

長期浸透を受けた Na 型ベントナイト混合砂の強度特性

山口大学大学院 学 ○佐川 修 山口大学工学部 正 兵動正幸
山口大学工学部 正 中田幸男 山口大学工学部 正 村田秀一
(財) 原子力環境整備促進・資金管理センター 正 藤原 愛

1.はじめに

放射性廃棄物を埋設処分する際に、人工バリアによって放射性核種の移行を遅延させることが求められている。人工バリア材にはセメント系材料の他、緩衝材として膨潤性や止水性に優れた Na 型ベントナイト混合砂の使用が考えられている。しかし、ベントナイト系材料をセメント系材料と複合で用いた場合、セメント系材料から溶出する Ca 成分によってベントナイトに含まれるモンモリロナイトの層間の Na イオンが Ca 置換され、それに起因するベントナイト混合砂の特性の変化が考えられる。筆者らはこれまでに、Na 型ベントナイト混合砂の力学特性を把握するために検討を行っている¹⁾。ここでは、Na 型ベントナイト混合砂（以下、Na 型）にカルシウム水溶液を長期間にわたって通水した供試体（以下、Ca 置換型）について緩速三軸せん断試験を行い、Ca 置換がベントナイト混合砂の力学特性に与える影響について検討を行った。

2.実験概要

2.1 供試体作製及びカルシウム水溶液

粒度調整を行った三河珪砂と Na 型ベントナイト（クニゲル V1）を乾燥重量比で 9:1, 8:2 となるよう攪拌し、表-1 に示す w_{opt} となるよう加水、練混ぜた後、所定の乾燥密度（ $0.95 \rho_{dmax} \sim \rho_{dmax}$ ）となるよう供試体作製用モールド内でタンパーによって突固めて供試体（ $d=5\text{cm}$, $h=11\text{cm}$ ）を作製した。このような供試体に対し、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （Ca イオン濃度：約 600mg/l）及び CaCl_2 （約 6000mg/l）を長期（約 800 日～1500 日）にわたって通水した。通水条件を表-2 に示す。

2.2 長期通水方法

カルシウム水溶液は、図-1 に示す透水セルの下部から窒素ガス（ N_2 ）により加圧通水した。表-3 に長期通水試験終了後における供試体の状態量を示す。表中の Ca 置換率とは、ベントナイト中の Na イオンが Ca イオンに置換されることによって浸出した Na 量、すなわち減少した Na 量と、もとの供試体に含まれていた Na 量との比である。表より、Ca 置換率が概ね 90% 前後であるから、ベントナイト中の交換性陽イオンが Ca 型に変質していることが認められる。

2.3 実験方法

Ca 置換型の強度特性を把握するために、緩速三軸せん断試験を行った。具体的には、所定の拘束圧（ $p_c=100, 200, 400\text{kPa}$ ）まで等方圧縮した後、排水条件の下、ひずみ速度 $0.005\%/min$ でせん断試験を行った。

3.結果と考察

図-2 は、緩速三軸せん断試験より得られた軸差応力

表-1 試料の物理的性質

ベントナイト配合率	10%	20%
G_s	2.655	2.655
$w_{opt}(\%)$	12	11.2
$\rho_{dmax}(\text{g}/\text{cm}^3)$	1.82	1.88

表-2 長期浸透条件

配合率	10%	20%
動水勾配 i	40	450
浸透溶液	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ （一部 CaCl_2 に交換）	

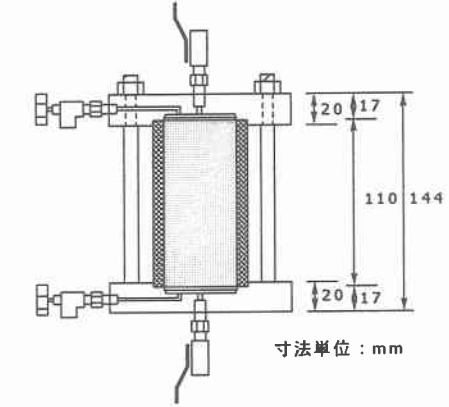


図-1 透水セル

表-3 長期浸透終了後の供試体の状態量

配合率10%						配合率20%					
拘束圧 (kPa)	層間 イオン	Ca置換率 (%)	浸透期間 (日)	S_r (%)	e_c	拘束圧 (kPa)	層間 イオン	Ca置換率 (%)	浸透期間 (日)	S_r (%)	e_c
100	Na ↓ Ca	95.4	1291	91.2	0.537	100	Na ↓ Ca	86.3	1475	95.8	0.537
200		88.9	1117	98.7	0.531	200		95.5	1627	95.4	0.531
400		95.4	1261	93.2	0.560	400		94.9	1139	95.7	0.560
100	Na	—	22	89.4	0.493	100	Na	—	23	95.3	0.474
200		—	25	85.1	0.502	200		—	26	88.6	0.477
400		—	23	85.1	0.495	400		—	21	92.0	0.411

