粒状ベントナイトの膨潤圧発生挙動の調査および膨潤圧発生メカニズム

茨城大学	学生会員	○小山田 拓郎
茨城大学	正会員	小峯 秀雄, 村上 哲
戸田建設	正会員	関口 高志, 関根 一郎

1. はじめに

地層処分および余裕深度処分におけるベントナイト系緩衝材には,現場施工する場合の材料として粒状ベント ナイトが期待されている.処分施設が再冠水する際,緩衝材には地下水の浸入が想定されるため,人工バリアの 性能を評価する上で,吸水に伴う膨潤圧の発生挙動を把握することは重要と考えられる¹⁾.著者らはこれまでに, 最大粒径 2mm に粒度調整した試料および最大粒径 0.18mm に粉砕した試料の2種類を用いて,膨潤圧・吸水特性 に及ぼす最大粒径の影響について実験的な調査を行った²⁾.本報告では,2種類の試料の膨潤圧の発生挙動につい て,より詳細な比較を行うと共に,粒状ベントナイトの膨潤圧の発生メカニズムを考察する.

2. 使用した試料および供試体作製方法

本研究では、粒状ベントナイトであるベントナイト GX(クニミネ工業製・ クニゲル GX)の最大粒径を 2mm に粒度調整した試料を使用した. 表1に最 大粒径を 2mm に調整したベントナイト GX の基本的性質を示す^{3),4)}. 粒状 ベントナイトの膨潤圧発生挙動および膨潤圧発生のメカニズムを把握する ために、最大粒径 2mm の試料(以下、粒状試料と記す)と共に、最大粒径 を 0.18mm に粉砕した試料(以下、粉砕試料と記す)の2種類を実験に用い た. 粉砕は、メノウ乳鉢を用いて試料が全て 180µm ふるいを通過するまで 繰り返した. 試料の含水比は、粒状試料と粉砕試料でそれぞれ、5.0~5.8%、 4.6~6.9%であった. 供試体は直径 28mm の円柱形とし、高さ 10mm を目標 に、油圧ジャッキを用いた上下方向からの静的締固め⁵⁾により作製した.

3. 膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験の概要

本試験は、供試体の膨潤変形を抑制した状態において、供試体への水の供給量と膨潤圧を経過時間ごとに同時に測定するものである.図1に膨潤に伴う吸水量測定試験装置の概略図を示す.最大容量25mL,最小目盛り0.1mLのビュレット管から供試体へ給水し、ビュレット管内の水の体積変化を目視により測定する.試験は膨潤圧がほぼ定常状態に達するまで行った.試験期間はおおよそ17~19日間(24300~27240min)であった.また、供試体の体積変化を完全に抑制することは困難であるため、鉛直方向の微小な変位量を測定し、乾燥密度の補正を行った.

4. 粒状ベントナイトの膨潤圧発生挙動

図2に、ベントナイトGXの膨潤圧と経過時間の関係を示す.図2において、粒状試料は試験開始直後に膨潤圧が 急激に増加した後、その増加が緩やかとなり最大膨潤圧に至る.一方、粉砕試料は膨潤圧が急激に増加し、一度 減少した後、再度膨潤圧が増加し定常化する.特に乾燥密度が比較的低いケースでは、膨潤圧の増加過程におけ るピークが明瞭に確認できる.同様な傾向は既往の研究⁶⁰でも確認されている.ベントナイトの膨潤圧の増加過程 においてピークが測定される要因として、小峯ら⁷⁰はモンモリロナイトが供試体内部の間隙中へ膨潤変形する際に 生じる抵抗力相当の圧力と、ベントナイト固有の膨潤圧が発現する時間に差が生じることによると推察している. また図2より、粒状試料と粉砕試料の膨潤圧の発生挙動を比較すると、最大膨潤圧が比較的近い値を示すケース同

キーワード 粒状ベントナイト,緩衝材,膨潤圧連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 TEL:0294-38-5162

表1 ベントナイト GX の基本的性質 ^{3), 4)}

ベントナイト	GX (最大粒径 2mm)
タイプ	Na 型
土粒子の密度 (Mg/m ³)	$2.65^{4)}$
液性限界(%)	355.1
塑性限界(%)	22.8
塑性指数	332.3
モンモリロナイト 含有率(%)*	47.1

※モンモリロナイト含有率は、純モンモリ
ロナイトのメチレンブルー吸着量
140(mmol/100g)を基準に算出された値

ビュレット管 最大容量:25mL, 最小目盛り:0.1mL クランブノブ クランブノブ ロードセル 最大容量:10kN 最小目盛り:0.025kN 変位計 最大容量:25mm 最小目盛り:0.002mm 供試体 直径:28mm 高さ:10mm よび ろ紙 図 1 膨潤圧発生に伴う

吸水量測定試験装置の概略図

士の場合,粉砕試料の膨潤圧の増加過程においてピークが測 定される時点では,いずれの乾燥密度においても粒状試料の 方が低い膨潤圧を示していることがわかる.以上より,粒状 試料は,モンモリロナイトが供試体内部の間隙中へ膨潤変形 する際に生じる抵抗力が比較的小さいと考えられる.また粉 砕試料の膨潤圧について,図3に増加過程におけるピークが測 定されるまでの時間と乾燥密度の関係を示す.図3より,乾燥 密度が高いほど,膨潤圧の増加過程におけるピークが測定さ れるまでの初期の膨潤圧の増加が長時間続くことがわかる.

