結果より、提案した手法による異方性評価法の妥当性が示唆される。

5. まとめ

本報では、開発した揚水プローブを用いた異方性評価法を模型実験によって検証し、提案する手法によって地盤の異方性を評価できる可能性を示した。現段階ではデータが不足しているので、様々な異方性地盤を対象とした揚水実験を行い、今後も検証を進めていく。

【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-4 実験装置チャンバー(左)と水槽 (右)

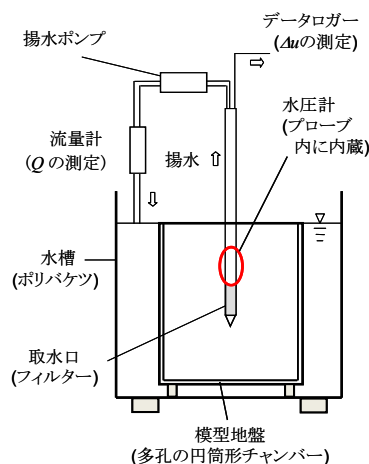


図-5 模型実験の概略図

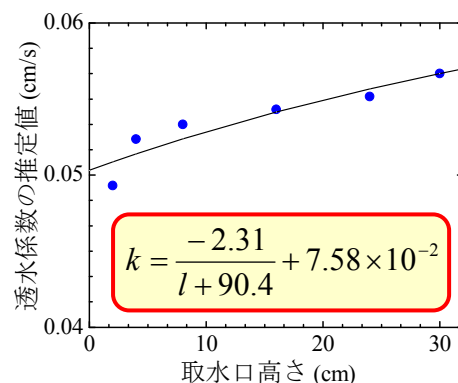


図-6.1 実験結果

(2)式によるフィッティング

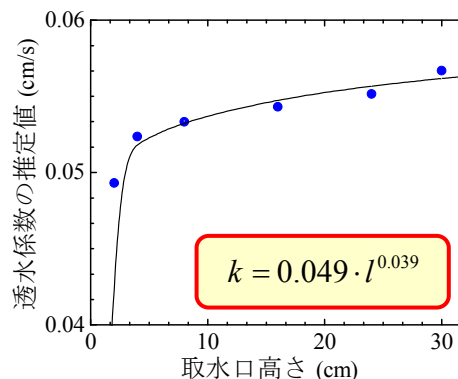


図-6.2 実験結果

(3)式によるフィッティング