

各種ベントナイト緩衝材の亀裂侵出特性に及ぼす温度条件の影響

新潟大学 学生会員 ○中島 颯人
正会員 金澤 伸一
学生会員 飯田 輝良
非会員 劉 子濠

1. はじめに

現在、原子力発電所を有する日本国内において、核燃料サイクルの過程で生じる高レベル放射性廃棄物の処分方法の確立が急務となっており、その処分方法として地層処分が選定されている。地層処分において、ガラス固化した廃棄体と岩盤との間を充填する緩衝材には、著しい吸水膨潤性能を有する粘土鉱物であるベントナイトの使用が検討されている。ベントナイトは吸水膨潤性に優れており、水を吸収することで岩盤の隙間を塞ぐ自己シール性能を有するため、高い応力均衡効果と止水効果が期待される。地層処分においては、地下水の浸潤に伴ってベントナイト緩衝材が膨潤し、岩盤の損傷部の亀裂が充填・閉塞されることで、放射性物質の漏洩を阻止することが期待されている。しかし、吸水膨潤によりベントナイト緩衝材が亀裂に侵出することで緩衝材自体の密度が減少する場合には、緩衝材に期待される応力緩衝効果や止水効果に悪影響を及ぼす可能性がある。また、地層処分においては、ガラス固化した廃棄体からの崩壊熱により、ベントナイト緩衝材が長期に渡って高温環境に晒されることや、それによって熱せられた地下水が浸潤してることが予想され、高温環境が緩衝材に及ぼす影響を把握する必要がある。

そこで本研究では、ベントナイト緩衝材の侵出現象を定量的に把握することを目的として、地層処分時に想定される岩盤亀裂を透明アクリル板に模し、緩衝材の侵出現象を考慮した亀裂侵出試験を実施した。それと同時に、非破壊で内部の状態を逐次観察できる X 線 CT 測定によって、連続的な数値データを取得することで、供試体内部と亀裂侵出部の浸潤密度の変遷を把握した。

また、廃棄体からの崩壊熱や熱せられた地下水の影響を考慮するため、給水時の水温を変化させて室温条件との比較を行い、熱的作用がベントナイトの侵出現象に与える影響を定性的に把握した。

2. 試験条件・方法

1) 実験装置

本研究で用いる試料には、Na 型ベントナイトであるクニゲル VI(クニミネ工業製、以下 KV)と Ca 型ベントナイトである三川ベントナイト(ホーゲン製、以下 MG)を用いた。図 1 に、本研究で使用した亀裂侵出試験装置の概略図を示す。試験期間中に目視で距離を測定すること、X 線 CT 測定を行うことを考慮し、試験装置はポリカーボネート製とし、試験機中央に岩盤亀裂を想定した 1mm の隙間を設けた。

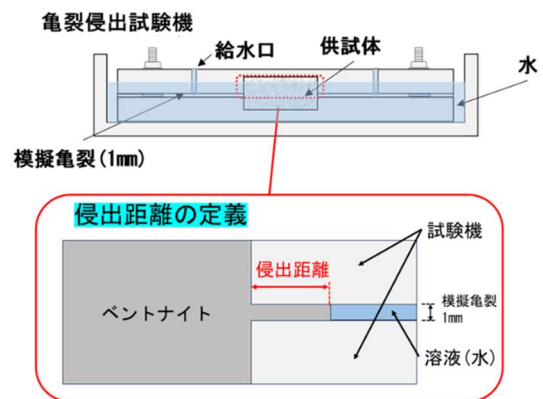


図 1 亀裂侵出試験装置の概略図

2) 検量線測定

X 線 CT 測定により得られる CT 値は、物体の X 線吸収の程度を示す数値であり、ベントナイトの湿潤密度との間に相関関係があることが知られている¹⁾。本研究では、CT 値と湿潤密度との関係を把握するため、初期含水比の異なる複数の供試体を作製した後に X 線 CT 測定を行い、供試体両端面を除いた各断面の平均値を供試体の代表値として、最小二乗法により CT 値と湿潤密度の回帰直線を作成した。供試体寸法は、直径 20mm、高さ 10mm とした。乾燥密度は、締固め性能の違いから KV を 1.6Mg/m^3 、MG を 1.4Mg/m^3 とした。なお、X 線 CT 測定には医療用 X 線 CT スキャナであるキャノンメディカルシステムズ株式会社製 Alexion を用いた。測定条件は、管電圧 135kV、管電流 100mA、スキャン速度 1.0s とした。

表 1 試験ケース

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
試料	クニゲルV1		三川産ベントナイト	
乾燥密度(Mg/m ³)	1.6		1.4	
水温(°C)	20	60	20	60

3) 亀裂侵入試験

試験ケースを表 1 に示す。試験溶液はイオン交換水を用いて、水温は室温である 20°C と 60°C とし、試験期間は 10 日間とした。また、室温条件の亀裂侵入試験中に随時 X 線 CT 測定を行った。ベントナイト供試体および亀裂内のベントナイトの CT 値を取得し、検量線を用いて CT 値から湿潤密度を算出した。

