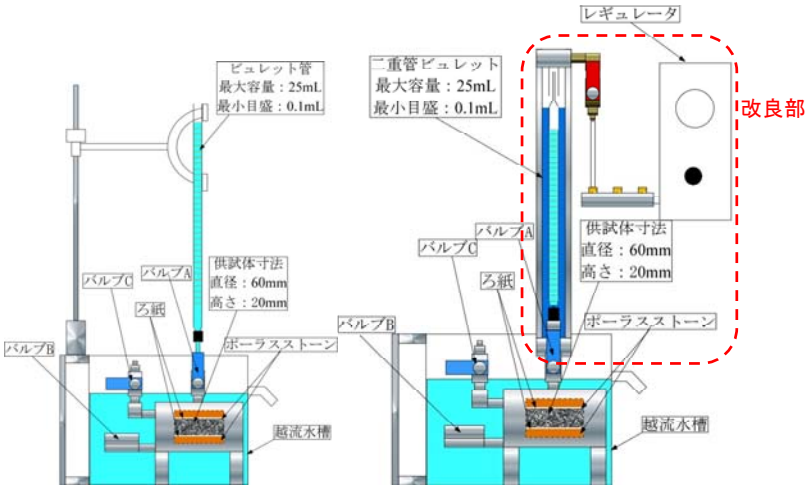
小型変水位透水試験におけるベントナイト混合土測定時の誤差要因（その１）
― 測定誤差の影響因子の抽出 ―

戸田建設　正会員　○三浦　玄太
戸田建設　正会員　関口　高志
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

１．はじめに

低レベル放射性廃棄物処分場では，砂・ベントナイト混合土による低透水性覆土として 1.0×10^{-9} m/s 以下の透水係数で施工することが要求されている[1]．しかし，日本工業規格「土の透水試験方法（JIS A 1218:2009）」では，1.0×10^{-9} m/s 以下の透水試験の方法が明確に規格化されておらず，現場での透水試験の実施も想定されていない[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て，工事現場で実施可能な簡易な試験方法の研究[3)~6)]を進めている．伊藤らの研究[3),5)]では，ベントナイト配合率が 30%の場合に既往の研究[7)]の傾向よりも 1～2 オーダー程度大きな透水係数が得られていたが，倉持らの研究[6)]において小型変水位透水試験装置に二重管ビュレットを追加し，加圧できるように改良したことで，既往の研究[7)]と同程度の精度の高い値と思われる値を得ることができた．本論文では，これまでの研究成果を踏まえ，測定結果の誤差を発生させる影響因子の抽出を行い，（その２）[8)]でその要因を検討した．



大気圧式　　加圧式

図-1 小型変水位透水試験装置

２．小型変水位透水試験の概要

本研究の透水試験に用いた小型変水位透水試験装置の概要を図-1 に示す．大気圧式では，越流水槽内の試験容器にビュレット管（最大容量 25.0 mL，最小目盛 0.1 mL）を接続し，水位差：h を動水勾配として供試体の上面から底面方向へ給水した．加圧式では，ビュレット管の代わりに二重管ビュレット（最大容量 25.0 mL，最小目盛 0.1 mL，内径：11.6 mm）を用い，水位差：h に圧力水頭として空気圧：P（本研究では 0～40 kPa）を付加した．この空気圧の付加のため，レギュレータ（MAX.SUPPLY：3.500 MPa，RANGE：0.015~1.000 MPa）とデジタル圧力計（最大圧力：1.000 MPa，最小目盛：0.001MPa）を二重管ビュレットに接続している．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した．大気圧式の透水係数は，「土の透水試験方法（JIS A 1218:2009）」での変水位透水試験の式(1)で算定した．加圧式では，その微分方程式に，上部から加圧した空気圧を圧力水頭に換算し，位置水頭に加えた動水勾配を導入し，式(2)を誘導した[6)]．また，水温 15℃の透水係数：k_{15}(m/s)を式(3)で算出した．

$$k_T = 2.303\frac{aL}{A(t_2-t_1)}\log_{10}\frac{h_1}{h_2}\times\frac{1}{100} \quad \cdots(1)$$

$$k_T = 2.303\frac{aL}{A(t_2-t_1)}\log_{10}\frac{h_1\gamma_w\times10+P}{h_2\gamma_w\times10+P}\times\frac{1}{100} \quad \cdots(2)$$

$$k_{15} = k_T\times\frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad \cdots(3)$$

ここで，k_T：T℃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)，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℃での透水係数(m/s)，η_T/η_{15}：k_{15} を算出するための補正係数．

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，誤差要因，圧力水頭
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

