

地層処分における坑道埋戻し材からのベントナイト流出現象に関する研究

原子力機構 正会員 ○木村 駿, 非会員 武田 匡樹
清水建設 正会員 沖原 光信, 正会員 中島 均
安藤ハザマ 正会員 千々松 正和, 正会員 伊藤 歩夢

1. 目的

地層処分場の閉鎖段階において、立坑や坑道が主要な核種移行経路となることを防ぐため、ベントナイト系材料を用いた埋戻しが検討されている。岩盤中の割れ目を介して坑道へ流入する地下水により埋戻し材が流出することで、乾燥密度が低下して透水性が増大する可能性があることから、埋戻し時に想定される環境条件（湧水量、水質、埋戻し材の材料仕様、施工方法）が埋戻し材の流出挙動に及ぼす影響を把握することは、埋戻し材に長期的に期待される性能を確保する上で重要である。本研究では、埋戻し材としてベントナイトペレットを利用した場合の、ベントナイトの流出挙動を予測的に検討するため複数の環境条件下での流出試験を実施した。本報では、このうち水質の違いがベントナイトの流出に及ぼす影響について報告する。

2. 試験方法

図1に示す流出試験装置を構築し、長さ1000mm、内径98mmの亚克力製の円筒形試験セル内にベントナイトペレットを充填した。ベントナイトペレットはクニゲルV1（クニミネ工業）を含水比12%に調整した上でブリケットマシンにより15mmの粒径で造粒した。ベントナイトペレットの含水比の平均値は11.6%、乾燥密度の平均値は1.96Mg/m³である。試験装置は円筒の軸方向が水平方向に向くように設置し、試験セル上面の端部流入口にオーバーフロータンクに接続した。オーバーフロータンクには電動ポンプを用いて下部タンクから試験用水が供給され、オーバーフロータンク内の水位と端部流入口の水頭差を一定に保ちながら試験セルに供給可能である。流出口から流出した流量（流出流量）は電子天秤により測定した。また、試験セルから流出した水の濁度計測により流出水中のベントナイト濃度を算出した。

流出試験は、注水位置、水頭差および試験用水を変えて複数の試験条件で実施したが、本報では、表1に示す水頭差を10cmとして端部流入口より試験用水を給水する条件で実施した試験の結果について報告する。試験用水にはイオン交換水と人工海水（マリンアートSF-1、富田製薬株式会社）を用いて、ベントナイトの流出挙動の違いを観察した。

3. ベントナイトの流出状況

図2にイオン交換水（Case D-1）を用いた時の流出試験状況を示す。給水開始から3分後には試験セルの下部の数mmの高さにほぼ水平に水が広がっており、流出口からの流出が確認さ

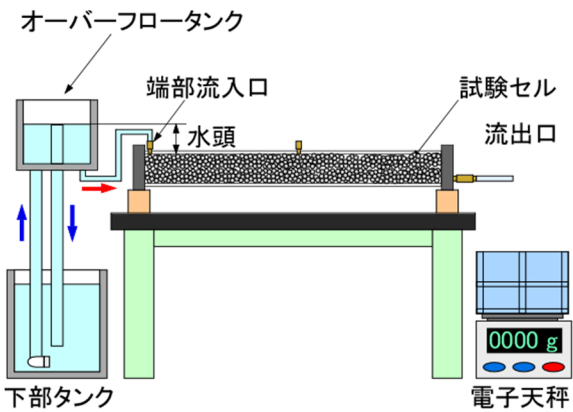


図1 流出試験装置の概要

表1 流出試験条件

ケース名	Case D-1	Case S-1
試験用水	イオン交換水	人工海水
注水位置	端部	端部
充填乾燥密度 (Mg/m ³)	1.12	1.11
水頭差(cm)	10	10

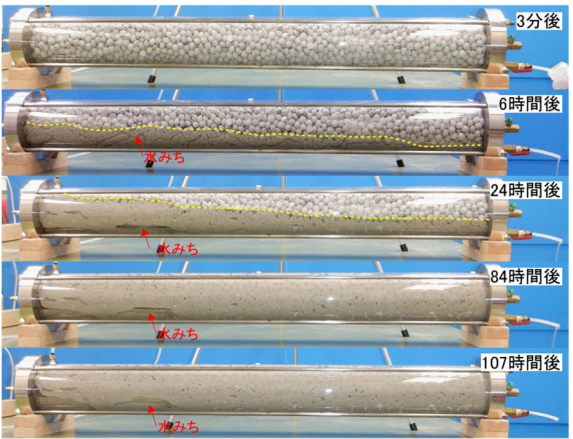


図2 流出試験時の状況 (Case D-1)

キーワード 地層処分, 坑道埋戻し, ベントナイトペレット, 流出挙動
連絡先 〒098-3224 北海道天塩郡幌延町字北進 432-2
幌延深地層研究センター TEL01632-5-2022

