

種々の溶液に浸漬させたベントナイトの岩石き裂充填に関する研究

鳥取大学 ○千光士 直人
 鳥取大学 正会員 河野 勝宣
 鳥取大学 フェロー会員 西村 強

1. 緒言

放射性廃棄物地層処分において、人工バリア材（ベントナイト系材料）の変質による膨潤性能や透水性能の低下^{1,2)}は、緩衝材の性能を劣化させる負の効果である反面、変質によるベントナイトの粘性の低下等により、天然バリア材（岩盤）中のき裂を閉塞させてバリア機能を高める³⁾といった正の効果と捉えることもできる。ベントナイトに作用する変質のタイプの違いにより、岩盤中のき裂の閉塞の程度や、閉塞鉱物の組成も異なることが考えられ、それに対応して岩盤の物性も大きく異なることが予想される。

本研究では、種々の溶液に浸漬させて変質反応促進を施したベントナイトと巨視き裂を含む花崗岩を接触させた2層一体型の供試体を用いて一次元膨潤圧試験を行い、岩石き裂内へのベントナイトの充填量に及ぼす変質のタイプの影響について検討した。

2. 実験方法

一次元膨潤圧試験は恒温室(22±1°C)内に断熱材で作製した恒温槽内にて実施した(図-1)。試験には、変質させたベントナイト(直径50mm,高さ10mm)と巨視き裂を含む花崗岩(直径30mm,高さ15mm)を接触させた2層一体型の供試体を用いた。ベントナイトは山形県月布産のクニゲルV1(土粒子密度 $\rho_s = 2.715 \text{ Mg/m}^3$)である。変質させたベントナイトは、0.1 mol/Lの各種溶液にベントナイト50gを

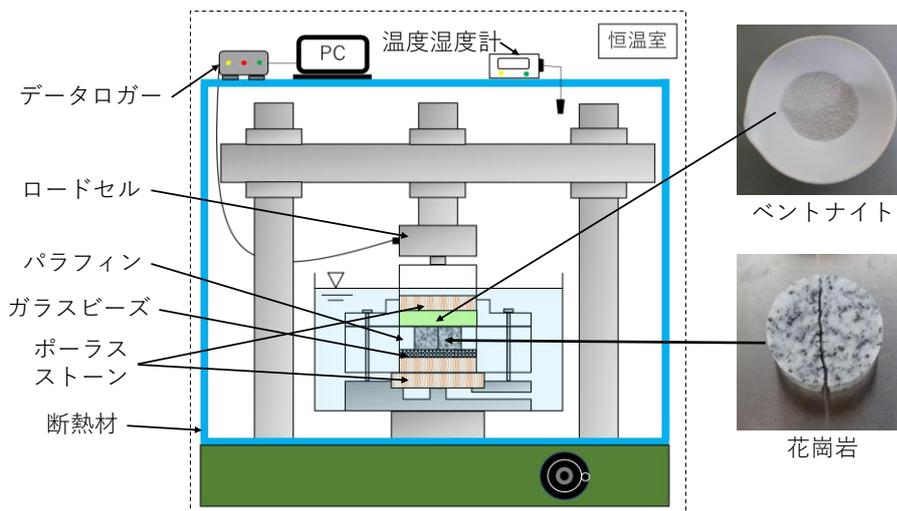


図-1 一次元膨潤圧試験装置

浸漬し、攪拌することにより作製し、乾燥密度が 1.4 Mg/m^3 になるように静的に締固めて作製した。溶液は、セメント系材料が地下水と反応することによって生成される高アルカリ間隙水を想定して Ca(OH)_2 、 KOH 水溶液、オーバーパックの腐食により生じる金属イオンを想定して FeCl_2 、 MgCl_2 水溶液、沿岸部での建設を想定して NaCl 水溶液の5種を選定した。モンモリロナイトの $2\theta = 7^\circ$ 付近($d = 12.6\text{\AA}$ 付近)のピークに着目したベントナイトおよび作製した変質ベントナイトの粉末X線回折パターン(株式会社リガク製 RINT Ultima IV, $\text{CuK}\alpha$, 40 kV, 20 mA, スリット系: $0.5^\circ\text{-}0.15 \text{ mm-}2^\circ$, 走査範囲: $5\sim 10^\circ$)を図-2に示す。巨視き裂を含む岩石は圧裂引張試験によりき裂を生じさせた。試験は、供試体の体積変化を拘束した状態で水浸(蒸留水)させ、そのときの鉛直方向に発生する荷重 F を1秒間隔で7日間測定し、膨潤圧 $P_s (=F/A, A: \text{供試体断面積})$ を測定した。また、試験前後の供試体質量を分析天びん(株式会社島津製作所製 AUX120, 分析能0.1mg)を用いて計測し、さらに、デジタルマイクロスコープを用いて、き裂に充填するベントナイトの様子を観察した。

