小型変水位透水試験装置の現場適用性の検討

戸田建設　正会員　○関口　高志
戸田建設　正会員　三浦　玄太
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．研究の背景

土の性質を示す重要な指標として透水係数がある．「土の透水試験方法（JIS A 1218:2009）」では，透水係数：10^{-9} m/s までの透水性の低い土に対して変水位透水試験が規定化されているが，それ以下の透水係数の土は実質上不透水として扱われ，正確な透水性評価は求められていなかった．ここで放射性廃棄物処分場では，難透水性の覆土で透水係数：10^{-10}～10^{-12} m/s 程度，低透水性の人工バリアで透水係数：10^{-12}～10^{-13} m/s 程度が要求水準となることが想定される．このような低透水性の材料として，例えば砂・ベントナイト混合土が用いられるが，試験時間や精度の観点から透水係数を日常的な管理項目とすることが難しいとされ，有効モンモリロナイト密度などの代替指標での品質管理が提案されている．また最近では，低透水性の土質系材料の性能評価技術について地盤工学会の研究委員会から研究報告書 [1] が 2016 年 12 月に発行され，その後，10^{-9} m/s～10^{-13} m/s の範囲の透水係数方法を規定する地盤工学会基準「低透水性材料の透水試験方法」の素案が 2018 年 1 月に示された．

著者らは，低透水性の土質系材料の透水係数を工事現場で実施可能な簡易な方法で測定できる装置として，小型変水位透水試験装置を研究対象とし，試験装置の仕様を検討してきた [2]．本論文では，地盤工学会基準の素案との対比と有効モンモリロナイト密度との相関性に着目し，現場適用性についてとりまとめた．

２．改善型の変水位透水試験装置

本研究では，小型変水位透水試験装置として，越流水槽を用いた大気圧式を出発点として，加圧式，差圧式を含めた３つの方法について改善を進めてきた．ここでは，二重管ビュレットを用いた改善型の試験装置を**図-1** に示す．

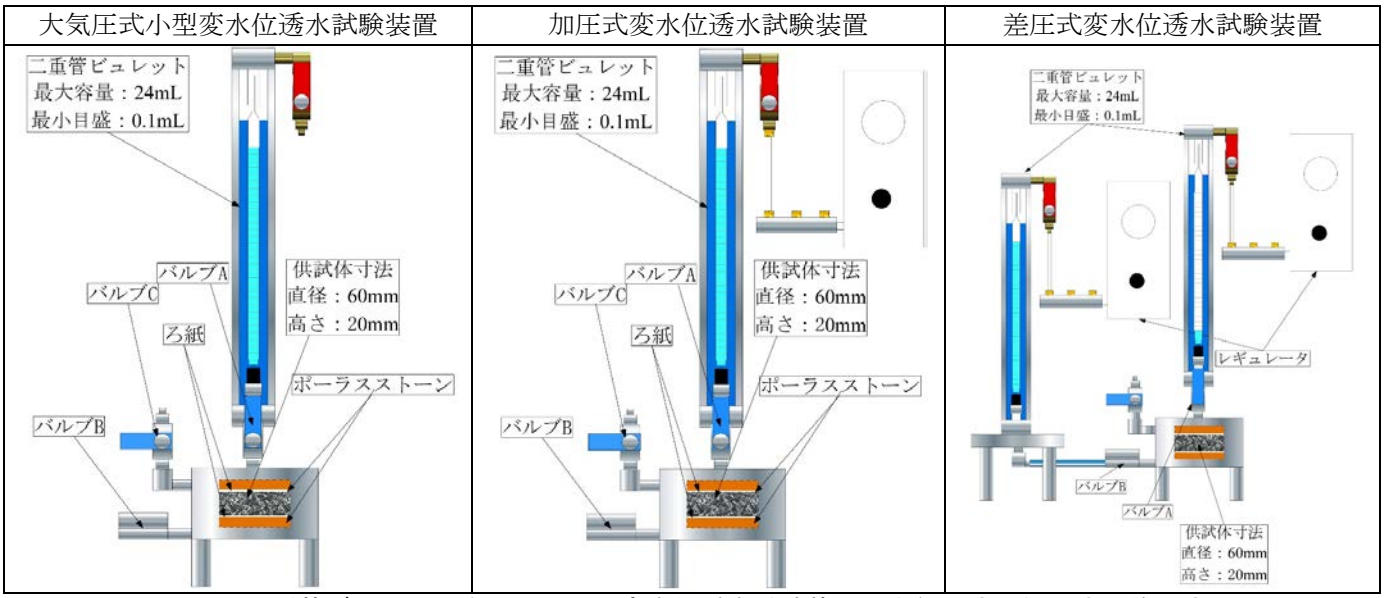

図-1　二重管ビュレットを用いた小型変水位透水試験装置（大気圧式，加圧式，差圧式）

３．地盤工学会基準の素案との対比

地盤工学会基準の素案（以下，JGS 案）では，その１で簡易な方法，その２で背圧を作用させる方法が示されている．この２つの仕様と，本研究での当初の仕様及び３つの方法で改善した仕様の計６ケースの比較を**表-1** に示す．

ｷｰﾜｰﾄﾞ　砂・ﾍﾞﾝﾄﾅｲﾄ混合土，変水位透水試験，低透水性，二重管ﾋﾞｭﾚｯﾄ，地盤工学会基準，有効ﾓﾝﾓﾘﾛﾅｲﾄ密度
連絡先　〒104-8388　東京都中央区京橋 1-7-1　戸田建設株式会社　土木エンジニアリング部　TEL03-3535-1613

