

長期浸透を受けたベントナイト混合砂の力学特性

山口大学大学院 学生会員○武田栄子 佐川 修
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 村田秀一 吉本憲正
日本基礎技術（株） 非会員 坂本将充

1.はじめに

放射性廃棄物を処分する方法¹⁾として地層処分が考えられている。この方法では放射性廃棄物を格納するコンクリート隔壁と岩盤との間にバリア材を設ける仕様になっており、バリア材としてNa型ベントナイトと砂を混合した材料やセメント系の材料の利用が考えられている。ベントナイト混合砂の受ける環境履歴として、施工段階では不飽和状態であり、その後、地下水の上昇に伴い飽和状態へと移行するものと考えられている²⁾。さらに、長期における問題としてコンクリートから浸出するアルカリ成分によってベントナイトの層間イオンの変化や、それに起因したベントナイト混合砂の性質が変化することが懸念されている³⁾。本報告では、バリア材としてのベントナイト混合砂の力学特性を調べるために、最大乾燥密度に締固めたNa型ベントナイト混合砂供試体に精製水及びCa水溶液を長期間通水することによってNa型不飽和からNa型飽和供試体、さらにNa型飽和からCa型に置換されたベントナイト混合砂に対して三軸圧縮試験を実施し、三軸圧縮特性の経時的な変化の把握を行った。

2.試験概要

2.1 供試体作製方法

今回用いた試料は三河製の珪砂及びNa型ベントナイト（クニゲルV1）である。珪砂とNa型ベントナイトを乾燥重量比で8:2になるように混合し、最適含水比 $w_{opt}=11.62\%$ 、最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.79\text{g/cm}^3$ になるように加水し、練混ぜた後、透水セルに5層に分けて所定の荷重で締固めて供試体を作製した。表-1に供試体の初期状態を、図-1に用いた試料の粒度加積曲線を示す。

2.2 長期浸透方法

Na型ベントナイト供試体は、長期浸透装置を用いて脱気した精製水を浸透させる。Ca置換ベントナイト供試体はNa型ベントナイト混合砂に2種類のCa水溶液を浸透させることで作製した⁴⁾。長期間の浸透となるため圧力源として窒素ガス(N_2)による圧力を負荷し浸透させている。

2.3 試験方法

浸透期間の異なるNa型ベントナイト混合砂及びCa置換供試体の力学特性の把握を行うために、緩速三軸圧縮試験機を用いて試験を行った。所定の拘束圧まで等方圧縮した後側圧一定排水条件でせん断試験を行った。ひずみ速度 $0.005\%/min$ 、拘束圧 100kPa 及び 200kPa 一定で行った。

表-1 供試体の初期状態

Na型ベントナイト供試体				
供試体 No.	通水期間 (日)	拘束圧 (kPa)	飽和度 (%)	Ca置換率 (%)
No.1	83	100	98.3	—
No.2	104	200	98.1	—
No.3	135	200	99.9	—
No.5	38	100	74.7	—
No.9	27	200	89.8	—
No.13	207	200	98.9	—
No.16	158	100	100	—
締固め	0	100	70.1	—
締固め	0	200	65.9	—

Ca置換供試体				
供試体 No.	通水期間 (日)	拘束圧 (kPa)	飽和度 (%)	Ca置換率 (%)
No.9	1475	100	95.8	86.3
No.12	1627	200	95.4	95.3
No.13	1274	100	97.6	94.9
No.15	1256	200	96.1	94.0