れた。試験用水とベントナイトペレットが接触して膨潤することによりベントナイトペレットの隙間が埋まった。時間の経過とともに、この膨潤した領域が端部流入口から流出口に向かって斜めに広がっていく状況が確認できる。一方で、6時間後あたりから試験セル下部では水みちが形成される様子が確認され、時間の経過とともに水みちが大きくなる。図3に示すように、流出流量は流出が始まってからは120 mL/min程度の一定の値を示していたが、72時間後あたりから流出流量が低下し、107時間後に流出口からの流出が止まった。流出水に含まれるベントナイト濃度は90分後に4225ppmで最大値を示したあと低下し、21.5時間後からは1000 ppm程度で推移したが、流出流量が低下するにつれ再び増加する傾向がみられた。

図4に人工海水（Case S-1）を用いた際の試験状況を示す。給水開始から15分後に流出口からの流出が確認され、その時点で端部流入口直下では試験セル下部の2/3程度まで隙間が埋まっており、この隙間が埋まった領域は流出口に向かって斜めに広がっている。この時、試験用水と接触したベントナイトペレットの表面から塊状のベントナイトがはがれ落ちる様子が観察されており、この塊状のベントナイトが堆積することで隙間が埋まっていると考えられる。図5に示すように、流出流量は30分後に20 mL/min程度で最大値を示した後、徐々に低下して60分後には流出口からの流出が停止した。流出が止まるまでの時間が短いいためベントナイト濃度の計測点が少ないものの、給水開始から20分後では2366ppmであり、イオン交換水に比べて流出水中に含まれるベントナイト濃度が少ない結果となった。流出流量はCase D-1の120 mL/minに対してCase S-1では20 mL/minと非常に小さく、流出が始まるまでの時間はCase S-1では15分後と遅かったものの、ベントナイトペレットの隙間の埋まった領域の広がりや速く流出が止まるまでの時間が短い結果となった。

4. まとめ

Case D-1のように塩分濃度が低い場合には、ベントナイトペレットの隙間は主に膨潤により埋まる。一方で、Case S-1のように塩分濃度が高い場合にはベントナイトの膨潤が抑制されるがベントナイトペレットからはがれた塊状のベントナイトが堆積することによって隙間が埋まっており、これに要する時間は塩分濃度が低い場合に比べ速い。このように、流入する水の塩分濃度により隙間が埋まる要因が異なり、本試験で確認された隙間が埋まるまでの時間差は膨潤と塊状のベントナイトの堆積の進行速度の差であると考えられる。今回の試験条件では流出が止まるものが確認されたものの、塩分濃度のみならず、注水位置や水頭差条件の違いにより隙間が埋まるまでの時間や埋戻し材の流出の程度は異なると考えられるため、今後は他の試験条件（注水位置や水頭差条件）における試験結果の評価を含め、埋戻し材の流出に影響を及ぼす条件整理や影響度の評価を継続する。

本報告は、令和4年度に実施した経済産業省資源エネルギー庁から受託した「高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業（JPJ007597）（地層処分施設閉鎖技術確証試験）」の成果の一部である。

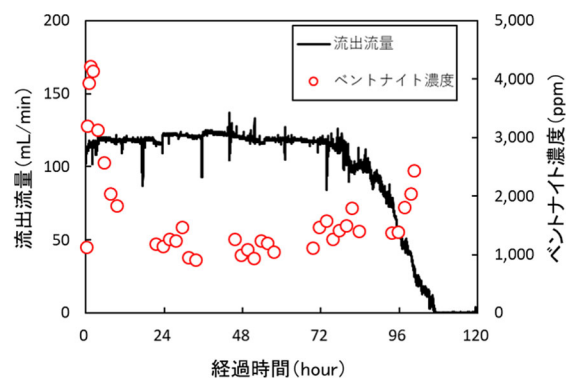


図3 流出流量とベントナイト濃度
(Case D-1)

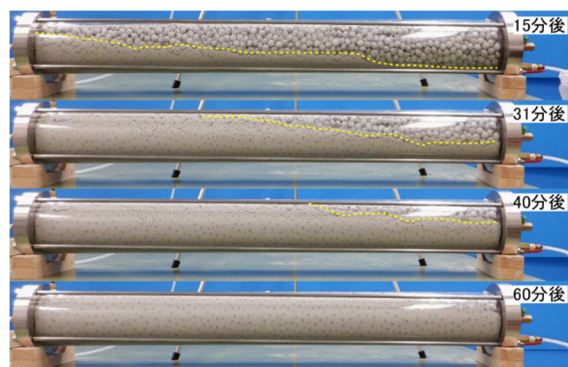


図4 流出試験時の状況（Case S-1）

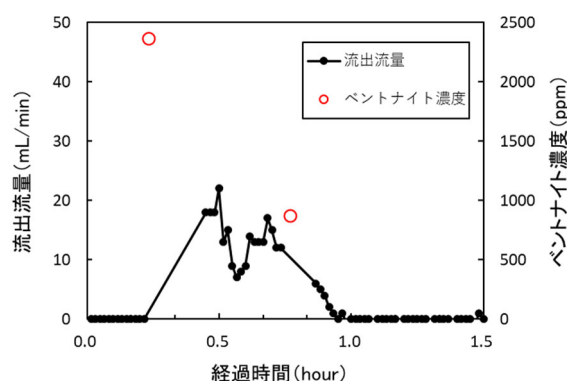


図5 流出流量とベントナイト濃度
(Case S-1)