表-1　変水位透水試験装置の比較

試験方法	地盤工学会基準の素案		本研究での小型変水位透水試験装置			
	その１	その２	当初	改善した試験方法（**図-1** 参照）		
			大気圧式	大気圧式	加圧式	差圧式
事前飽和方法	水浸脱気法・吸水脱気法・背圧		１日間の両面給水（浸漬）	片面給水法・水浸脱気法		片面給水法・水浸脱気法・背圧
試験水	脱気水		未脱気の蒸留水	脱気水（容易できない場合は蒸留水）		
給水面	供試体下面		供試体上面	供試体上下面（任意の方向で設定可）		
排水量の確認	なし	あり	なし	なし		あり
越流水槽	あり	なし	あり	なし		

また有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係について，事前飽和方法の違いを区別したものを**図-2** に示す．

当初の大気圧式では，JGS 案と仕様が異なる点が多く，有効モンモリロナイト乾燥密度が低い場合（**図-2** の A）も高い場合（**図-2** の B）も，透水係数：10^{-11} m/s 程度の結果であった．この大気圧式にビュレット管を取り付け，供試体下面からの給水とし，試験水を脱気水とすることで JGS 案その１に近い仕様となったが，測定値の改善は見られなかった（**図-2** の B）．一方，ビュレット管を用いた加圧式，差圧式では，透水係数：10^{-12} ～10^{-13} m/s までの適用性を確認した（**図-2** の C）．差圧式で事前飽和を水浸脱気法か背圧とし，試験水を脱気水とする場合，JGS 案その２に準拠した方法となる．なお，加圧式と差圧式で事前飽和をビュレット管による片面給水とした場合と試験水を蒸留水とした場合は JGS 案には準拠していないが，測定値に大きな差はなく（**図-2** の C），実用的な方法であると言える．

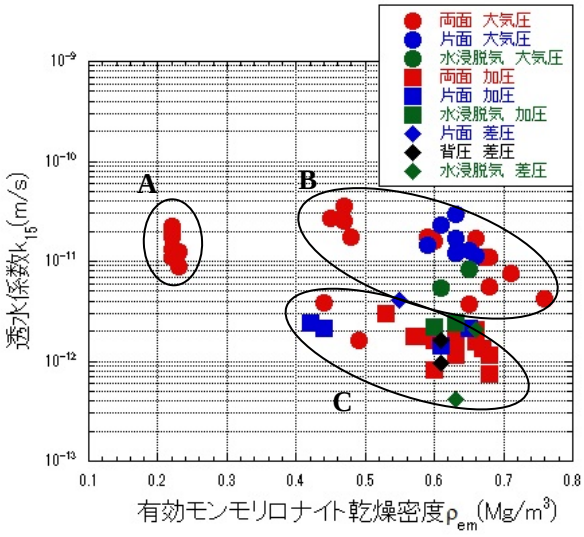

図-2　有効モンモリロナイト密度と透水係数の関係（事前飽和方法の違いを区別）

４．有効モンモリロナイト密度との相関性

有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の関係について，大気圧式，加圧式，差圧式を区別して**図-3** に示す．

図-3 の黒○が，有効モンモリロナイト乾燥密度と透水係数の相関性があり，比較的精度の高い測定結果と考えられる．ここで，有効モンモリロナイト乾燥密度が 0.2, 0.4～0.5, 0.5～0.8Mg/m^3 の順に，ベントナイト配合率 10，20，30%の供試体である．大気圧式では適用性のある範囲がベントナイト配合率 10%に限定されるが，加圧式，差圧式では，ベントナイト配合率 30%まで適用性があることが確認できた．

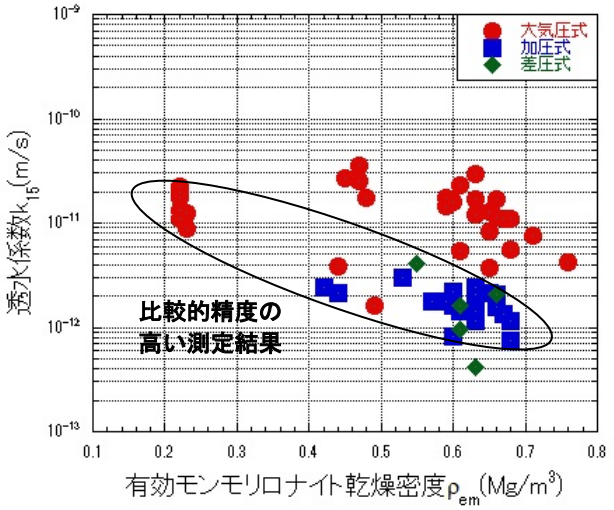

図-3　有効モンモリロナイト密度と透水係数の関係（3 つの方法で区別）

５．まとめ

本研究により，放射性廃棄物処分場において，透水係数が 10^{-9} m/s～10^{-13} m/s の範囲で，大気圧式，加圧式，差圧式を組み合わせることで現場適用性があることが分かった．また JGS 案に完全に準拠するためには，差圧式で事前飽和を水浸脱気法か背圧とし，試験水を脱気水とする必要があるが，より簡易な方法（ビュレット管による片面給水による事前飽和，試験水として蒸留水を使用）としても実用性に問題はなく，少なくとも工事現場で行う予備的な品質管理の方法としては有用であると考える．

参考文献　1)（公社）地盤工学会，低透水性土質系材料の活用と性能評価技術に関する研究委員会　研究報告書，平成 28 年 12 月，2016.　2) 例えば，関口高志，三浦玄太，倉持隼斗，小峯秀雄，放射性廃棄物処分場の砂・ベントナイト混合土の透水性能に応じた小型変水位透水試験の検討，土木学会第 72 回年次学術講演会，Ⅲ-109，2017.