

アルゴンガス溶解水を用いたベントナイトの飽和試験

(株)大林組 正会員 〇志村 友行, 佐藤 伸, 山本 修一
足利工業大学 正会員 西村 友良

1. はじめに

放射性廃棄物処分場の人工バリアは地下水の侵入によって飽和に至る。この際、地下水に溶存ガスが存在する地下環境では、人工バリアへの地下水の侵入とともに水圧が減圧し、それに伴い溶存ガスが気化する。溶存ガスの気化に伴い、人工バリアの飽和までの時間の遅れや人工バリア内のガス圧上昇に伴う体積変化が生じることが考えられる。そこで、本研究では溶存ガスが存在する水を用いて、人工バリアに使用されるベントナイトの飽和試験を実施し、溶存ガスがベントナイトの飽和に与える影響について検討を行った。

2. 試験概要

地下水に溶存しているガスとしては、メタンガスや二酸化炭素が一般的ではあるが、実験適用上、無害性や不燃性のガスである必要がある。二酸化炭素については溶解の扱いが難しいことと、試験室内の酸素濃度の低下等の安全面も考慮して不採用とした。そこで、溶解度がメタンガスに近似しているアルゴンガス（以降、Ar ガス）を用いるものとする。本試験は圧密試験装置を用いたベントナイトの飽和膨潤試験の注水部分に Ar ガスを溶解させるための工夫を行い、飽和膨潤試験を実施する。試験装置の概要を図-1 に示す。供試体材料の仕様を表-1 に示す。

溶解水の作成は、脱気水を機密性の容器に湛水させ、そこで、バブリングによって Ar ガスを溶解させる。所定の注入圧力付近までガスを送ることによって、Ar ガスが飽和溶解する水を作成する。さらに、注水圧の管理の精度を向上させるため、注水経路に調圧弁を設置する。また、注入流量を測定するため、注入経路には流量計を設置する。なお、飽和試験中はできるだけ注入時の気体の溶解量を多くするため、背圧としてガス圧を载荷した。アルゴンの溶解量影響を把握するため、異なる注水圧の試験を 2 ケース実施する。

これは注水圧を変化させることにより水への Ar ガスの溶解量を変化させるためである。例えば、基本ケースの注水圧を 100kPa とし、それに対し、比較案として注水圧を 400kPa とすれば、アルゴンの溶解量は 4 倍になる。

なお、供試体内の有効応力状態を一定に保つため、背圧も基本ケースに対する倍率の圧力を载荷する。注水圧 400kPa のケースであれば基本ケースの背圧が大気圧であるため、比較案は 300kPa のアルゴンガスによる背圧を载荷することになる。本研究で実施した試験ケースを表-2 に示す。ここで、溶解ガスの影響を評価するため、脱気水を用いて同一注水及び背圧条件による試験も実施する。脱気水を用いるケースの背圧は空気を载荷する。

3. 試験結果

試験結果として、図-2 に飽和度の経時変化を示す。ここで、飽和度の経時変化は吸水量から算出している。飽和度 100%になる時刻を比較すると、Case1 と Case3 が 15 日後、Case2 と Case4 が 23 日後となり、溶存ガスが存在す

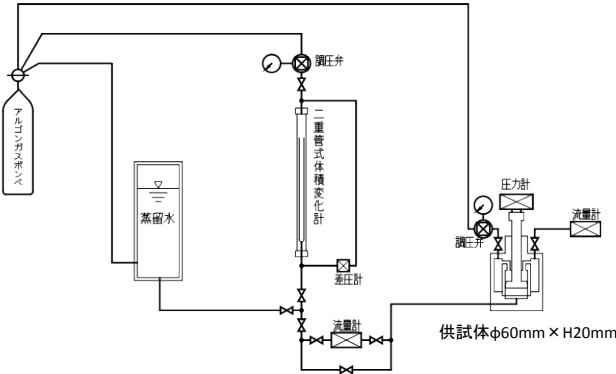


図-1 試験装置概要

表-1 供試体仕様

項目	仕様
供試体寸法	φ=60mm×高さ 20mm
材料	ベントナイト 70wt% ケイ砂 30wt%
乾燥密度	$\rho_d=1.6\text{Mg/m}^3$
初期含水比	17.0%

表-2 試験ケース

ケース名	概要
Case 1	注水圧：100kPa 背圧：大気圧 溶解ガス考慮
Case 2	注水圧：100kPa 背圧：大気圧 脱気水
Case 3	注水圧：400kPa 背圧：300kPa 溶解ガス考慮
Case 4	注水圧：400kPa 背圧：300kPa 脱気水

キーワード 溶存ガス, ベントナイト, 飽和試験, 連成解析

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組原子力環境技術部 TEL 03-5769-1309

る水を用いたケースの方が飽和度 100%に至るまでに時間を要する結果となった。これは、溶存ガスがベントナイトへ侵入する際に減圧することによって溶存ガスが気化して飽和が遅れたものと考えられる。

次に土圧の経時変化を図-3 に示す。ここで示している土圧は供試体上部に設置した圧力計の値から注水压を引いたものを示している。ここで、試験終了時刻における土圧はCase1 が690kPa, Case2 が780kPa, Case3 が700kPa 及びCase4 が800kPa となった。よって、溶存ガスを存在する水を用いたケースの方が土圧は高くなった。ただし、溶存ガスを考慮したケースと脱気水のケースの相違は 100kPa 程度であることから、これまでに示されてきた要素試験¹⁾のばらつきの範囲内であるともいえる。

