

電気式コーン貫入試験を用いた泥炭地盤の透水係数の推定法

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 (正) ○林宏親、(正) 山梨高裕、(正) 橋本聖、(正) 山木正彦

1. まえがき

泥炭地盤の変形解析として、弾塑性や弾粘塑性モデルを用いた FEM 解析の適用性が明らかとなっており¹⁾、実務においても解析事例が増えてきている。ところが、解析に用いる透水係数は、地盤変形の時間依存性に密接な関連を持つ重要なパラメータであるにもかかわらず、泥炭地盤における決定法が問題となることが多い。そこで、本報告では、まず当該問題における原位置透水試験の有効性を示した上で、電気式コーン貫入試験（以下、CPT）を用いた間隙水圧消散試験（以下、消散試験）による原位置透水係数の推定法を提案する。

2. 原位置透水試験と圧密試験から得た泥炭地盤の透水係数

地盤の透水係数を求めるには、いくつかの方法があるが、一般には圧密試験から式(1)で算出することが多い。ここで、 k_{lab} は圧密試験から求めた透水係数(m/s)、 c_v は圧密係数(cm^2/d)、 m_v は体積圧縮係数(m^2/kN)、 γ_w は水の単位体積重量($=9.81\text{kN}/\text{m}^3$)である。

$$k_{lab} = c_v m_v \gamma_w / (8.64 \times 10^8) \quad (1)$$

一方、木暮²⁾は、泥炭中の大きな植物遺骸や灌木類の周りが通水経路となりやすく、そこが土層全体の透水性を支配すると指摘している。つまり、小さな供試体から得られる k_{lab} は、木暮の指摘している巨視的な通水経路を反映したものではなく、土層全体の透水性を過小に評価している可能性がある。そこで、巨視的な通水経路を含む平均的な透水係数を測定する原位置透水試験を、北海道内の泥炭地盤 9 箇所（自然含水比 $W_n=240\sim1023\%$ 、強熱減量 $Li=23\sim95\%$ ）

において実施した。試験方法は、ボーリング孔を利用した非定常法（回復法）とし（図 1）、式(2) によって原位置透水係数 $k_{in-situ}$ (m/s)を求めた。ここで、 d は水位変動区間の孔径(m)、 L は試験区間長(m)、 D は試験区間の孔径(m)、 m は水位の回復測定から得られる $\log s$ - t 曲線の勾配、 s は平衡水位と測定水位の水位差(m)である。なお、比較のため、泥炭の下位に見られた有機質粘性土および粘性土も試験するとともに、同じ箇所において採取した試料の圧密試験も実施した。原位置透水試験と圧密試験の詳細については、文献 3)と同じである。

$$k_{in-situ} = 0.66 d^2 / L \times \log (2L/D) m \quad (2)$$

図 2 に k_{lab} と $k_{in-situ}$ の関係を示す。いずれも $k_{in-situ}$ が k_{lab} より大きい結果となった。粘性土の $k_{in-situ} / k_{lab}$ は 3~7 程度であったのに対し、泥炭の $k_{in-situ} / k_{lab}$ はそれよりも大きく 10~100

の範囲であった。 k_{lab} は先に述べた植物遺骸周辺の通水を含まない値であり、土層全体の透水性を評価しているとは考えられない。このことが、泥炭の $k_{in-situ} / k_{lab}$ が著しく大きい要因であろう。著者らの泥炭地盤に対する FEM 解析経験によれば、 k_{lab} をそのまま解析用パラメータとして用いると、実際より解析の沈下速度が遅く、 k_{lab} を数倍~数 10 倍程度大きくすると実測挙動と合致することが多い^{例えば 4) 5)}。以上のことから、泥炭地盤の FEM 解析に用いる透水係数は、原位置透水試験から求めることが望ましいといえる。

