

小型変水位透水試験による比較的短期間での砂・ベントナイト混合土の透水係数測定の可能性

早稲田大学 学生会員 ○倉持 隼斗
 早稲田大学 正会員 小峯 秀雄
 戸田建設 正会員 関口 高志
 戸田建設 正会員 三浦 玄太

1. はじめに

トレンチ処分やピット処分, 中深度処分(余裕深度処分), 地層処分といった様々な放射性廃棄物処分場の低透水性土質材料として砂・ベントナイト混合土の利用が予定されている。しかし, それらの処分施設に要求される透水係数は 1.0×10^{-9} m/s 以下と非常に小さく, 日本工業規格「土の透水試験方法(JIS A 1218:2009)」において試験方法が規格化されていない²⁾。そこで著者らは, 供試体寸法が直径 60 mm, 高さ 20 mm の小型変水位透水試験装置を用いた方法を研究している^{3)~5)}。これは現場利用を想定し, 比較的簡易で可搬性のある試験方法とした。しかし, 精度のある透水係数が測定できる試験期間は 20 日~40 日程度を要していた。期間の短縮は装置の改良により可能であったが, 可搬性を損なった。そこで本研究では, 装置に改良を施すことなく, 試験の経過時間ごとに得られた透水係数を最終的に得られた透水係数と比較することで, 短期間での透水係数測定の可能性を調査し, 現場で設定される管理基準値とそれを満たすことのできる日数を検討する。

2. 加圧式小型変水位透水試験の概要

本試験では砂・ベントナイト混合土の試料を用いた。砂は三河珪砂 V5 号(三河珪石株式会社製, $\rho_s = 2.65$ Mg/m³), ベントナイトはクニゲル V1(クニミネ工業株式会社製)をそれぞれ使用し, ベントナイト配合率は 30% とした。表 1 にクニゲル V1 の基本的性質を示す。伊藤らの研究³⁾にて実施された締め固め試験の結果, 最適含水比は 15.4%, 最大乾燥密度は 1.74 Mg/m³ であった。この値を目標乾燥密度とし, 直径 60 mm, 高さ 20 mm の試験容器内にて突棒を用いて 2 層に分けて締め固めた。締め固めの条件は, 突棒の落下高さ 30 mm, 突棒の直径 20 mm, 質量 0.5 kg とした。供試体

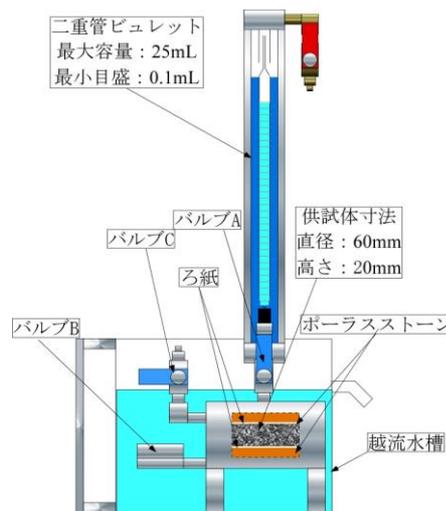


図1 加圧式小型変水位透水試験装置



写真1 加圧式小型変水位透水試験装置

作製後の事前飽和方法は, 蒸留水で満たされた容器内に試験装置を 24 時間浸漬する方法とした。

図写真 1 に, 加圧式小型変水位透水試験装置を示す。本試験装置は二重管ビュレット(最大容量: 24.0 ml, 最小目盛: 0.1 ml, 内径: 11.6 mm) とレギュレータ(最大圧力: 3.500 MPa, 設定範囲: 0.015~1.000 MPa) を使用したことにより, 任意の圧力水頭を付加し, 透水試験を実施している。20 kPa, 30 kPa および 40 kPa を圧力水頭として付加(動水勾配はそれぞれ 220, 270, 320) し, 供試体上面からの通水で透水試験を実施した。試験では供試体への流入量を 1~3 日ごとに測定し, 同時に水温を記録した。下記に示す式(1), (2)を用いて, 透水係数を算出した⁵⁾。

表 1 クニゲル V1 の基本的性質

タイプ	Na 型
土粒子の密度 ρ_s (Mg/m ³)	2.74
液性限界 w_L (%)	506.3
塑性限界 w_P (%)	36.3
塑性指数	470.2
モンモリロナイト含有率 C_m (%)	56

$$k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1 \gamma_w \times 10 + P}{h_2 \gamma_w \times 10 + P} \times \frac{1}{100} \quad (1) \quad k_{15} = k_T \times \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad (2)$$

キーワード 放射性廃棄物処分, 砂・ベントナイト混合土, 変水位透水試験

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58-203 早稲田大学理工学術院 TEL 03-5286-2940

ここで、 k_T : $T^\circ\text{C}$ における透水係数(m/s), a : 二重管ピュレットの断面積(cm^2), L : 供試体高さ(cm), A : 供試体断面積(cm^2), t_2-t_1 : 測定時間(s), h_1, h_2 : 時刻 t_1, t_2 における水位差(cm), γ_w : 水の単位体積重量(kN/m^3), P : 加圧した空気圧(Pa), k_{15} : 温度 15°C における透水係数(m/s), η_T/η_{15} : $T^\circ\text{C}$ と 15°C の粘性係数の比

3. 経過時間ごとの透水係数の精度の確認

図 1 に透水試験における経過時間ごと (3 日目, 5 日目, 7 日目, 10 日目, 15 日目) の透水係数 k と, 試験終了時の透水係数 k_{15} を比較し, 透水係数 k が k_{15} の何倍になるか示した. それぞれの経過時間の透水係数は, それぞれの日数の 2 日前からの 3 日間の平均値とした. 図 2 に拡大した図を示した. ここで, 低透水系土質材料の透水係数は, 測定値の平均値からの変動が $\pm 50\%$ 程度におさまることではほぼ一定とみなしている. そのため本研究では, 試験終了時の透水係数 $k_{15} \pm 50\%$ 以内 ($k=1.5 k_{15} \sim 0.5 k_{15}$ の間) を安定していると考えた.

