

ベントナイト混合砂の長期力学挙動の予測

山口大学大学院 学生会員 ○佐川修 武田栄子
 山口大学工学部 正 会 員 兵動正幸 中田幸男
 山口大学工学部 正 会 員 吉本憲正 村田秀一

1. はじめに

放射性廃棄物を地層処分する際に、廃棄物と周辺岩盤との間にバリア材としてセメント系材料やベントナイトと砂を混合した材料を用いることが検討されている。これら処分施設に求められている項目に、長期的な施設の健全性が挙げられる。しかしながら、人工バリア材の長期的な挙動の予測は困難で、データや知見も少ないのが現状である。著者らはこれまで、放射性廃棄物処分施設での使用が検討されていたベントナイト混合砂を対象に、実際の処分施設でこれらの材料が受けると考えられる環境履歴を想定した実験を行ってきた^{1)~4)}。本報告は、以上の実験結果に基づいて、ベントナイトと珪砂を混合した材料の長期的な挙動についての予測を行うものである。

2. 実験概要

想定されるニアフィールドの長期的な変遷を概観すると、処分施設の施工中はベントナイト混合砂は不飽和状態下にある。処分施設閉鎖後は地下水位の回復に伴いベントナイト混合砂は膨潤し、やがて完全に冠水する。さらには、長期的にオーバーパックの腐食や核種の崩壊熱による高温環境状態、セメント系材料から浸出するアルカリ成分によって、ベントナイト混合砂が変質することが考えられる。本研究では、長期変質のうちアルカリ成分による変質に焦点を当てている。表-1に供試体の物性値および状態を示す。

2. 1 試験方法

実験に用いたベントナイトはクニミネ工業製のクニゲルV1であり、層間イオンはNa型である。このベントナイトと珪砂をベントナイト混合率を10, 20, 30%となるように混合して $0.9 \sim 0.95 \rho_{dmax}$ 、最適含水比状態で締

表-1 試料の物性値および状態

物性値		供試体の状態				
配合率	10~30	状態	通水期間	S_r	e_c	層間イオン
G_s	2.655~2.653	締固め	0	64.0	0.512	Na型
w_{opt}	11.2~12.0	飽和(Na型)	158	100	0.510	Na型
		Ca置換	1274	97.6	0.523	Ca置換型 (置換率94.9%)

固めを行った。(i) 締固め供試体：所定の配合、乾燥密度となるよう静的に締固めた供試体を対象に試験を実施。

(ii) 飽和供試体：カラム容器に所定の配合、乾燥密度となるよう静的に締固めた供試体の下部から脱気水を最長6ヶ月間浸透させ、飽和化させた供試体を対象に試験を実施。(iii) Ca置換供試体：セメント系材料からのアルカリ成分によるベントナイト混合砂の変質を模擬するため、(ii)と同様の手順で作製された供試体に、Ca(OH)₂水溶液（一部、CaCl₂水溶液）を最長約4年間浸透させた供試体を対象に試験を実施。ベントナイトの層間イオンはCa置換型（以降、順に締固め供試体、飽和供試体、Ca置換供試体と称す）。具体的な実験方法等については参考文献1)~3)を参照されたい。

2. 2 三軸圧縮試験

せん断特性、変形特性を把握するために、排水排気、側圧一定の三軸圧縮試験を行った。供試体寸法は、上記(i)が $d=5\text{cm}$, $h=10\text{cm}$ 、(ii)および(iii)は $d=5\text{cm}$, $h=11\text{cm}$ である。せん断速度はベントナイトの低透水性を考慮し、0.005%/minで実施した。

3. 実験結果

図-1は、一連の実験で得られた供試体の飽和度と通水期間の関係を示したものである。所定の動水勾配 ($i=363$) を与え供試体下部より脱気水を浸透させることで、概ね2~3ヶ月（実線）で供試体が飽和してい

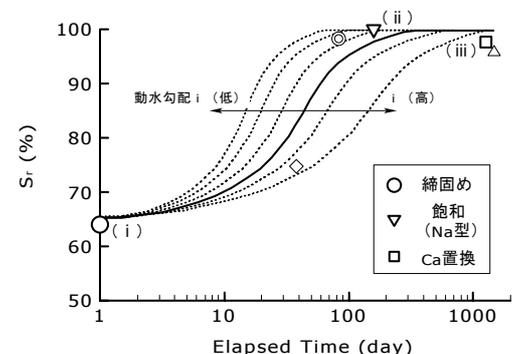


図-1 飽和度と浸透期間の関係

キーワード：ベントナイト混合砂、飽和度、強度特性、Ca置換

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 TEL：0836-85-9344 URL：http://geotech.civil.yamaguchi-u.ac.jp

ることが認められる。この期間は与えた動水勾配の大きさによって変化するものと考えられる。実際の処分施設で緩衝材が飽和するのにおよそ100年程度という評価結果がある⁵⁾。図-2は上述した各状態での三軸圧縮試験結果を応力-ひずみ関係にまとめたものである。図より、締固め供試体においては応力-ひずみ関係はせん断初期に急勾配でピーク強度を示した後、一定の割合で軸差応力が低下している。一方、飽和供試体はせん断初期の勾配の立ち上がりも緩やかとなり、軸ひずみの発達に伴って軸差応力が緩やかに増加している。また、Ca置換供試体は飽和度が約100%と高いにも関わらず、せん断初期の勾配、軸差応力が飽和供試体よりも高く発揮されている。これは、Ca分により砂骨格の間にセメンテーションが発現し、高い強度を発揮したものと推察される。また、体積変化に着目すると、(i) → (iii)へと供試体の飽和度、層間イオンの変化に伴いダイレイティブな挙動からコントラクティブな挙動へと変化していることがわかる。図-3は最大軸差応力と透水期間の関係を示したものである。ベントナイト混合砂が飽和することでその強度は一旦低下するものの、セメント系材料からのアルカリ成分の溶出によってベントナイト混合砂の性質が変質(Ca置換)した場合、長期的に強度は増加するものと考えられる。