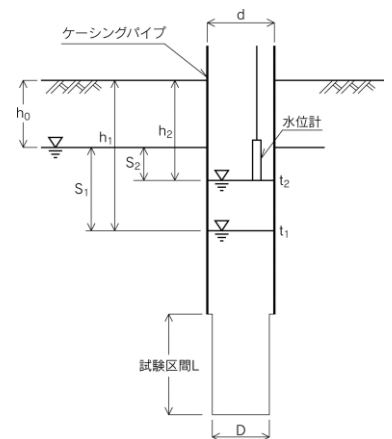


図1 原位置透水試験

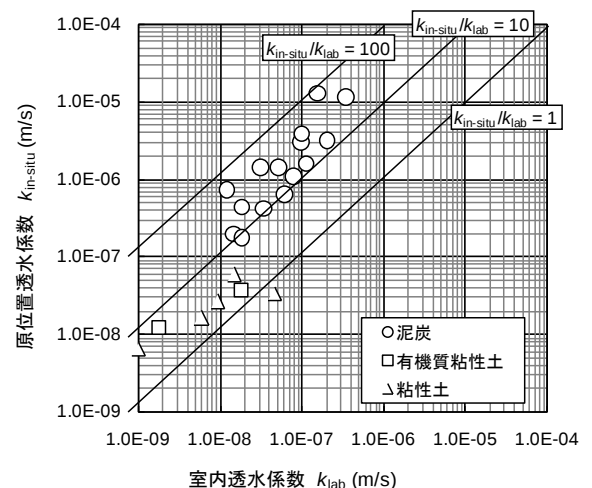


図2 室内と原位置透水係数の関係

泥炭、透水係数、電気式コーン貫入試験、消散試験

寒地土木研究所 寒地地盤チーム（〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3 TEL: 011-841-1709）

3. CPTを用いた間隙水圧消散試験による原位置透水係数の推定

原位置透水試験の有効性を示したが、これには相応の時間とコストを要する。比較的簡易な調査法である CPT によって $k_{in-situ}$ を推定できれば、実務上有用な方法となる。

3.1 消散試験の方法

CPT のコーンを粘性土や泥炭地盤に貫入すると比較的大きな過剰間隙水圧が発生する。図3 使用したコーン形状調査対象深度までコーンを貫入させた後、そのまま放置すると、過剰間隙水圧が徐々に消散し、静水圧まで戻る。この特性を利用して、 $k_{in-situ}$ や c_v を推定する方法を消散試験という。本調査では、原位置透水試験と圧密試験を実施した9箇所のうち、5箇所において図3に示すCPTコーンを用いた消散試験を実施した。コーンの貫入速度は20mm/sとした。

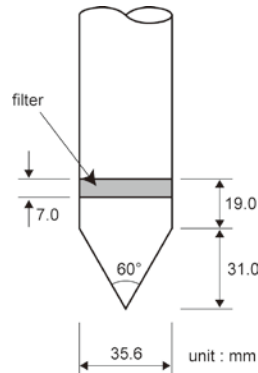


図3 使用したコーン形状

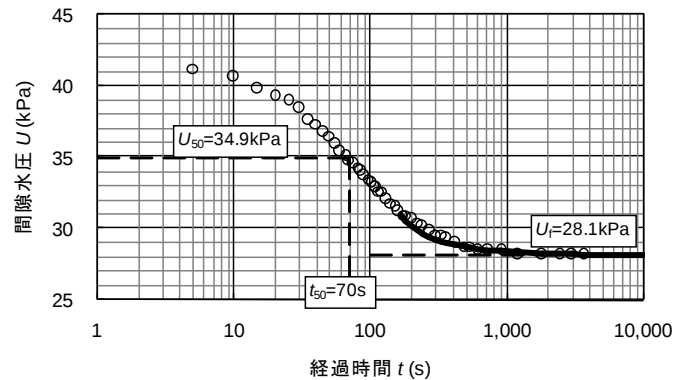


図4 代表的な消散試験結果

3.2 消散試験の結果と考察

粘性土地盤に対しては、過剰間隙水圧が50%まで消散する時間 t_{50} を使った $k_{in-situ}$ や c_v の推定法が提案されている^{6) 7)}。本調査で実施した代表的な消散試験結果を図4に示す。コーン貫入によって生じた過剰間隙水圧が、時間の経過とともに徐々に消散し、経過時間1000秒付近で定常状態に達した。この時の間隙水圧 u_f は28.1kPaであり、測定深度の静水圧とほぼ一致した。 t_{50} は70秒であった。