一軸ひずみ-体積ひずみの関係を示したものであり、図中の●、▼プロットは、Na 型の結果である。(a)より、配合率 10%の場合、Ca 置換型は Na 型に比べ、せん断過程の初期剛性が僅かに低くなっているが、いずれの拘束圧においてもほぼ同様の軸差応力-軸ひずみの関係、体積ひずみ-軸差ひずみの関係を示した。また、Ca 置換型、Na 型の体積ひずみは若干の収縮をした後、膨張へと転じており、後述する配合率 20%に比べ密な砂的挙動になっているのがわかる。既往の研究²⁾において、ベントナイト配合率 15%未満であれば、砂の骨格構造に依存した挙動を示すことが実験的に示されていることから、配合率 10%ではせん断特性に及ぼす Ca 置換の影響は小さく、類似した挙動を示したものと考えられる。(b)は、配合率 20%における軸差応力-軸ひずみ-体積ひずみの関係である。軸差応力-軸ひずみ関係では、Ca 置換型、Na 型とも拘束圧の増加にともない軸差応力が大きくなっているが、高拘束圧 ($p_c=400\text{kPa}$)において Ca 置換型の軸差応力が明らかに大きくなっている。体積ひずみ-軸ひずみ関係では、Na 型の場合、いずれの拘束圧においても膨張挙動を示しているのに対し、Ca 置換型の $p_c=100\text{kPa}$ では収縮から膨張へと転じ、 $p_c=400\text{kPa}$ では収縮挙動が卓越しているのがわかる。これは、Ca 置換により供試体の透水性がよくなり³⁾、供試体中の間隙水が排水され収縮挙動を示したものと考えられる。図-3は、それぞれ各供試体の排水条件下での破壊包絡線をまとめたものであり、(a)は配合率 10%、(b)は配合率 20%の結果である。(a)より、 $q-p$ 空間の破壊包絡線は、配合率が 10%であれば Ca 置換の影響を少なく、ほぼ直線的に表すことができる。配合率 20%では、Na 型はベントナイト含有量が増加したことによって粘性土的な強度特性が付加されて、破壊包絡線の勾配が緩やかになったと考えられる。一方、Ca 置換供試体は、高い拘束圧では Na 型よりも強度の増加が見られる。この原因として、前述した透水性がよくなったために砂質土的な挙動に移行したこと、あるいはこれに起因して圧密が進行し、強度が増加したものと考えられる。

4.まとめ

本研究では、Na 型ベントナイト混合砂にカルシウム水溶液を長期にわたって浸透させ、層間の Na イオンを Ca イオンに置換させるとともに、緩速三軸せん断試験を行い、強度特性の把握を行った。その結果、ベントナイト配合率 10%においては、Ca 置換の影響は少なく砂質土的な挙動を示すことがわかった。配合率 20%においては、Na 型と Ca 置換型ではせん断挙動が異なり、Ca 置換による強度特性に配合率依存性がみられた。

本研究は、経済産業省からの委託により実施した研究成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 佐川ら：佐川他(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 回年土木学会年次学術講演会概要集(CD-ROM)
- 2) 谷澤他(1996)：ベントナイト・砂混合土の力学特性，第 31 回地盤工学研究発表会講演集，pp.333-334
- 3) 今村他(1996)：ベントナイト・砂混合土の化学的安定性，第 31 回地盤工学研究発表会講演集，pp.331-332

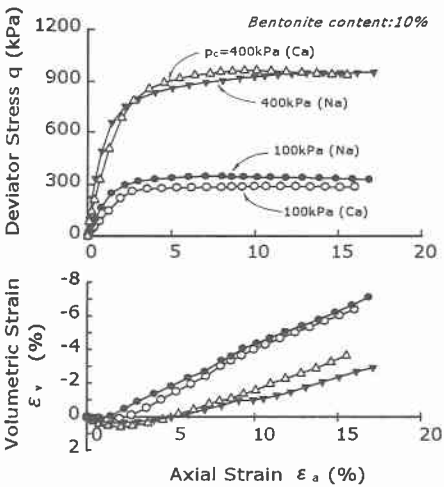


図-2 (a) 応力-ひずみ関係 (配合率 10%)

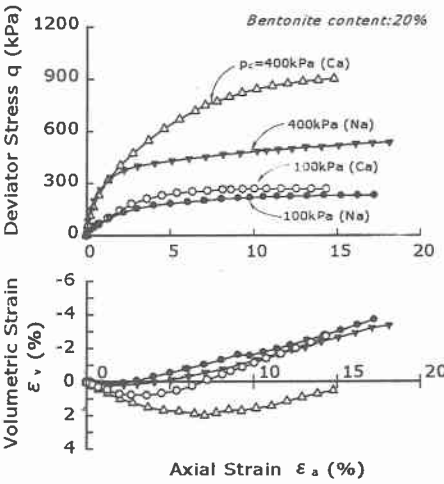


図-2 (b) 応力-ひずみ関係 (配合率 20%)

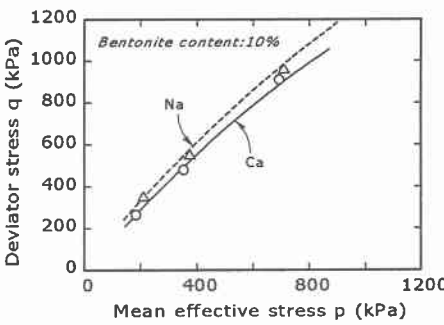


図-3 (a) 破壊包絡線 (配合率 10%)

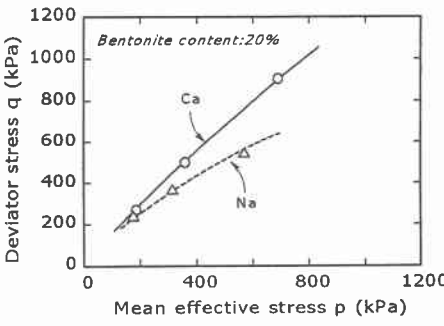


図-3 (b) 破壊包絡線 (配合率 20%)