4. ベントナイト混合砂の長期力学挙動

図-4は放射性廃棄物処分施設において、ベントナイト混合砂の飽和度と強度特性の経時的な変化を以上の実験結果を踏まえて模式的に示したものである。ここでも、2.1と同様に3つの状態を想定した。まず、(i)では最適含水比で締固められていることから飽和度としては低く、逆に強度は材料としては安定した状態で作製されているので高い状態にある。放射性廃棄物の埋設処分終了後、施設が閉鎖されると地下水位の回復に伴ってベントナイト混合砂は飽和状態へと移行する(ii)。従って飽和度は上昇し、それに伴って強度は低下する。しかしながら、長期的にセメント系材料からのアルカリ成分の溶出によって水分中にCaイオンが存在し、ベントナイトのNaイオンとの間でイオン交換が生じた場合(iii)、セメンテーション効果によってベントナイト混合砂の強度は高く発揮されるものと推察される。なお、Ca型化した場合の懸念事項の一つに透水性の変化が挙げられるが、この件については別途検討する必要がある。

5. まとめ

放射性廃棄物処分施設において、人工バリア材としての適用が検討されているベントナイト混合砂の長期的な挙動の予測を行った。その結果、処分施設閉鎖後は地下水位の回復に伴う人工バリア材の冠水によって強度が低下することが把握された。一方、セメント系材料からのアルカリ成分によって、ベントナイト混合砂の層間イオンがNa型からCa置換された場合は、セメンテーション効果によって強度が高く発揮されることが示された。今後は、人工バリア材の化学的な変質の速度と力学特性の関係を把握をし、より健全な処分システムの確立を目指したい。

【参考文献】1) 兵動ら (1993) : 飽和および不飽和状態にあるベントナイト配合材のせん断挙動について, 第28回土質工学研究発表会概要集, pp.805-806. 2) 佐川ら (2001) : Ca置換されたNa型ベントナイト混合砂の力学特性, 第56回土木学会年次学術講演会概要集 (CD-ROM) 3) 武田ら (2003) : ベントナイト混合砂の三軸圧縮特性に与える飽和度の影響, 第38回地盤工学研究発表会 (投稿中) 4) 佐川ら (2003) : 広範な応力域におけるベントナイト混合砂のせん断特性, 第38回地盤工学研究発表会 (投稿中) 5) 動力炉・核燃料開発事業団 : 高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書 (平成3年度), PNC TN 1410 96-071, p.18.

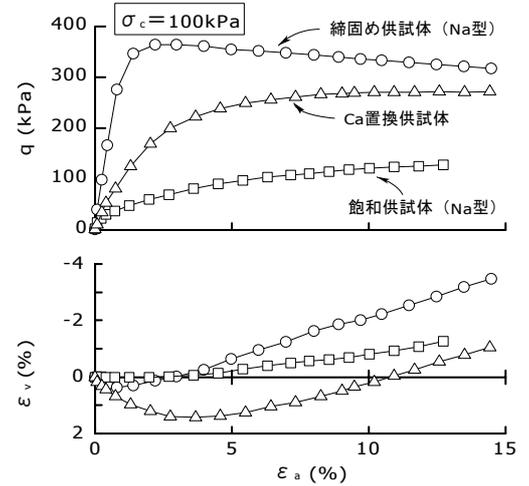


図-2 軸差応力-軸ひずみ関係

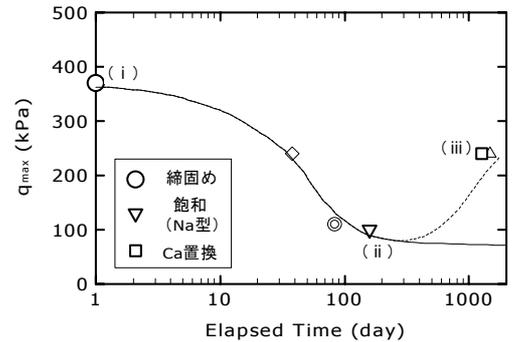


図-3 最大軸差応力と浸透期間の関係

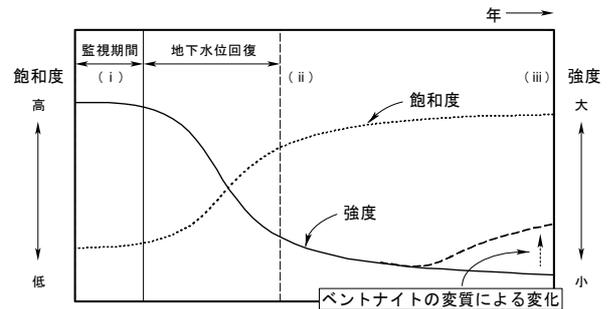


図-4 ベントナイト混合砂の長期挙動の予測図