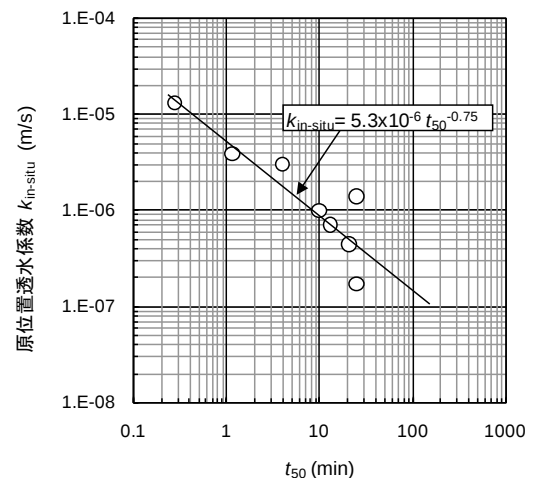


図5 t_{50} と原位置透水係数の関係

他の4箇所の結果も同様な整理を行い、各地点での t_{50} を読み取った。その結果と $k_{in-situ}$ の両対数における関係を図5に示す。 t_{50} が大きくなるに伴い $k_{in-situ}$ が比例的に小さくなる関係が認められることから、泥炭地盤においても消散試験から得た t_{50} をインデックスとすることで両者の近似関係である式(3)を用いて $k_{in-situ}$ が推定できる。

$$k_{in-situ} \text{ (m/s)} = 5.3 \times 10^{-6} t_{50} \text{ (min)}^{-0.75} \quad (3)$$

4. まとめ

北海道内の泥炭地盤において、原位置透水試験、圧密試験およびCPTを用いた間隙水圧消散試験を実施し、FEM解析に用いる泥炭地盤の透水係数について検討した。その結果、泥炭地盤の特性として、圧密試験から得られた透水係数は、土層全体の巨視的な透水性を評価しているとは考えられないことから、原位置透水試験から求めることが望ましいことがわかった。さらに、CPT 消散試験から原位置透水係数を推定する近似式を提案した。

【参考文献】

- 1) 三田地利之、山添誠隆、林宏親、荻野俊寛：泥炭性軟弱地盤の変形解析への各種構成モデル・解析手法の適用性、土木学会論文集C、Vol.66、No.1、pp.1-20、2010。
- 2) 木暮敬二：高有機質土の地盤工学、pp.56-59、東洋書店、1995。
- 3) 林宏親、三田地利之、西本聡：原位置透水試験および圧密試験による泥炭地盤の透水特性の評価、土木学会論文集C、Vol.64、No.3、pp.495-504、2008。
- 4) 山添誠隆、田中洋行、林宏親、三田地利之：泥炭地盤の圧密沈下挙動と慣用予測式の適用性、地盤工学ジャーナル、Vol.6、No.3、pp.395-414、2011。
- 5) Hayashi, H., Mitachi, T. and Nishimoto, S.: Permeability Parameters for FE Analysis of Peat Ground, Proceedings of 14th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, HongKong, (CD-R), 2011。
- 6) Robertson, P., Sully, J., Woeller, D., Lunne, T., Powell, J. and Gillespie, D., Estimating Coefficient of Consolidation from Piezocone Tests, Canadian Geotechnical Journal, Vol.29, pp.539-550, 1992。
- 7) 田中洋行、榊原基生、後藤建次、鈴木耕司、深沢健：我が国の正規圧密された海性粘性土のコーン貫入から得られる特性、港研報告、Vol.31、No.4、pp.61-92、1992。