

長尺供試体を用いたベントナイト系人工バリア材料の一次元浸潤速度の評価

鹿島建設 正会員 ○竹内 信 小林 一三 笹倉 剛

原環センター 非会員 朝野 英一, 正会員 鈴木 圭

1. 背景および目的

高レベル放射性廃棄物地層処分施設において、閉鎖後から施設の再冠水終了までの期間は、人工バリア内に飽和領域と不飽和領域の境界面である浸潤フロントが存在し、その浸潤フロントが移動することによって人工バリア内の様々な力学/化学/水理学的現象が励起される。再冠水時に人工バリアに発生する現象としては、膨潤、力学性能変化、熱影響、化学変質などが挙げられるが、これらの現象は地下水浸潤の進行に伴い発生するため、各現象の開始時期を推定する上で地下水の浸潤速度を正確に把握することは極めて重要である。ベントナイト系材料の浸潤速度の測定はこれまでも行われており、例えば鈴木ら¹⁾は、高さ 20mm の供試体を浸潤させ一定時間後に解体して含水比を測定する方法で浸潤速度を取得している。しかし、鈴木らの方法では供試体寸法を大きくできず、供試体解体時の乱れも考慮する必要があった。そこで本報では、この課題解決のため、比抵抗を計測することで浸潤速度を連続的に取得可能な試験装置を開発し、高さ 1m の長尺供試体を用いて一次元状態が成り立つ境界条件での浸潤フロントの移動速度を取得した。

2. 実験条件

本報で使用した一次元浸潤速度取得試験装置を図 1 に示す。緩衝材として使用した材料は、クニゲル V1 に愛知県産のケイ砂 3 号とオーストラリア産のケイ砂 5 号を 7:1.5:1.5 の割合で混合したケイ砂 30wt%混合ベントナイトである。浸潤フロントの移動は比抵抗の変化によって計測した。注水はフローポンプで一方方向、一次元に浸潤させた。注水は圧力一定となるように流量を制御することを基本としたが、試験初期に供試体との界面が水みちになることを防ぐため、試験の初期段階のみ、流量制御で供試体を膨潤させ、その後に圧力制御へ切り替えた。試験ケースは 2 ケースで、注入した液体はそれぞれ蒸留水とイオン強度 0.5mol/l の NaCl 水溶液である。蒸留水のケースでは、水圧計と注水口の水頭差 7.5kPa に加え、流量制御時の通水圧の半分程度となる 60kPa を加えた 67.5kPa に注入圧を制御した。NaCl 水溶液のケースでは、流量制御時に通水圧が負圧であったため、水頭差のみ (7.5kPa) を作用させることとした。試験条件を表 1 に示す。供試体は、極力、密度分布が生じないように仕上がり層厚 5mm、乾燥密度 1.6Mg/m³ となるように撒き出して、静的締固めを 200 回繰り返すことで高さ 1m、直径 5cm の長尺供試体を作製した。また、締固めはアクリルセルに比抵抗計測用の電極を設置した状態でを行い、アクリルセルと供試体の界面が水みちになることや供試体と電極が接触不良になることを防いでいる。

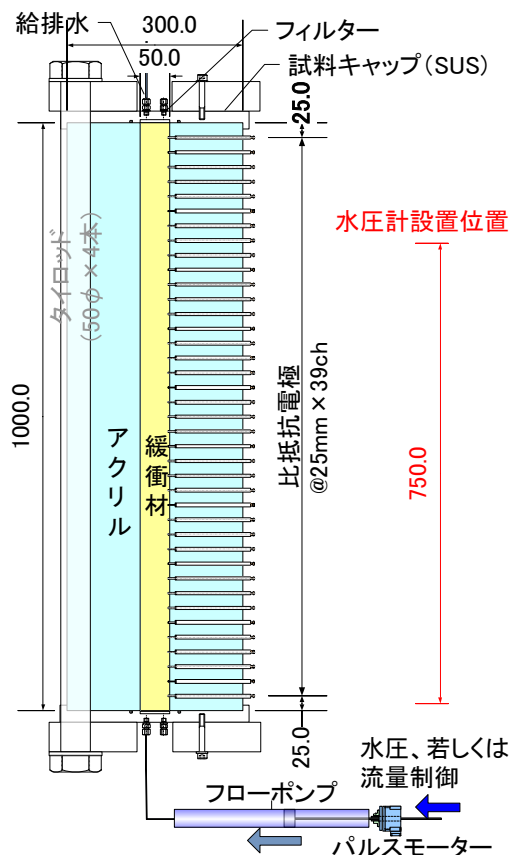


図 1 一次元浸潤速度取得試験装置

表 1 一次元浸潤速度取得試験の試験条件

試験ケース	ベントナイト乾燥密度	初期含水比(%)	注水圧※ (kPa)	液種	計測項目	備考
1	1.6Mg/m ³ (Na 型ケイ砂 30wt%混合)	10	67.5	蒸留水	注水量 注水圧 比抵抗 (浸潤速度)	注入圧の 7.5 kPa 分は水圧計と注水口の水頭差 (図 1 に記載)
2			7.5	塩水		

キーワード 放射性廃棄物, 地下空洞型処分, 緩衝材, 再冠水, 浸潤速度, 比抵抗

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-7374

3. 試験結果

浸潤に伴う比抵抗の変化を図 2 に示す。図は、比抵抗の初期値からの変化量を初期値で無次元化したものである。図より、浸潤に伴って比抵抗が注水側から徐々に低下していることが分かる。また、注入圧が異なるにも関わらず、両ケースの浸透距離がほぼ同じである。但し、NaCl 水溶液の方が蒸留水のケースに比べ比抵抗の低下割合が大きい。

