

変水位透水試験により測定したベントナイト系材料の透水係数の比較

早稲田大学 学生会員 ○貞松 暁大, 伊藤 大知, 市川 雄太
早稲田大学 正会員 小峯 秀雄, フェロー会員 後藤 茂, 非会員 王 海龍
戸田建設 正会員 関口 高志, 北原 慎也

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分における緩衝材の材料として、低透水性を有するベントナイトの使用が検討されている。低透水性を確認する上で、ベントナイト系緩衝材の透水係数を精度よく、かつ、比較的短時間で測定することは、非常に重要である。しかしベントナイトの透水係数は非常に小さく、日本工業規格「土の透水試験方法 (JIS A 1218:2009)」で規格化されている試験方法では、測定が困難である。そのため、ベントナイト配合率の高い供試体に対して、変水位透水試験を実施した研究は少ない。関口らの研究では、ベントナイト配合率 10, 20, 30 % の供試体の透水係数の測定に対して、簡易な試験装置である小型変水位透水試験装置(供試体寸法：直径 60 mm, 高さ 20 mm)の現場適用性が報告されている¹⁾。本研究では、ベントナイト配合率 30 %と 100 %の供試体の透水係数の測定を、同様に簡易な試験装置である超小型変水位透水試験装置(供試体寸法：直径 28 mm, 高さ 10 mm)を用い、差圧条件下で実施した。その試験結果より、差圧式超小型変水位透水試験によるベントナイト配合率 30 %と 100 %の供試体の透水係数を比較した。

2. 使用した試料および供試体

本研究では砂は三河珪砂 V5 号、ベントナイトはクニゲル V1 (クニミネ工業株式会社製) を使用した。三河珪砂 V5 号の土粒子密度は 2.63 g/cm³ である。また表 1 にクニゲル V1 の基本的性質を示す。これらの試料を用いて最大乾燥密度 1.74 Mg/m³, 最適含水比 15.4 %となるようにベントナイト配合率 30 %の砂・ベントナイト混合土を作製した²⁾。その後、突棒を用いて動的にベントナイト配合率 30 %の供試体を作製し、ベントナイト配合率 100 %の供試体を乾燥密度 1.50 Mg/m³を目標として、静的締固め装置を使用して作製した。また供試体の寸法はともに直径 28 mm, 高さ 10 mm とした。

表 1 クニゲル V1 の基本的性質

タイプ	Na 型
土粒子の密度(g/cm ³)	2.76
液性限界(%)	535.4
塑性限界(%)	26.7
塑性指数	508.7
モンモリロナイト含有率(%)	52.8

3. 超小型変水位透水試験の概要

本研究では透水係数の測定期間の短縮を目標として、超小型変水位透水試験装置(供試体寸法：直径 28 mm, 高さ 10 mm)を使用した。供試体の事前飽和方法として片面給水法を採用した。片面給水法は、スタンド付きの二重管ビュレット(最大容量：25.0 mL, 最小目盛：0.1 mL)を試験容器に接続し、供試体の下面から給水させ飽和を促進した。また二重管ビュレット内の水には脱気水を用いた。なおこの方法では事前に供試体内の間隙空気の体積を算出し、その体積の水がスタンド付きの二重管ビュレットから給水された時、飽和完了とした。その後、スタンド付き二重管ビュレット内の水位の減少量が一定になったことを確認し、透水試験を開始した。本研究ではベントナイト配合率 30 %の供試体に対して 200 kPa の差圧で、ベントナイト配合率 100 %の供試体に対して 300 kPa の差圧で差圧式超小型変水位透水試験(図 1 参照)を実施した。差圧式超小型変水位透水試験では供試体の飽和完了後、供試体の上部に二重管ビュレット(最大容量：10.0 mL, 最小目盛：0.1 mL)を接続した。その後デジタル圧力計(最大容量：1.000 MPa, 最小目盛：0.001 MPa)を取り付けたレギュレータ(最大圧力：3.500 MPa, 設定範囲：0.015~1.000 MPa)を二重管ビュレットに接続し、空気圧を制御および測定しつつ透水試験を行った。さらに下記に示す式(1), (2)を用いて、温度 15℃における透水係数 k_{15} を算出した。式(1)はダルシーの法則が成り立つ条件であるとする。

キーワード ベントナイト, 透水係数, 放射性廃棄物処分, 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 号館 203 号室 早稲田大学 地盤工学研究室 TEL 03-5286-2940

$$k_T = 2.303 \frac{(a_{in} \times a_{out})L}{(a_{in} + a_{out})A(t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1 \gamma_w \times 10 + P}{h_2 \gamma_w \times 10 + P} \times \frac{1}{100} \quad (1)$$

$$k_{15} = k_T \times \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad (2)$$

ここに、 k_T ： $T^\circ\text{C}$ における透水係数(m/s)、 a_{in} ：流入側の二重管ビュレットの断面積(cm^2)、 a_{out} ：流出側の二重管ビュレットの断面積(cm^2)、 L ：供試体の長さ(cm)、 A ：供試体の断面積(cm^2)、 $t_2 - t_1$ ：測定時間(s)、 h_1 ：時刻 t_1 における水位差(cm)、 h_2 ：時刻 t_2 における水位差(cm)、 γ_w ：水の単位体積重量(kN/m^3)、 P ：差圧(Pa)、 k_{15} ：温度 15°C における透水係数(m/s)、 η_T/η_{15} ：温度 15°C における透水係数を算出するための補正係数である。