キーワード ベントナイト, 変質, き裂充填

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101 TEL 0857-31-5291

3. 実験結果と考察

一次元膨潤圧試験の結果を図-3A に示す。膨潤圧 P_s は、ベントナイトが0.32 MPaで最も大きく、種々の溶液に浸漬させて変質反応促進を施したベントナイトはいずれもベントナイトに比べて膨潤圧は低下した。Ca(OH)₂水溶液浸漬ベントナイト($P_s=0.22$ MPa)を除くと、KOH、FeCl₂、MgCl₂およびNaCl水溶液に浸漬させた4種のベントナイトはいずれも膨潤圧は0.05MPa以下であり、ベントナイトと比べて膨潤圧が大きく低下した。これは、ベントナイト中のモンモリロナイトの層間のNaイオンが種々の溶液中の陽イオンと交換されたことにより、モンモリロナイトがCa²⁺型化、K⁺型化、Fe²⁺型化、Mg²⁺型化したことが要因の一つに挙げられる。すなわち、Ca(OH)₂水溶液浸漬ベントナイトでは、Na⁺がCa⁺に交換されたことにより、水和度が低下し、膨潤圧の低下が起こったと考えられる。このことはX線回析パターン(図-2)からも確認でき、Ca(OH)₂水溶液浸漬ベントナイトはモンモリロナイトのピークが若干小さくなっている。一方、KOH、FeCl₂、およびMgCl₂水溶液浸漬ベントナイトでは、浸漬により、モンモリロナイトの溶解や結晶構造の乱れまたは破壊が生じ、膨潤圧が著しく低下したと考えられる。これについても、X線回析パターンより、KOH水溶液浸漬ベントナイトでは、モンモリロナイトのピークが消滅、FeCl₂およびMgCl₂水溶液浸漬ベントナイトでは、モンモリロナイトのピークが低角度側へシフトしていることが確認できる(図-2)。さらに、腐食生成物によるセメンテーション作用による膨潤の阻害やモンモリロナイトの鉄サポナイト化等の影響も関与しているものと考えられる。また、塩分濃度に応じてモンモリロナイトの層間はある距離を保つと言われており⁴⁾、NaCl水溶液浸漬ベントナイトは、試料作製の段階ですでにモンモリロナイトの層間が固定化されたことにより膨潤圧が低下したと考えられるが、詳細は今後の課題である。