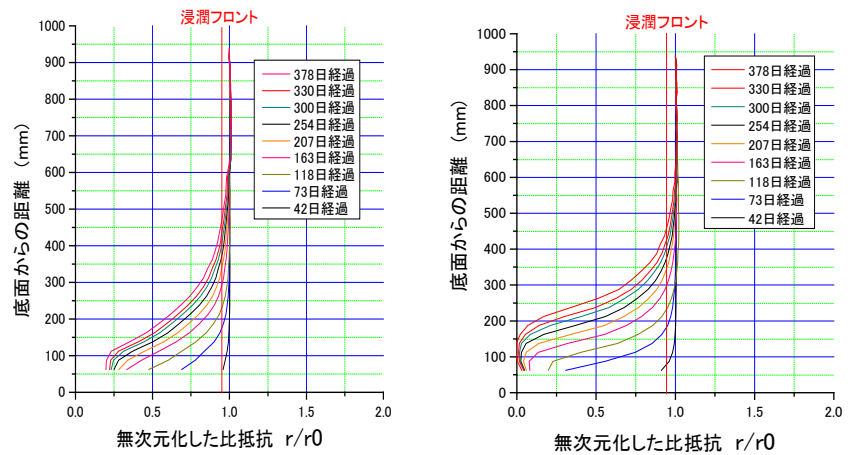


図 2 浸潤に伴う比抵抗の変化(左：蒸留水，右：NaCl 水溶液)

図 3 には、比抵抗が初期値から 5%低下した時点で浸潤フロントが到達したと見做した場合の、浸潤フロントの底面からの位置 $d(\text{mm})$ と経過時間 $t(\text{day})$ の関係及び近似関数を示している。この近似関数を用いて、1000mm の供試体の上端面まで浸潤フロントが進展するのに要する時間を算出すると、 $t=1828$ 日となり、約 5 年に相当する。不飽和供試体と飽和供試体では水の移動メカニズムが異なるため、単純比較はできないものの、この値は同条件の供試体飽和透水係数から算出される浸潤フロントの進展時間に比べ短い。

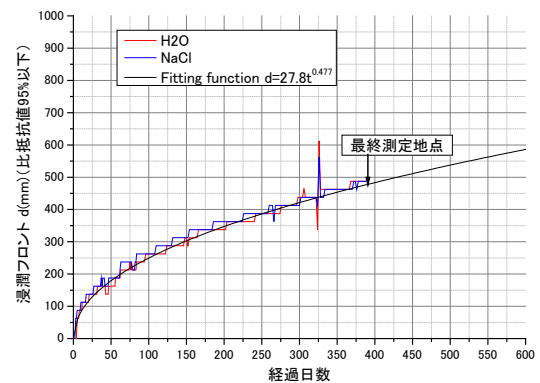


図 3 浸潤フロントの進展状況
(比抵抗値 95%以下で定義)

さらに、この浸潤フロントの近似関数を微分すると、進展速度が図 4 のように得られる。進展速度は浸潤直後に急激に小さくなり、1 年目以降は漸減しているのが分かる。また、蒸留水のケースと NaCl 水溶液のケースでは、注入圧が異なるにも関わらず、浸潤フロントの進展状況がほぼ一致している。注入圧が一定条件でも浸潤フロントの移動速度が低下していることから、ある程度浸潤が進展して飽和領域が形成されると、浸潤フロントの移動に対して注入圧の影響は小さく、浸潤フロント近傍では注入圧よりも飽和領域から不飽和領域への水分拡散が卓越していることが推察される。また、液種の違いで膨潤挙動や土骨格構造変化するため、間隙水の拡散に影響を与えることも考えられるが、現状では注入圧と液種の違いの影響を分離できないため、今後の課題としたい。

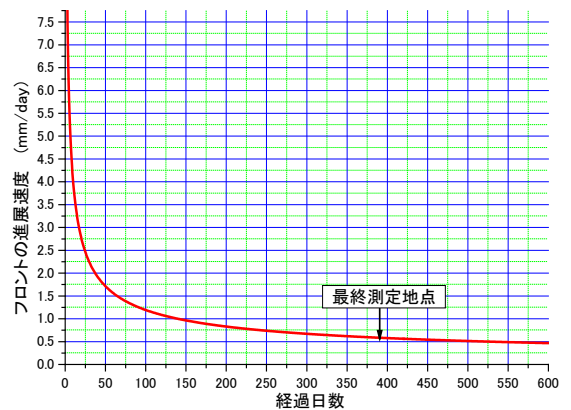


図 4 浸潤フロントの進展速度

4. まとめ

本報では、高さ 1m の長尺ベントナイト供試体の一次元浸潤速度を比抵抗の変化によって計測し、蒸留水及び NaCl 水溶液がベントナイト系人工バリア材料に浸潤する際の浸潤フロントの移動速度を取得した。これらの結果は、再冠水時の人工バリアにおける化学的なイベントの発生順序や時期を推定するのに有用な情報となると考えられる。今後、本試験を継続し、比抵抗値と飽和度や乾燥密度との関係を取得すれば、浸潤状況のより詳細な情報を推定し、緩衝材の施工法を考慮した二次元浸潤状況の検討も実施できるようになる。

なお、本報告は経済産業省からの委託研究として、公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターが実施した高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発の成果の一部である。

(参考文献)1)鈴木英明ら：緩衝材の不飽和水理特性,核燃料サイクル開発機構業務報告書, JNC-TJ8430-99-010, 1999