3. 実験結果

図 2 に給水温度ごとの侵入距離と時間との関係を示す。KV において、60°C の高温条件下である CASE2 は、室温条件下である CASE2 よりも初期の侵入距離が大きくなっていることが確認できた。この原因として、温度増加に伴う水の粘性係数の変化により、ベントナイトの透水性が高くなったことで、初期の侵入距離が大きくなると考えられる。また、最終的な侵入距離は室温条件とほぼ同値であった。MG においては、室温条件下である CASE3 より高温条件下である CASE4 の侵入距離が小さい結果となった。この要因としては、層間内の構成陽イオンの違いによる膨潤性能の違いが挙げられ、型の違いにより、最終的な侵入距離の温度依存性が異なることが示唆される。また、図 3、図 4 に X 線 CT 測定によって得られた亀裂侵入時の湿潤密度変遷を示す。0mm を供試体の中心軸とし、その左右の破線は供試体と亀裂との境界部を示している。KV、MG の両試料ともに給水開始直後は、亀裂内が水で満たされているため湿潤密度が一定であるが、時間の経過に伴い、供試体周辺の亀裂部から湿潤密度が徐々に増加しており、ベントナイトが侵入していることが確認できる。さらに、亀裂内における密度が非線形的な分布となっており、これらは試料の種類の違いに依存せずに同様の傾向を示す。また、供試体の最終的な湿潤密度は、初期状態と比較すると亀裂と供試体の境界部で低下していることが確認できる。試験終了時の供試体は飽和状態であると推察されるため、乾燥密度の低下が要因として挙げられる。そのため、ベントナイト供試体は亀裂内への侵入拡大に伴い、初期状態と異なる仕様へと変化すると考えられる。

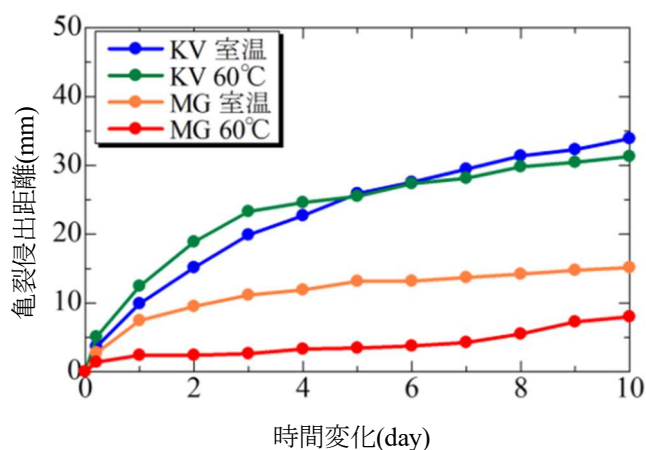


図 2 時間変化と侵入距離の関係

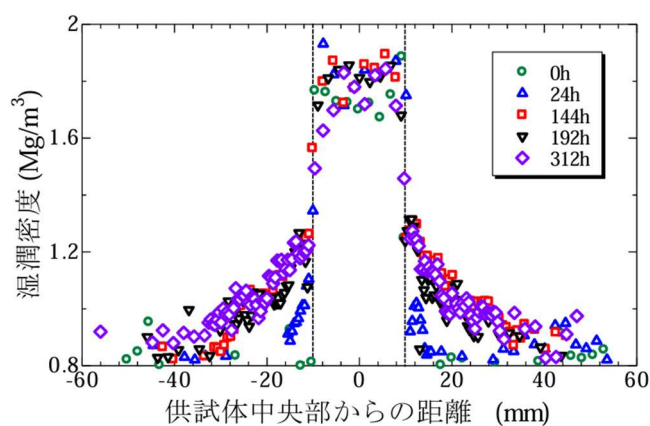


図 3 湿潤密度変遷 (CASE1)

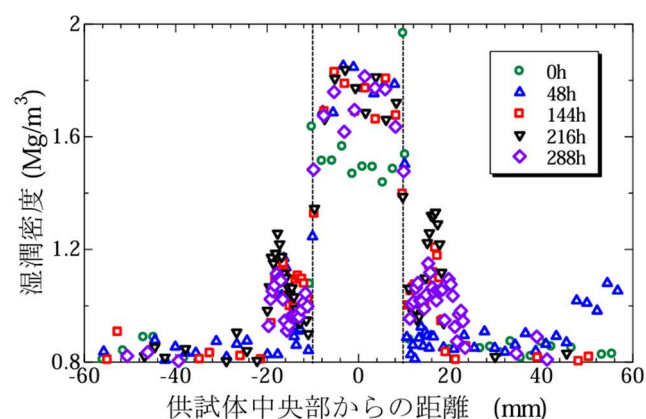


図 4 湿潤密度変遷 (CASE3)

4. おわりに

今後は、新たな試験試料の追加や給水させる水の温度の変化、供試体の乾燥密度の変化など様々な試験条件を追加し、継続的に試験を実施することで、データベースを構築していく。

5. 参考文献

- 1) Tanai, K. and Yamamoto, M.: Experimental and Modeling Studies on Gas Migration in Kanigel V1 Bentonite, JNC TN8400 2003-024, 2003.