

放射性廃棄物処分場の砂・ベントナイト混合土への小型変水位透水試験の現場適用性の検討

戸田建設 正会員 ○関口 高志
早稲田大学 松木 駿
早稲田大学 正会員 小峯 秀雄
茨城大学大学院 学生会員 伊藤紗由未

1. はじめに

放射性廃棄物処分場では、透水係数 $k=1\times10^{-9}\text{m/s}$ 以下の砂・ベントナイト混合土の利用が検討されている。日本工業規格「土の透水試験方法 (JIS A 1218:2009)」(以下, “JIS A 1218” という.) は、室内の試験室で飽和透水係数を求める方法を規格化しているが、 $k=1\times10^{-9}\text{m/s}$ 以下の透水試験は、「特殊な変水位透水試験」か「圧密試験結果から計算する方法」とし、規格化していない。また JIS A 1218 及び地盤工学会の解説¹⁾では、工事現場で簡易な設備により試験を実施することを想定していない。著者らは、供試体寸法が直径 6cm、高さ 2cm の小型変水位透水試験装置を用いた試験方法の研究^{2),3)}を進めており、今回、工事現場で実施する場合の適用性の検討を行った。

2. 小型変水位透水試験の概要

図-1 に、小型変水位透水試験装置を示す。越流水槽内の試験容器にビュレット管(最大容量 25.0mL, 最小目盛 0.1mL)を接続し、水位差: h (動水勾配: 30~35) を利用して、供試体の上面から底面方向へ給水する。試験では蒸留水を用い、測定毎に越流水槽内の水温を計測する。また試験装置の近傍にビュレット管を併設し、蒸発量を測定して、供試体への流入量を補正する。

透水係数は、式(1)、(2)より、水温 15℃における値: $k_{15}(\text{m/s})$ で算出する。

$$k_T = 2.303 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \log \frac{h_1}{h_2} \times \frac{1}{100} \quad \dots(1)$$

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

ここで、 k_T : $T^\circ\text{C}$ での透水係数(m/s), a : スタンドパイプの断面積(cm^2), L : 供試体の高さ(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 での水位差(cm), h_2 : 時刻 t_2 での水位差(cm), k_{15} : 温度 15℃での透水係数(m/s), η_T / η_{15} : 温度 15℃での透水係数を算出するための補正係数である。

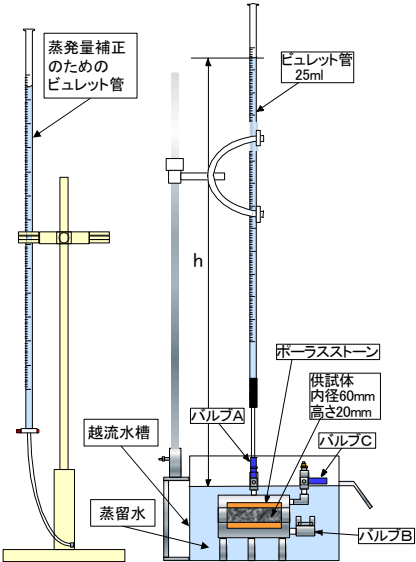


図-1 小型変水位透水試験装置

3. 小型変水位透水試験を工事現場で実施する場合の課題

小型変水位透水試験を工事現場で実施する場合、JIS A 1218 及び地盤工学会の解説¹⁾で示されている変水位透水試験の方法と異なる点が出てくる。本試験を工事現場で実施する場合の課題を表-1 に整理する。