4. ベントナイト配合率 30%と 100%の供試体の透水係数の比較

図2に透水係数と経過時間の関係を示す。図2よりベントナイト配合率 30%と 100%の供試体に対して差圧式超小型変水位透水試験を実施した結果、 10^{-13} m/s のオーダーの透水係数が得られた。またベントナイト配合率 30%と 100%の供試体の有効モンモリロナイト乾燥密度はそれぞれ 0.653 Mg/m^3 、 1.16 Mg/m^3 であった。また図3に本研究で測定したベントナイト配合率 30%の供試体の透水係数と倉持らによる試験結果を示す。本研究で測定したベントナイト配合率 100%の供試体の透水係数は、測定までの経過時間が最長の際の計測結果を示した。倉持ら³⁾の差圧式小型変水位透水試験（ベントナイト配合率 30%，差圧は 30 kPa）による結果と比較して 1 プロットを除き 1 オーダー小さい値として透水係数が測定された。200 kPa という大きな差圧条件下では、通水量全体に対する拡散現象による通水の割合が小さく、動水勾配による通水が支配的になるため、得られた透水係数がより式(1)の前提条件に近い環境で測定された可能性がある。しかし本研究では寸法の小さい供試体に対して、200~300 kPa の大きな透水圧を作用させたため、浸透力により供試体が変形し、透水係数が小さく測定された可能性がある。供試体の性能に対する透水圧の許容値を調べる必要がある。

5. まとめ

ベントナイト配合率 30%と 100%の供試体に対して、差圧式超小型変水位透水試験を実施した結果、どちらも 10^{-13} m/s のオーダーの透水係数が測定された。この結果は浸透力により供試体が変形し、透水係数が小さく測定された可能性があるため、今後は透水圧の許容値を測定し、適正な差圧の設定を行い、透水係数を測定する必要がある。

参考文献 1) 関口高志，三浦玄太，倉持隼斗，小峯秀雄：小型変水位透水試験装置の現場適用性の検討，土木学会第 73 回年次学術講演会，Ⅲ-229，457~458，2018。2) 伊藤紗由未，小峯秀雄，村上哲，瀬戸井健一，枝川賢司： 10^{-9} m/s 以下の透水係数を有する低透水性土質材料のための小型変水位透水試験装置の試作と有効性の検討，第 48 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp1093-1094，2013。3) 倉持隼斗，小峯秀雄，関口高志，三浦玄太：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，土木学会第 72 回年次学術講演会，Ⅲ-110，219~220，2017。

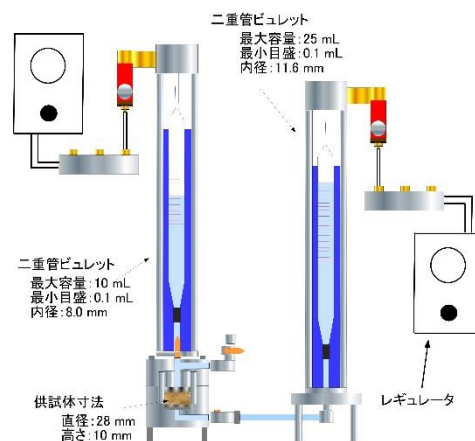


図1 差圧式超小型変水位透水試験装置の概要図

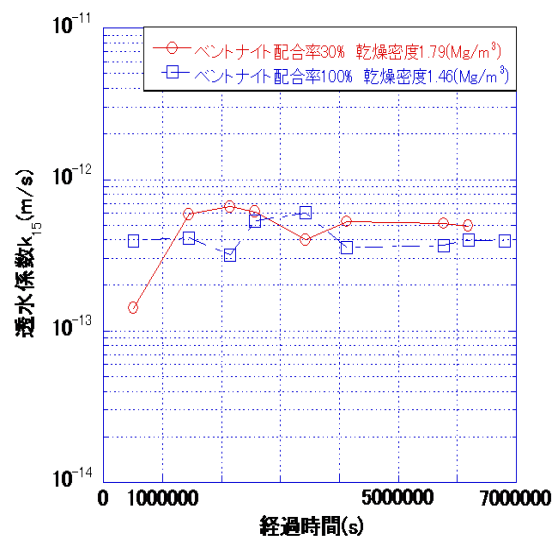


図2 差圧条件下でのベントナイト配合率 30%と 100%の透水係数と経過時間の関係

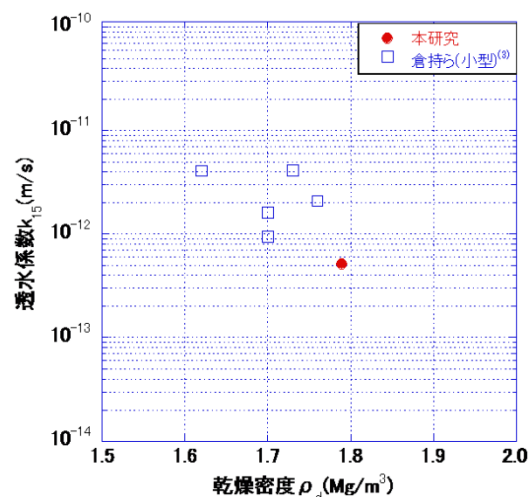


図3 差圧条件下でのベントナイト配合率 30%供試体の透水係数と乾燥密度の関係