３．試料および供試体の作製方法

本研究では，砂・ベントナイト混合土として，クニゲル V1（クニミネ工業株式会社製）と三河珪砂 V5 号（三河珪石株式会社製）を用いて供試体を作製した．ベントナイト配合率を 30% ，最適含水比 15.4% に調整した混合土を直径 60 mm，高さ 20 mm の試験容器内で 2 層に分けて突き固めを行った．最大乾燥密度は 1.74 Mg/m^3 となった．供試体作製後，蒸留水で満たした浸水容器の中に試験容器ごと沈め，24 時間かけて両面通水で事前飽和を行った．

４．測定誤差の影響因子の抽出

これまでの一連の研究成果 [3)-6)]で，測定結果に大小のばらつきがあった．測定誤差を発生させる影響因子について，**表-1** に示す項目（材料条件：No.1，4，試験方法：No.2，3，5，6，環境条件：No.7）を挙げ，状況把握を次のように行い，（その２）[8)]で要因を検討した．

表-1　測定誤差の影響因子

影響因子		
No.	項目	本研究での検討範囲
1	ベントナイト配合率	10%～30%
2	加圧	あり，なし
3	事前飽和	JIS，24 時間の両面通水
4	乾燥密度	1.70 Mg/m^3 以上
5	算出基準	h1 変動，h1 一定
6	供試体寸法	JIS，小型
7	蒸発量	無視，補正

影響因子 1（**表-1** 参照）：ベントナイト配合率 20%～30%では，小型変水位透水試験 [3), 5)]の結果が既往の研究 [7)]よりも 1～2 オーダー程度高い値となった．一方，配合率 10%では同程度の値であった．

影響因子 2（**表-1** 参照）：影響因子 1 は大気圧条件（加圧なし）の場合であるが，同じベントナイト配合率 30%の試料で，加圧した場合，既往の研究 [7)]と同等の透水係数となった [6)]．

影響因子 3（**表-1** 参照）：事前飽和の方法を 24 時間の両面通水とした場合，飽和度は 90%程度で， JIS A 1218:2009 で示されている水浸脱気法または吸水脱気法で報告されている飽和度よりも小さい値であった．

影響因子 4（**表-1** 参照）：供試体作製時の乾燥密度が 1.70 Mg/m^3 よりも高い場合，加圧の有無に係わらず，流入停止か逆流が生じる場合があった．

影響因子 5（**表-1** 参照）：試験開始時の水位を基準水位として算出する「h1 一定」では，測定初期の誤差を含むため，直前の測定時の水位を基準水位とする「h1 変動」に比べ，1 オーダー程度高い値で収束する結果となった（**図-2**）．また「h1 変動」は個々の値で 0.5 オーダー前後のばらつきがあった．

（「h1 一定」と「h1 変動」の考え方については，伊藤ら [5)]を参照）

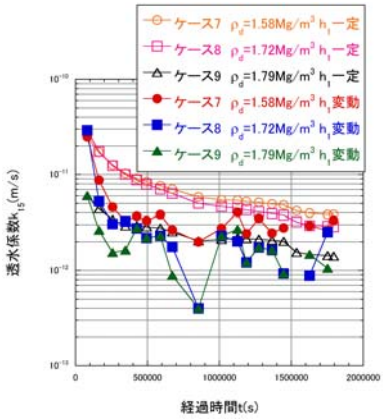


図-2　h1 一定と h1 変動の比較

影響因子 6（**表-1** 参照）：供試体半径が JIS A 1218:2009 の 10cm よりも小さく，低透水性のため，測定間隔毎の通水量がビュレット管または二重管ビュレットの最小目盛の 0.1 mL 前後と小さくなり，読み取り誤差が発生しやすい．

影響因子 7（**表-1** 参照）：ビュレット管の場合，ダミーを用意して補正したが，通水量が少なく，蒸発量が相対的に大きい．二重管ビュレットの場合，蒸発量は抑制できるので補正はしていない．両者とも越流水槽からの蒸発は考慮できていない．

５．まとめ

本研究では，小型変水位透水試験および加圧式小型変水位透水試験において誤差要因の影響因子の抽出を行った．（その２）[8)]でその要因を検討したが，今後は，装置の簡易さと精度の確保の両立を目指すとともに，装置の性能限界を把握し，保証できる透水係数の範囲の決定も並行して実施していきたい．

参考文献　1) 総理府・厚生省:一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令(最終改正 2015),1977.　2)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.　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，第 70 回土木学会年次学術講演会講演概要集，CS12-021，pp.41-42，2015.　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に投稿，2015.　5) 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発表講演集，pp.343-344，2015.　6) 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に投稿中，2016.　7) 小峯秀雄，緒方信英：高レベル放射性廃棄物処分のための緩衝材・埋戻し材の透水特性，電力中央研究所報告,U00041,2001. 8) 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おけるベントナイト混合土測定時の誤差要因（その２）―測定誤差の要因の検討―，第 71 回土木学会年次学術講演会に投稿中，2016.