4. 再現解析

Case4 を対象に THMG 連成解析コード CODE_BRIGHT²⁾による再現解析を実施した。用いたパラメータのうち、二相流パラメータを図-4 に示す。力学パラメータについては、構成則に Barcelona Basic model³⁾を用いていることから、修正 Cam-Clay モデルと基本的には同じであるため、修正 Cam-Clay モデルと同一のパラメータについては、高治ら⁴⁾の文献を参照した。不飽和パラメータについては、山本ら⁵⁾の文献を基に設定した。力学境界条件は法線方向固定、接線方向自由とした。水理に係る境界条件については、底面に飽和溶解条件を仮定して、所定の注水压と同値のガス圧を $P_l(\text{水压}) = P_g(\text{ガス圧})$ として底面に载荷した。なお、側部は不浸透境界としている。解析モデルは軸対象でモデル化して、2mm×2mm で要素分割を行った。解析結果として、図-5 に飽和度の経時変化、図-6 に土圧の経時変化を示す。ここで、解析結果と実験結果は両方で良い一致を示しているのが分かる。これより、溶存ガスが存在する水を用いた試験のモデル化方法の妥当性が示された。

5. おわりに

溶存ガスが存在する水を用いたベントナイト系材料の飽和膨潤試験を実施し、その影響について検討を行った。検討の結果、溶存ガスが存在する場合、飽和までの時間が脱気水を用いた場合よりも長くなり、膨潤圧は溶存ガスが存在する水を用いた方が高くなるといった定性的な結果を得た。しかし、試験に用いた水の溶存ガス濃度が計測されておらず、試験数も多くないため定量的な評価は行えていない。よって、溶存ガスの影響を評価するためにはさらなる検討が必要である。

【謝辞】本研究を実施するにあたり、日本原子力研究開発機構の棚井様よりご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 伊藤ほか：ベントナイトクニゲル GX の基本特性試験（その 1）膨潤挙動に関する検討，土木学会第 63 回年次学術講演会，平成 20 年。2) S. Olivella, A. Gens, J. Carrera and E. E. Alonso : Numerical formulation for a simulator (CODE_BRIGHT) for the coupled analysis of saline media, Engineering Computations, Vol.13, No.7, pp.87-112, 1996. 3) E. E. Alonso, A. Gens and A. Josa : A Constitutive model for partially saturated soils, Géotechnique, 40, No.3, 1990. 4) 高治一彦，鈴木英明：緩衝材の静的力学特性，JNC TN8400 99-041, 1999 年。5) 山本修一，小峯秀雄：THM 連成解析におけるベントナイトの膨潤特性の構成モデルに関する一考察，土木学会第 63 回年次学術講演会，平成 20 年 9 月。

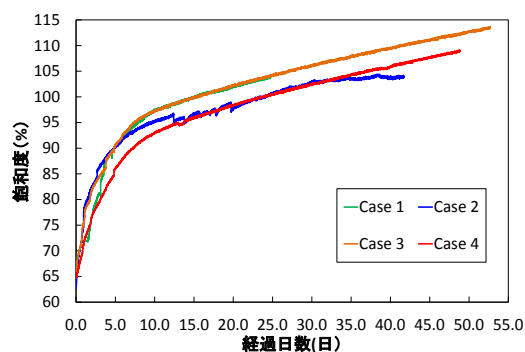


図-2 飽和度の経時変化

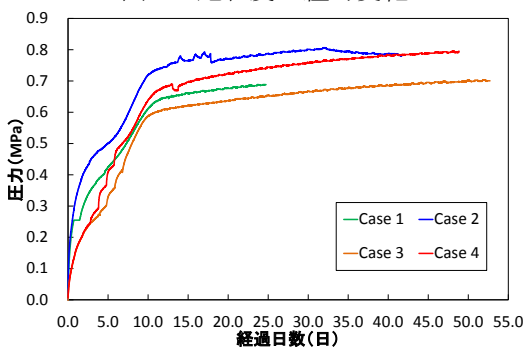


図-3 土圧の経時変化

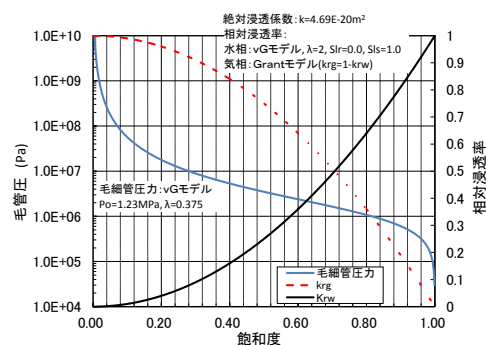


図-4 解析に用いた二相流パラメータ

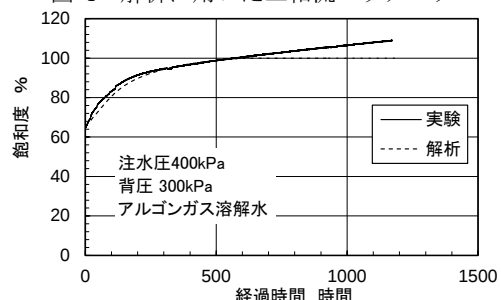


図-5 飽和度の経時変化

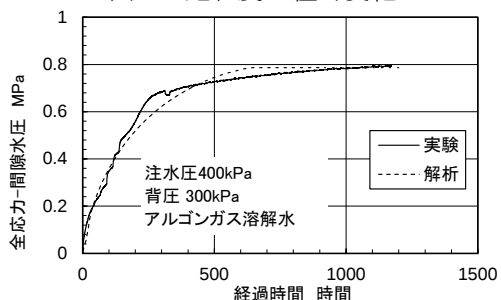


図-6 土圧の経時変化