図 1 より経過時間 3 日と 5 日では k_{15} に対して大きな差異とばらつきが生じていることが確認でき, 測定精度が低いと考えられる. しかし, 7 日目以降は比率が 1:1 の線 (図中の赤線) におおむね近づいていることが確認でき, 同程度のオーダーの透水係数が取得されている. さらに図 2 より, 10 日目以降は k_{15} の $\pm 50\%$ 以内に分布しており, ほぼ一定の透水係数が取得されている.

4. 結論

本研究では, 加圧式小型変水位透水試験を用い, 比較的短期間での砂・ベントナイト混合土の透水係数測定の可能性について調査した. その結果, ベントナイト配合率 30%において, 試験期間 10 日目以降で, 安定した値の $\pm 50\%$ 程度の誤差で透水係数が測定できることが確認された. さらに, 7 日目では $+100\% \sim -50\%$ の範囲であり, 7 日目以降のケースにおいて, 試験装置を改良することなく, 経過時間の比較により, 10^{-12} m/s オーダーの透水係数が測定可能であることが確認された.

以上より, 品質管理における管理基準値が 1.0×10^{-11} m/s 以下である場合は, 簡易的な透水試験において 1 週間~10 日程度で基準値を満たす値を算出でき, 透水性を評価する簡易的な方法として使用することが可能であると考えられる. しかし, 透水係数のばらつきが大きいため, 精度の確認として試験終了時の透水係数を取得する必要があると考えられる.

参考文献 1)伊藤裕紀・庭瀬一仁・金子岳夫・千々松正和・中越章雄:低配合ベントナイト混合土の長期状態変化を踏まえた設計手法に関する一考察,土木学会第 65 回年次学術講演会,CS7-017,2010. 2) 地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説-二分冊の 1-,pp,449~459,2009. 3) 伊藤紗由未・小峯秀雄・関口高志・松木駿:砂・ベントナイト混合土のための透水試験方法の選定・改良とその適用性,土木学会第 70 回年次学術講演会,CS12-021,2015. 4) 関口高志・松木駿・小峯秀雄・伊藤紗由未:小型変水位透水試験における砂・ベントナイト混合材料の飽和状態に関する考察,第 50 回地盤工学研究発表会発表講演集,pp.345~346,2015. 5) 倉持隼斗・小峯秀雄・三浦玄太・関口高志: 小型変水位透水試験における圧力水頭付加の効果 (その 1) -試験装置の改良による精度の向上-,第 51 回地盤工学研究発表会発表講演集,pp.901~902,2016.

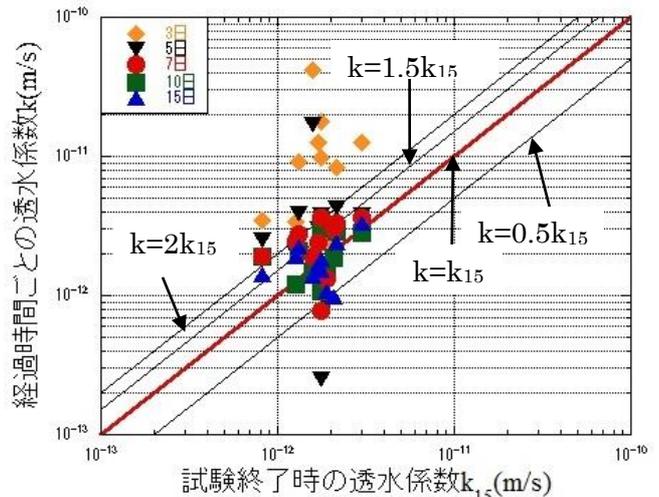


図 1 経過時間ごとの透水係数と試験終了時の透水係数の比較

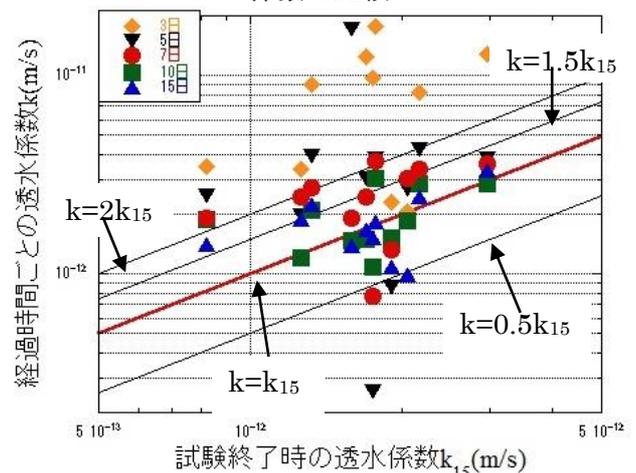


図 2 経過時間ごとの透水係数と試験終了時の透水係数の比較 (拡大図)