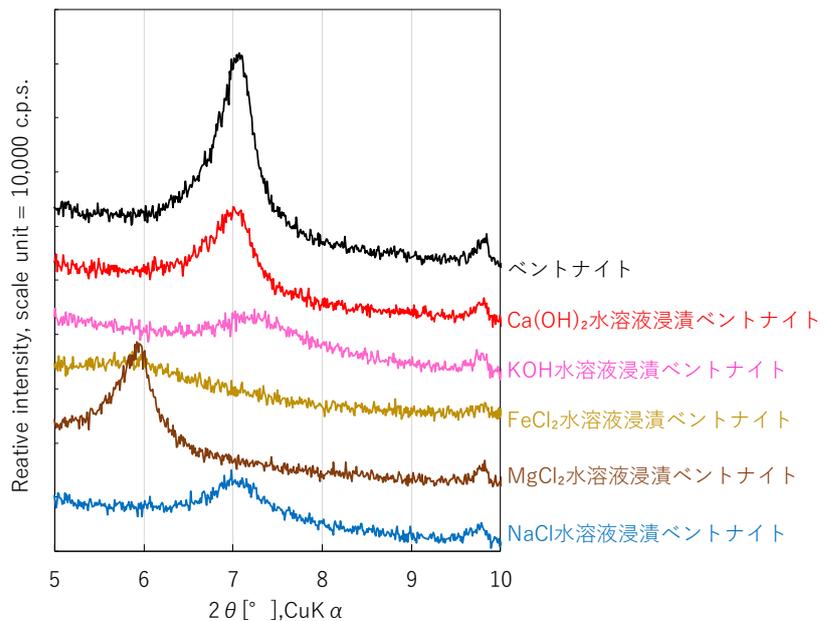


図-2 変質ベントナイトの粉末X線回析パターン

換されたことにより、モンモリロナイトがCa²⁺型化、K⁺型化、Fe²⁺型化、Mg²⁺型化したことが要因の一つに挙げられる。すなわち、Ca(OH)₂水溶液浸漬ベントナイトでは、Na⁺がCa⁺に交換されたことにより、水和度が低下し、膨潤圧の低下が起こったと考えられる。このことはX線回析パターン(図-2)からも確認でき、Ca(OH)₂水溶液浸漬ベントナイトはモンモリロナイトのピークが若干小さくなっている。一方、KOH、FeCl₂、およびMgCl₂水溶液浸漬ベントナイトでは、浸漬により、モンモリロナイトの溶解や結晶構造の乱れまたは破壊が生じ、膨潤圧が著しく低下したと考えられる。これについても、X線回析パターンより、KOH水溶液浸漬ベントナイトでは、モンモリロナイトのピークが消滅、FeCl₂およびMgCl₂水溶液浸漬ベントナイトでは、モンモリロナイトのピークが低角度側へシフトしていることが確認できる(図-2)。さらに、腐食生成物によるセメンテーション作用による膨潤の阻害やモンモリロナイトの鉄サポナイト化等の影響も関与しているものと考えられる。また、塩分濃度に応じてモンモリロナイトの層間はある距離を保つと言われており⁴⁾、NaCl水溶液浸漬ベントナイトは、試料作製の段階ですでにモンモリロナイトの層間が固定化されたことにより膨潤圧が低下したと考えられるが、詳細は今後の課題である。

膨潤圧と充填割合(=M'/M [%], M':膨潤圧試験後に実際に充填されたベントナイトの質量, M:き裂がすべてベントナイトで充填されたと仮定した場合の質量。)との関係を図-3Bに、き裂充填の様子を図-4示す。き裂のベントナイトの充填割合は11.2%であり、き裂充填深さは2.1mmであった。充填割合は浸漬させた溶液の種類の違いによって異なる結果となった。特に、膨潤圧が小さいKOH水溶液浸漬ベントナイトの充填割合が12.7%と最も大きい点については興味深い。つまり、膨潤圧が高ければ充填割合が大きくなるわけではなく、変質によるベントナイトの粘性の低下や反応生成物によるセメンテーション化等も影響していると考えられる。

以上の実験結果は、地層処分におけるベントナイト系材料が変質の影響により、膨潤性能が劣化するとともに、き裂の充填割合についても、変質のタイプによって異なることを示唆するものである。今後は、変質ベントナイトの粘性等の物性を調査するとともに、き裂を変質ベントナイトで充填した岩石の透水性についても明らかにする予定である。