表-1 小型変水位透水試験を工事現場で実施する場合の課題

項目	JIS A 1218 及び地盤工学会の解説 ¹⁾	課題
供試体の寸法	・ 内径 10cm 及び高さ 12cm ・ 内径、高さは試料の最大粒径の 10 倍以上	・ 内径 6cm 及び高さ 2cm で内径小のため通水量が小 (高さが低い点は飽和に至る時間短縮のため有利)
動水勾配・背圧	・ 層流状態でダルシーの法則にしたがうこと	・ 動水勾配は 30~35 で層流状態と考えられるが流速小
供試体の締め固め	・ JIS A 1210 により締め固めた試料を使用可	・ JIS A 1210 の方法では締め固めエネルギーが不足
供試体の飽和度を高める方法	・ 脱気水を用いた水浸脱気法又は吸水脱気法 ・ CO ₂ を空気と置換し、減圧後に水と置換	・ 蒸留水を満たした浸水容器内で供試体の上面・底面からの 24 時間の浸水のみとしたため、事前飽和が困難
供試体の飽和の確認	・ 予備通水で、水位の対数と時間の関係が直線となり、不完全な飽和でないことを確認	・ 測定後の供試体の飽和度が低く試験中是不飽和状態 ・ 通水量が小さいため、測定間隔毎の水位差の誤差が大
供試体周囲の漏水	・ 三軸圧縮試験機でゴム膜を用いるのは有効	・ 本試験では供試体側面の漏水がないことの確認は困難
細粒分移動・流亡	・ 移動で目詰まり、流亡で水みち発生を点検	・ 本試験では流亡の可能性は低い、移動の可能性あり
試験用水の蒸発	・ スタンドパイプに軽く蓋か水面に油で蒸発防止	・ ビュレット管の水位は補正、越流水槽の蒸発が多い
水温の変化	・ 15℃に対する水の粘性係数の比で補正	・ 高温時にビュレット管の測定水位が上昇する現象あり

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, 飽和, 水の温度膨張
連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設株式会社 環境ソリューション部 TEL03-3535-1613

表-2 小型変水位透水試験の現場適用性の検討

項目	課題への対応策 (▲：試験用の設備の増強が必要, △：試験用の設備のわずかな変更)
供試体の寸法	△内径を 12cm と倍増 (断面積は 4 倍) し, 通水量を 4 倍とした中型の試験容器を試作 (写真-1)
動水勾配・背圧	▲背圧を負荷し水頭を上げるための二重管ビュレットを設置した試験装置を試作 (写真-2)
供試体の締固め	△試験容器にカラーをのせて突き棒で突く+締固め厚 (1cm) の平板がついた押出し棒を利用 (写真-3)
供試体の飽和度を高める方法	・浸水容器内での浸水時間を 24 時間から 6 日程度に延長したうえで透水試験の初期の期間で飽和 ▲脱気水を用いた水浸脱気法又は吸水脱気法の採用 (JIS A 1218)
供試体の飽和の確認	・ベントナイトの吸水膨潤を考慮し, 試験期間を不飽和状態, 過渡期, ほぼ飽和状態の 3 区分で考察 ²⁾ ・水位差の読み取りの基準を測定初期の h_1 から一定の値に収束した段階での h_1 とする方法に変更 ³⁾ ▲流出量の測定を行うよう試験装置を改変し, 流入量=流出量となることを確認
供試体周囲の漏水	・柔壁型透水試験による検証 (図-2) 及び文献調査 ⁴⁾ で, 漏水は無視できる程に小さいことを確認
細粒分移動・流亡	・実験や限界実流速の計算により, ベントナイトの配合 20% 以下, 動水勾配 10 で移動の可能性あり ⁴⁾
蒸発の防止	△ビュレット管 (測定用・補正用), 越流水槽に通気を妨げない程度に軽く蓋をして蒸発量を低減
水温の変化	・水温の変化による水の密度の変化とビュレット管の膨張・収縮の影響を考察→前者は影響あり

4. 小型変水位透水試験の現場適用性の検討

本試験の現場適用性について検討を行い, 表-1 の課題への対応策を表-2 のように整理した. 対応策の概要を以下に示す.

