

カルシウム型ベントナイト難透水性材料の飽和透水係数に与える飽和方法の違いの影響

清水建設株式会社 正会員 ○中島均 齋藤亮 石井卓

1. はじめに

放射性廃棄物の処分施設では $1E-14m/s$ から $1E-8m/s$ に相当する透水係数のベントナイト系難透水性材料が使われる。著者らは日常の施工管理を想定し、できるだけ短時間で透水性能を確認するための試験方法として高速透水試験を提案し、ナトリウム型ベントナイト（透水係数 $1E-13m/s$ 程度）を対象に試験法の適用性を示した¹⁾²⁾³⁾。カルシウム型ベントナイトを30%程度混合した難透水性材料（透水係数 $1E-10m/s$ 程度）への適用性を検討する際に飽和方法の違いで、透水係数の測定値が異なることが明らかになったので報告する。

2. 高速透水試験の概要

高速透水試験は難透水性材料の概略の透水係数を1~2週間の短時間で取得できることを特徴とする剛壁型の簡易試験法であり、乾燥密度 $1.6Mg/m^3$ 程度に締め固めたナトリウム型ベントナイト（透水係数 $1E-13m/s$ 程度）への適用を想定していた。従来、このような材料の透水試験には数か月の期間を要していた。試験時間が長くなる要因のうち最も大きいのは供試体の飽和に要する時間であり、高速透水試験ではこの飽和時間を劇的に短縮できる。

飽和時間の短縮方法として、品質管理の段階に応じて2種類の透水試験方法がある。難透水性材料の入荷時の品質確認にはプレス飽和法を用いる¹⁾²⁾⁴⁾。供試体作製時に飽和供試体を作製する方法である。所定の密度に成型した段階で飽和になるように、あらかじめ含水比を調整し、真空脱気を行いながら圧縮プレスして飽和供試体を作製する。一方、施工後の難透水性材料の品質管理には乾燥飽和法³⁾⁵⁾を用いる。現場からサンプリングされた供試体は不飽和状態であり、密度を変えずに飽和状態にする必要がある。乾燥飽和法では、供試体を円筒形のカラー（以下、透水リングと称する）に装填したのちに、強制乾燥させ、真空脱気させてから瞬間的に水を高圧注水し短時間で飽和を完了させる。強制乾燥によって発生する微小ひびわれに瞬間的に水が行き渡ることによって飽和時間を短縮できる。ベントナイト系材料は吸水膨張性を有するので、乾燥時に生じたひび割れは短時間でシールされ均質な流れ場になるので、供試体の欠陥は生じにくい。

3. 試験方法

同じ密度に成型した供試体に対してプレス飽和法と乾燥飽和法を適用し、それぞれで飽和透水係数を取得した。各試験法に対して供試体数は2である。乾燥飽和法による試験結果は既報⁶⁾に示した。本報ではプレス飽和法での試験結果を示し、2つの方法により得られた透水係数の違いを比較する。

試験材料はカルシウム型ベントナイト（クニボンド）と砂（珪砂5号）を乾燥重量比で30:70に混合した材料である。供試体（直径50mm、高さ20mm）の乾燥密度は $1.6Mg/m^3$ とした。供試体成形時の含水比は後述するように試験法により異なる。

プレス飽和法における供試体作製および透水係数の測定手順は次のとおりである。透水リング内に含水比23.6%に調整した材料を投入し圧縮プレスすることで、乾燥密度 $1.6Mg/m^3$ 、飽和度96%の飽和供試体を作製する。透水リングを透水試験装置に装着し、通水チューブなどの通水経路を真空状態にしたのちに脱気水で満たすと、通水を開始できる。供試体下部に所定の通水圧を与え、上部はビュレットに連結し大気圧解放とし、ビュレット水位の変化を目視で読み、排水量を測定する。使用したビュレットは最大目盛が10ccもしくは1ccの2種類を流出量に合わせて適宜使用した。通水圧は0.05MPa、0.10MPa、0.15MPa（動水勾配255、510、765）の3段階を数日おきに昇圧した。排水量の時間変化から透水係数を求める。

一方、乾燥飽和法における供試体作製、飽和過程、透水係数測定の手順を図1に示す⁶⁾。難透水層の施工条件に相当する含水比19.6%の材料を用いて乾燥密度 $1.6Mg/m^3$ 、飽和度79%に成型した（手順①）。乾燥飽和法

キーワード ベントナイト, カルシウム型, 透水試験, 飽和過程, 簡易法

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL: 03-3820-8431

では手順②～⑤の工程により供試体を飽和した。手順⑥の通水条件および流量の測定方法については、プレス飽和法と同じである。

4. 試験結果と考察

図2にプレス飽和法により得られた透水係数を示す。透水係数の算定方法等は乾燥飽和法の結果を報告した既報⁶⁾と同様である。試験開始直後から安定した流量を示しており、時間の経過による値の変化も見られない。透水係数は、ケース1は1E-11m/s程度、ケース2は3E-11～4E-11m/s程度と供試体の違いで数倍の違いはあるもののオーダー的には同等とみなしてよく、バラツキの範囲とみなせる。

図3に乾燥飽和法により得られた透水係数を示す⁶⁾。通水開始(2日時点)から徐々に透水係数が小さくなり、10日経過後で2E-10m/s程度を示している。試験終了後(約11日後)には供試体を解体し、飽和度がそれぞれ105.3%、103.6%であることを確認しており、最終的には飽和透水係数が得られていると考えられる。