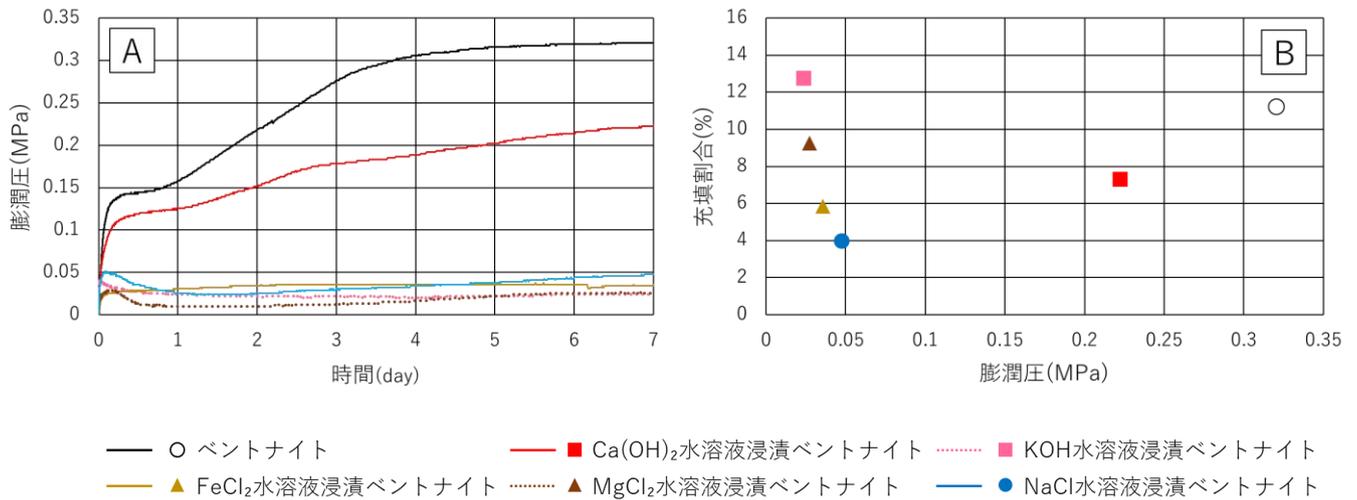
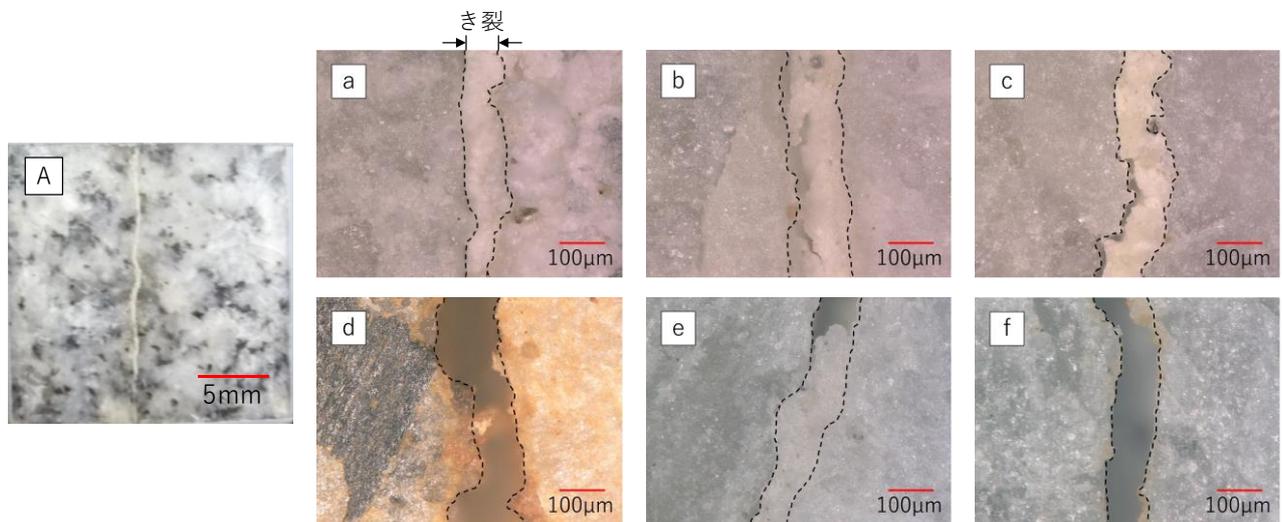


図-3 一次元膨潤圧試験結果 (A) , 膨潤圧と充填割合の関係 (B)



A,a : ベントナイト b : Ca(OH)₂水溶液浸漬ベントナイト c : KOH水溶液浸漬ベントナイト
d : FeCl₂水溶液浸漬ベントナイト e : MgCl₂水溶液浸漬ベントナイト f : NaCl水溶液浸漬ベントナイト

図-4 一次元膨潤圧試験後のベントナイトのき裂充填の様子 (a~f: デジタルマイクروسコープによる撮影)

引用文献

- 1) M.Kohno, Y.Nara, M.Kato and T.Nishimura : Effects of clay-mineral type and content on the hydraulic conductivity of bentonite-sand mixtures made of Kunigel bentonite from Japan, *Clay Minerals*, Vol.53, pp.721-732, 2018.
- 2) 横山信吾, 中村邦彦, 田中幸久, 廣永道彦: 放射性廃棄物処分におけるベントナイト系材料のアルカリ溶液による変質挙動 (その 2) -アルカリ溶液の種類がベントナイト混合土の透水性へ及ぼす影響-, 電力中央研究報告書, N10037, 2010.
- 3) Y.Nara, M.Kato, R.Niri, M.Kohno, T.Sato, D.Fukuda, T.Sato and M.Takahashi : Permeability of granite including macro-fracture naturally filled with fine-grained minerals, *Pure and Applied Geophysics*, Vol.175, pp.917-927, 2018.
- 4) 白水晴雄: 粘土鉱物学-粘土科学の基礎- (新装版) , pp.1-185, 2010.