5. 粒状ベントナイトの膨潤圧発生メカニズムの考察

図4に、粒状ベントナイトの膨潤圧の発生メカニズムを模式 的に示す. 図4の①は、試験開始時の供試体の様子を表している. ベントナ イトGXの原鉱の粒状体としての乾燥密度は約1.7Mg/m³であることから⁸⁾, 粒 状試料を用いた供試体は,相対的に乾燥密度が高い粒状体と,粒状体以外の 相対的に密度が低い部分で構成されると考えられる. ベントナイトGXは, 乾燥密度が低いほど、単位時間あたりの吸水量が大きい値を示す傾向がある ことから2),図4の②に示すように、吸水直後は相対的に乾燥密度が低いと考 えられる粒状体以外の部分が先行して膨潤し始め, 順次粒状体の部分が膨潤 すると考えられる.図3より、膨潤圧の増加過程におけるピークが測定され るまでの初期の膨潤圧の増加は、乾燥密度が高いほど長時間続く.したがっ て図4の③においては、主に粒状体の部分の膨潤によって膨潤圧が増加する と考えられる. さらに、モンモリロナイトが供試体内部の間隙中へ膨潤変形 する際に生じる抵抗力が比較的小さいことにより,供試体全体として膨潤圧 が増加し続けると考えられる.図4の④に示すように、供試体中の間隙が充 填されると、その時点でのモンモリロナイト結晶層間への水の移動に起因す る膨潤圧が発生し、最大膨潤圧に達する.

6. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す.

- 1) 最大粒径2mmのベントナイトGXは,最大粒径0.18mmの粉砕試料に比べ, 供試体の間隙中へ膨潤変形する際の抵抗が小さいと考えられる.
- 2)最大粒径0.18mmのベントナイトGXは、乾燥密度が高いほど、膨潤圧の 増加過程におけるピークが測定されるまでの初期の膨潤圧の増加が長時 間続くことがわかった。
- 3) 粒状ベントナイトの膨潤圧の発生メカニズムを考察し、模式的に示した.

-参考文献- 1) 原子力発電環境整備機構:地層処分事業の安全確保(2010 年度版)-確かな技術による安全な地層処分の実現のために-, NUMO-TR-11-01, 2011. 2) 小山田拓郎,小峯秀雄,村上哲,関口高志,関根一郎:粒状ベントナイトの膨潤圧・吸水特性に及ぼす最大粒径の影 響~最大粒径 2mm と粉砕試料の比較~,第 47 回地盤工学研究発表会,2012.(投稿中) 3) 小峯秀雄:余裕深度処分のための粒状ベントナイト の膨潤圧特性に関する基礎的研究~最大粒径 10mm と 2mm の粒状ベントナイトの膨潤圧特性の比較~,第 46 回地盤工学研究発表会,D-05, pp.2087-2088,2011. 4) 伊藤弘志,千々松正和,村上利一:ベントナイト層の現場施工材料の開発,土木学会第 62 回年次学術講演会,CS5-001, 2007. 5) 直井優,小峯秀雄,安原一哉,村上哲,百瀬和夫,坂上武晴:各種ベントナイト系緩衝材の膨潤特性に及ぼす人工海水の影響,土木学 会論文集,No.785/III-70,pp.39-49,2005. 6) 杉浦航,小峯秀雄,安原一哉,村上哲,関口高志:ベントナイト原鉱石の膨潤特性および膨潤挙動メ カニズムの考察,土木学会第 64 回年次学術講演会,CS5-050,2009. 7) 小峯秀雄,緒方信英,西好一:高レベル放射性廃棄物地層処分のための 緩衝材の力学特性(その1) 一締固めたベントナイトの吸水膨潤メカニズムの実験的検討-,電力中央研究所報告,U92039,1992. 8) 財団法 人原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 16 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査報告書(2/2), pp.3-572-3-583,2005.



図2 膨潤圧と経過時間の関係



図3 膨潤圧の増加過程におけるピークが 発生するまでの時間と乾燥密度の関係



図4 粒状ベントナイトの 膨潤圧の発生メカニズムの模式図