図2(プレス飽和法)と図3(乾燥飽和法)を比較すると、明らかにプレス飽和法により測定された透水係数が小さい。乾燥飽和法においても試験終了時には供試体は飽和状態であったことが確認されていることから、供試体作製時の湿潤状態、もしくは飽和直前の湿潤状態が飽和後の透水係数に影響していると考えられる。すなわち供試体作製時に飽和である場合に比べて、供試体作製時に飽和度が低い場合には透水係数が大きい。もしくは、強制乾燥により飽和度0%にしたことによって透水係数が小さくなったと解釈することもできる。

4. おわりに

カルシウム型ベントナイト混合土の透水係数を飽和方法が異なる2種類の高速透水試験で求めたところ、得られる透水係数に違いがあることが明らかになった。その違いは1オーダー程度であることから、目標値に対して2オーダー程度裕度を持たせてある場合には、透水量が収束するまで待たなくても品質を満足していることを確認できる可能性もあり、乾燥飽和法による高速度透水試験が適用できると考えられる。今後、データを蓄積し、信頼性を向上する必要がある。

参考文献

- 1) 石井卓・中島均・白石知成・後藤高志：1E-13m/sの透水係数を短時間で測定する高速度透水試験，土木学会第58回年次講演会，CS7-02，2003.
- 2) 石井卓・中島均：1E-13 m/sの透水係数を短時間で測定する高速度透水試験(その2)－浸潤方式飽和法透水試験との比較－，土木学会第59回年次講演会，CS1-046，2004.
- 3) 石井卓・中島均・後藤高志：強制乾燥真空注水飽和法によるベントナイト系難透材の短時間透水試験－現場サンプリング供試体の透水試験－，土木学会第59回年次講演会，CS1-047，2004.
- 4) 小野文彦・庭瀬一仁・谷智之・中島均・石井卓：ベントナイト原鉱石の高速度透水試験－プレス飽和法－，日本原子力学会2006年秋の大会，B41.
- 5) 小野文彦・庭瀬一仁・谷智之・石井卓・中島均：ベントナイト原鉱石の高速度透水試験－締固め施工した供試体の乾燥飽和法－，日本原子力学会2006年秋の大会，B42.
- 6) 石井卓・齋藤亮・中島均：1E-13m/sの透水係数を短時間で測定する高速度透水試験の適用範囲の検討，第50回地盤工学研究発表会，2015.

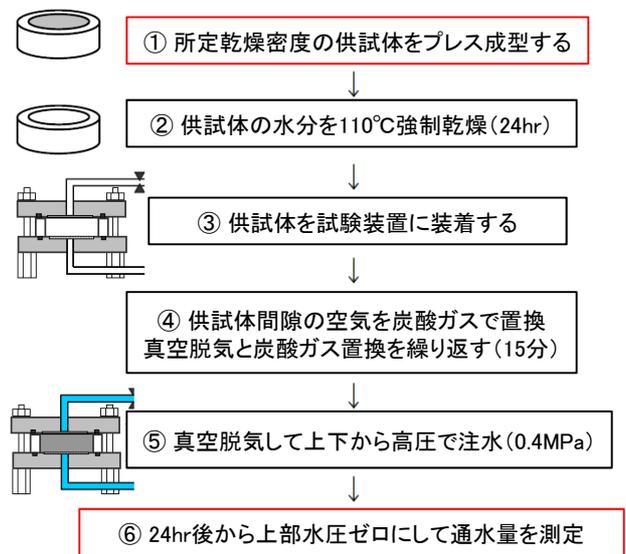


図1 乾燥飽和法の試験手順

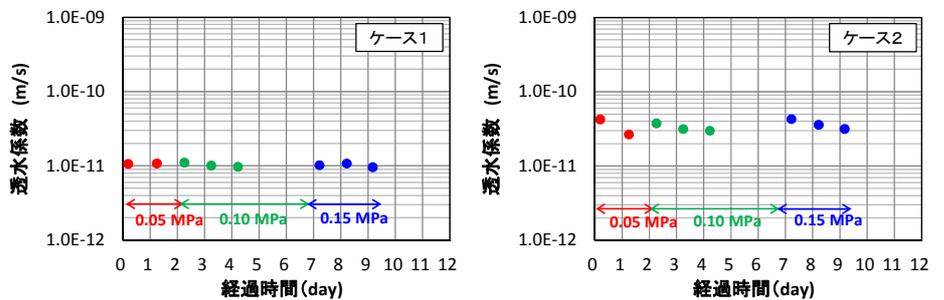


図2 透水係数の時間変化(プレス飽和法)

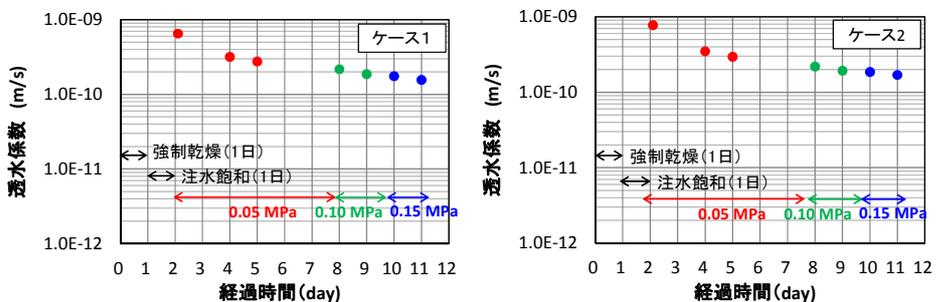


図3 透水係数の時間変化(乾燥飽和法)⁶⁾