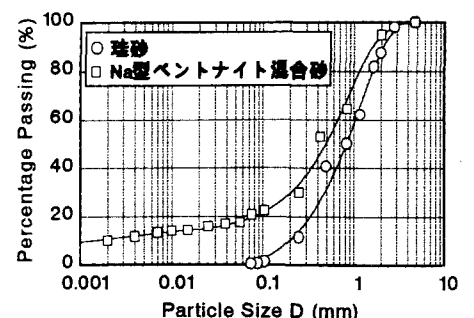


図-1 粒径加積曲線

3. 結果及び考察

図-2はNa型ベントナイト供試体の拘束圧の違いによる応力比-ひずみ関係を示している。 $\sigma_c=100\text{kPa}$ の結果より飽和度が高くなるにつれて応力比は顕著に低下している。また、飽和度が90%以上になると類似した応力比を示すことが分かる。 $\sigma_c=200\text{kPa}$ の結果は、 $\sigma_c=100\text{kPa}$ と比較していずれの飽和度においても同条件の応力比は低いことが分かる。Na型ベントナイトは拘束圧依存性がある。図-3はCa置換された供試体の拘束圧の違いによる応力比-ひずみ関係を示している。Ca置換された供試体は、飽和度及び拘束圧の大きさに関わらず類似した挙動と応力比を示し拘束圧依存性は認められない。図-4は最大応力比 $\eta_{\max}$ と通水日数の関係を示している。通水日数が長くなると最大応力比が低くなっているが、通水日数が約1年経過すると最大応力比が高くなっている。すなわちNa型からCa置換にかかわることにより強度が高く発揮されていることが分かる。これはベントナイトの層間イオンがNaイオンからCaイオンに置換されることによりセメンテーション等に類似した効果がもたされることが原因と考えられる。また、粘性土でCaイオンを含むことによって発揮されるセメンテーション効果などにより強度が増加することが報告されている⁵⁾。図-5は放射性廃棄物性分場においてベントナイト混合砂の受ける環境履歴を概念的に示したものである。施工管理期間は飽和度は低く、強度は高い。管理期間後地下水位の回復によりバリア材も不飽和から飽和状態に変化する。飽和状態での強度は地下水の化学成分に応じて変化するものと考えられる。水分中にCaイオンが存在するとセメンテーション等により強度が発揮されと考えられる(図-5;実線)。水分中にCaイオンが存在しないと強度はそのままか、あるいは低下すると考えられる(図-5;破線)。

4. まとめ

1) 応力比はNa型供試体では拘束圧依存性があるがCa置換された供試体は拘束圧依存性が認められない。

2) Na型ベントナイト混合砂は飽和度の上昇に伴って強度は低下し、セメンテーション効果等によりNa型ベントナイトがCa置換されると強度が発揮される。

<参考文献>

- 1) 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次とりまとめ一分冊2地層処分の工学的技術，JNCTN400 99-022，1999
- 2) 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），PNCTN1410 92-081，pp.3-24，1992
- 3) 三原ら：ベントナイト系緩衝材のコンクリート間隙水による長期変質の基礎研究，土と基礎，Vol46，No.10，pp.31-34，1998
- 4) 佐川ら：ベントナイト砂混合土のせん断特性に及ぼす長期浸透の影響，第37回地盤工学研究発表会，pp.409-410，2002
- 5) 中村ら：炭酸カルシウムが海底土のせん断強度に及ぼす影響（第三報），第30回土質工学研究発表会，pp.645-646，1995

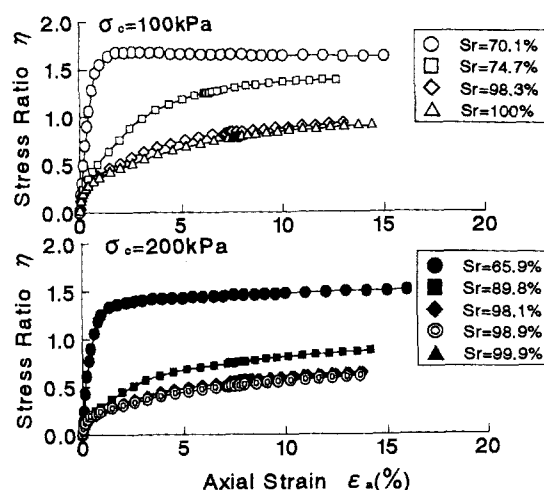


図-2 Na型応力比-ひずみ

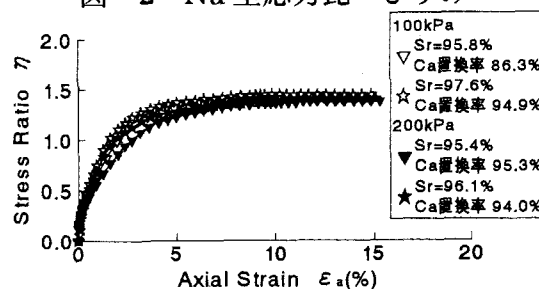


図-3 Ca置換応力比-ひずみ

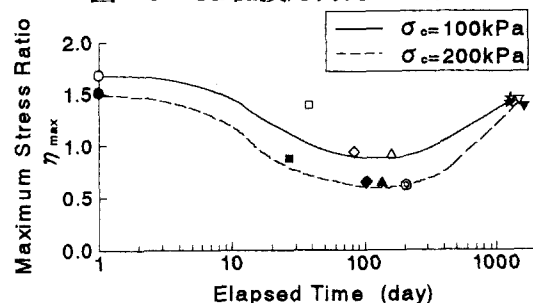


図-4 最大応力比-通水日数

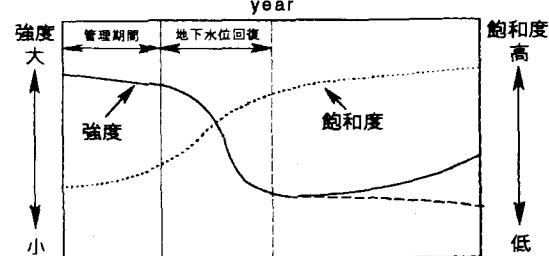


図-5 環境履歴の概念図