- ・通水量や流速が小さいため, 測定に時間がかかり, 測定誤差が出やすい点を供試体の寸法増, 背圧の負荷で改善
- ・「突固めによる土の締固め試験方法 (JIS A 1210:1999)」を参考に, 試験容器にカラーを設置し, 各層で突き棒を落下高さ 3cm で 106 回突く→目標乾燥密度 ($1.7 \sim 1.8 \text{ Mg/m}^3$) に 0.1 Mg/m^3 不足→押出し棒を製作し, 締固め方法を補強
- ・供試体の飽和には時間をかけるか, 脱気設備増強が必要
- ・飽和の確認は, ベントナイトの吸水膨潤のメカニズムの理解²⁾が必要で, それを水位差の読み取り方法³⁾に反映
- ・本試験では供試体周囲の漏水は小さいことを確認
- ・低配合では試験中にベントナイトの粒子が移動し, 目詰まりを起こしている可能性があるため⁴⁾, 今後, 検証が必要
- ・蒸発量/通水量は 1~20% 程度とばらつきはあるが測定に影響を与える程度であり, 軽い蓋により蒸発量を低減
- ・水温が $15 \rightarrow 25^\circ\text{C}$ の変化で, 水の密度は $0.99910 \rightarrow 0.99704 \text{ g/cm}^3$ (1 気圧), 膨張率は 0.2% ($0.05 \text{ ml}/25 \text{ ml}$) でビュレット管の 0.5 目盛に相当→読取値に影響, 結果への影響は小, ビュレット管の線膨張率は $52 \sim 55 \times 10^{-7} / \text{K}$ で, $1.3 \sim 1.4 \times 10^{-3} \text{ ml}/25 \text{ ml}$ と水の膨張率の約 1/35 で影響はほとんどなし

5. まとめ

本研究では, 小型変水位透水試験を工事現場で実施する場合の課題を挙げ, 適用性の検討を行い, 個別に対応策を考えた.

今後, 設備の増強は抑制しつつ高度化を進め, 試験の簡易さと精度の確保を両立できる仕様を見出していきたい.

最後に, 試験装置の製作・改良や性能確認で御協力いただいた共和技研の枝川氏に感謝いたします.

参考文献 1) 公益社団法人：地盤工学会 地盤材料試験の方法と解説—二分冊の 1—, 発行 2009, 改定版 2013.
2) 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に投稿, 2015. 3) 伊藤紗由未, 小峯秀雄, 松木駿, 関口高志：小型変水位透水試験における水位差の測定方法が砂・ベントナイト混合材料の透水係数に及ぼす影響, 第 50 回地盤工学研究発表会に投稿, 2015. 4) 渡邊保貴・田中幸久・中村邦彦・廣永道彦：Ca 型ベントナイト混合土の透水試験方法 (その 1) —室内締固め供試体に対する剛性容器を用いた方法—, 電力中央研究所報告, N13005, 2013.

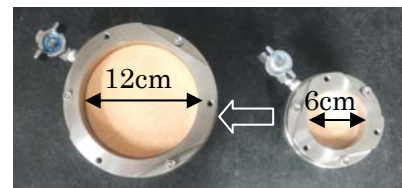


写真-1 中型の試験容器

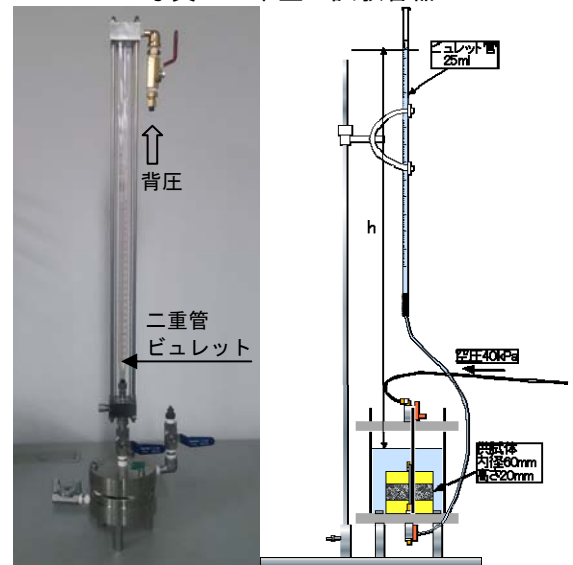


写真-2 二重管ビュレット

図-2 柔壁型透水試験装置

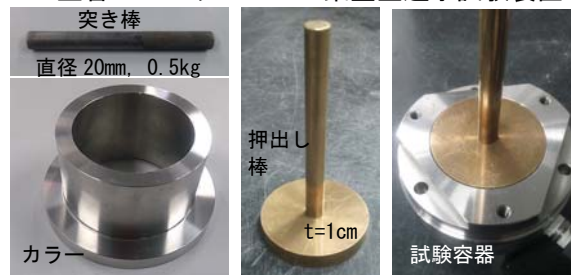


写真-3 締固め器具