透水係数測定機能を有するコーン貫入試験機の開発(その1:模型実験による検証)

九州大学工学部 学生会員〇尾上 弘則

九州大学大学院 フェロー会員 落合 英俊 正会員 安福 規之 正会員 大嶺 聖 九州大学大学院 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、構造物の維持管理や長期安定性の検討、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「)。これまでは、透水係数推定の原理を実証するために、簡易的な試作プローブを作製し、室内模型実験を行ってきた。本報では、より高精度の計測が可能となるプロトタイプのプローブを新たに作製し、大型チャンバーによる室内模型実験を行った。

2. 本研究で提案する透水係数推定法 1)

本研究で提案する透水係数の推定法は、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。図-1 は、新たに作製した揚水型コーンの試作機である。ロッド内部に小型の水中ポンプと流量計および水圧計を内蔵しており、取水口に流入する流量 Q 水圧 u を計測することが可能となっている。この際に計測される水圧は、静水圧を考慮した過剰水圧(負圧) Δu であり、これを水頭表示で $\Delta h = \Delta u/\gamma_w$ とすれば、Q と Δh の組み合わせは、地盤の透水係数を反映したものとなることが予想される。すなわち、透水係数 k は、流量 Q、水頭差 Δh 、取水口の条件である取水口の外径 r、取水口の長さ l の関数形で表されることが予想され、r 及び l の値をあらかじめ決めておけば、 $k = f(\Delta h, Q)$ なる関数形で表すことができることとなる。この関数を事前に知ることによって、計測値である $(\Delta h, Q)$ から k を推定することが可能となる。本報では、この推定法の妥当性を検証するとともに、その関数の形を求めるために、室内模型実験を行った。

3. 模型実験

図-2 は、実験装置の略図及び模型実験の写真である。高さ 100cm、内径 100cm の円筒形チャンバーに空中落下法によって模型地盤を作製し、地盤の中央に取水口が位置するまでコーンを貫入する。次いで、揚水を開始し、ポンプの電圧を変化させながらそれに対応する流量 Qと水頭差 Δh を測定した。また、水槽内の水位は一定に保たれるとともに、チャンバーの周面および底面にからは、水は地盤内に自由に流入できるようになっている。実験では、試料 $A(D_{10}=0.18$ mm, $D_{50}=0.35$ mm)、試料 $B(D_{10}=0.28$ mm, $D_{50}=0.55$ mm)、試料 $C(D_{10}=0.90$ mm, $D_{50}=1.30$ mm)、試料 $D(D_{10}=1.70$ mm, $D_{50}=3.90$ mm)の 4 種類の試料を用いた。なお、予め模型地盤と同じ密度を再現して定水位透水試験(JIS 法)による透水係数を別途求めた。各試料の透水係数は、試料 $A:k=2.56\times10^2$ cm/s、試料 $B:k=2.18\times10^2$ cm/s、試料 $C:k=3.48\times10^4$ cm/s、試料 D:k=1.062cm/s である。

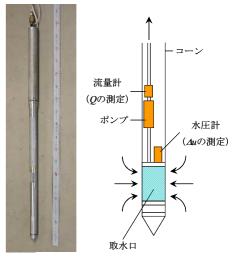


図-1 揚水型コーン試作機

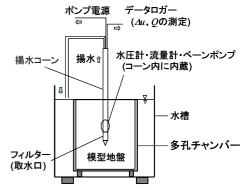


図-2(a) 模型実験装置略図



図-2(b) 模型実験の様子

4. コーン内部における水頭損失と計測値の補正

図-3(a)にポンプの出力変化に対応する流量 Qと水頭差 Δh の実験結果を示す。図-3(a)より、流量 Qと水頭差 Δh の間には線形関係が見られ、その勾配 $Q/\Delta h$ は、それは地盤の透水性に依存していることが認められる。しかし、各試料における $Q/\Delta h$ の最確値を表す回帰直線が原点を通っておらず、水頭差がない場合、Q の値が 0 とならなければならないことに矛盾する。その原因として、コーンの内部において、揚水した水が通過する管の急縮小等による形状損失が卓越し、計測される水頭差 Δh が実際の値よりも小さい値となっている可能性が考えられる。そこで、形状損失を考慮して測定された Δh の補正を試みる。一般に、管路における形状損失 h は以下の式で表される。

$$h = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{\zeta}{2gA^2} \cdot Q^2 = \psi \cdot Q^2 \tag{1}$$

ただし、 ζ : 損失係数、v: 流速、g: 重力加速度、A: 管路の断面積、Q: 流量であり、 ψ は $\psi = \zeta/(2gA^2)$ で表される損失係数である。 ψ は、試験機側の条件によって決まる値であり、ここで、補正後の水頭差を Δh 'とすると、 $\Delta h' = \Delta h - h$ と表される。本報では、 \mathbf{Z} - \mathbf{Z} (a)の回帰直線が原点を通る直線となるように ψ の最適化を行った。その結果、 ψ は 1.64×10^{-2} s/cm² となり、その値を用いた補正の結果、 \mathbf{Z} - \mathbf{Z} (b)を得た。すなわち、コーン内で生じる損失を補正することで流量 \mathbf{Z} と水頭差 \mathbf{Z} $\mathbf{Z$

5. k と Q/∆h の関係

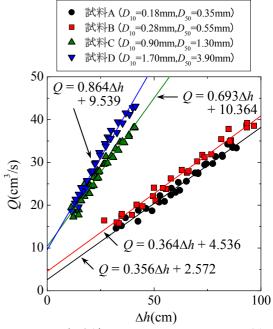
模型地盤と同じ密度を再現して行った定水位透水試験(JIS 法)によって得られた透水係数 k と、図-3(b)より得られる回帰直線の勾配 Q / Δh 'の間の関係を調べた結果、図-4 を得た。図-4 より、透水係数と勾配 Q / Δh 'の間には線形関係が存在することが予想され、それらを関連付ける比例係数を α とすると、回帰直線の勾配から α は $0.243 \,\mathrm{cm}^{-1}$ と求められた。これらの関係から、計測データから透水係数を推定する関数が、次式のような簡単な形で表されることが分かった。

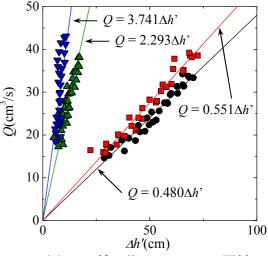
$$k = \alpha \cdot \frac{Q}{\Delta h} = 0.243 \frac{Q}{\Delta h} \tag{2}$$

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。

6. まとめ

本報では、新たな揚水型コーン試作機を開発し、これを用いた模型 実験を行うことによって、透水係数の推定式が実験的に得られた。今 後は、さらにデータを蓄積するため、様々な透水性の試料を用いて模 型実験を行っていく予定である。





【参考文献】1)小林泰三、落合英俊、安福規之、大嶺聖、Pina Rujivipat、大場慎治: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、地盤工学会、鹿児島、C-03、pp.1147-1148、2006.. 2)大場慎治、落合英俊、安福規之、大嶺聖、小林泰三、尾上弘則:透水試験機能を有するコーン貫入試験機の開発(その2)、西部支部研究発表会、土木学会西部支部、北九州、2007.