

Ca置換過程におけるベントナイト混合砂のせん断特性

山口大学大学院 学○華本将光 佐川 修 丸岡雄一郎
山口大学工学部 正 兵動正幸 中田幸男 吉本憲正

1.はじめに

低・中レベル放射性廃棄物を地層処分する際に、放射性廃棄物からの有害物質漏洩を防止する目的で、コンクリート製躯体やベントナイト系充填材による多重バリアシステムの適用が有望視されている¹⁾。多重バリアシステムは超長期に渡るバリア性能が要求されているが、処分施設の地下環境条件によって人工バリア材は経年的に変質し、バリア性能等の諸特性に影響を及ぼすことが考えられる。一例として、ベントナイト充填材のNa型ベントナイトの層間イオン(Na^+)がCa置換され、Ca型になることが指摘されている²⁾。このため、Ca置換されていく過程でのベントナイト混合砂の力学特性を把握することは重要であるが、この現象に着目した研究例は少なく、知見に乏しいのが現状である。本研究では、予めCa型へと人工的に置換されたベントナイト（以後Ca型ベントナイトと称す）とNa型ベントナイトを種々の割合で混合して三軸圧縮試験を行うことにより、Ca型への変質過程を模擬したベントナイト混合砂のせん断特性の把握を行うものである。

2.地層処分における地下環境条件

図-1は、放射性廃棄物を地層処分した場合の処分施設の地下環境条件を模式的に示したものである。ベントナイト系充填材は、施工時は最適含水比状態で締固められ不飽和状態である。監視期間の終了後、地下水位の回復に伴い、ベントナイト系充填材は飽和していく。この期間はおよそ100年程度という調査報告がある³⁾。飽和されるまでの期間が長いことから、この期間におけるベントナイト系充填材のミクロ的な変質を検討しておくことは、処分システムの健全性を評価する上で重要であると考えられる。本研究では、実験条件として表-1、あるいは表-2に示すように層間イオンの異なるベントナイトの混合割合および、飽和度をそれぞれ変化させ検討を行った。

3.供試体作製方法

実験に用いた試料は、予め粒度調整を行った珪砂とNa型ベントナイト（クニゲル V1）および、Na型ベントナイトの層間イオンを人工的にCa型へと置換させたCa型ベントナイトである。珪砂とベントナイトは乾燥重量比で8:2となるように混合した。本研究では、Ca置換されていく現象を模擬するために、上述したNa型ベントナイトとCa型ベントナイトを表-1に示す割合（乾燥重量比）で混合した（以後Ca混合率と称す）。混合した試料は目標の飽和度となるよう加水し、恒温状態で12時間以上養生させた。その後、目標の乾燥密度となるようモールド内に5層に分けて試料を投入し、静的な荷重を負荷させて締固めた（以後、締固め供試体と称す）。また、これとは別に最適含水比で締固め、30日間精製水を浸透させ飽和させた供試体（以後、通水供試体と称す）について実験を行った。

4.実験方法及び試験条件

ベントナイト混合砂のせん断強度特性に及ぼす飽和方法の影響を把握するため、試験方法の簡便な一面せん断試験を飽和度100%とした締固め供試体と通水供試体に対して実施した。試験条件は、垂直応力200kPaの定圧状態で、せん断速度0.1mm/minで行った。また、種々の飽和度の締固め供試体を用いて三軸圧縮試験を行った。試験条件は、拘束圧200kPa、

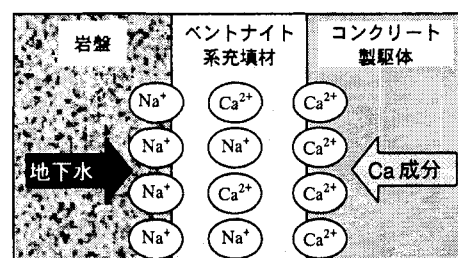


図-1 処分施設における地下環境条

表-1 Caベントナイト混合率

Ca混合率(%)	0	20	50	80	100
Na型ベントナイト(%)	100	80	50	20	0
Ca型ベントナイト(%)	0	20	50	80	100

表-2 供試体作製条件

		三軸圧縮試験		一面せん断試験	
		締固め		通水	締固め
Ca混合率(%)		0,20,50,80,100			
供試体寸法	h (cm)	10		2	2
	d (cm)	5		6	
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)		1.80		1.64	
飽和度S, (%)		75,90,100		100	

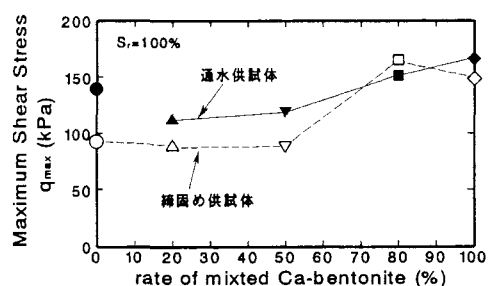


図-2 最大せん断応力とCa混合率の関係

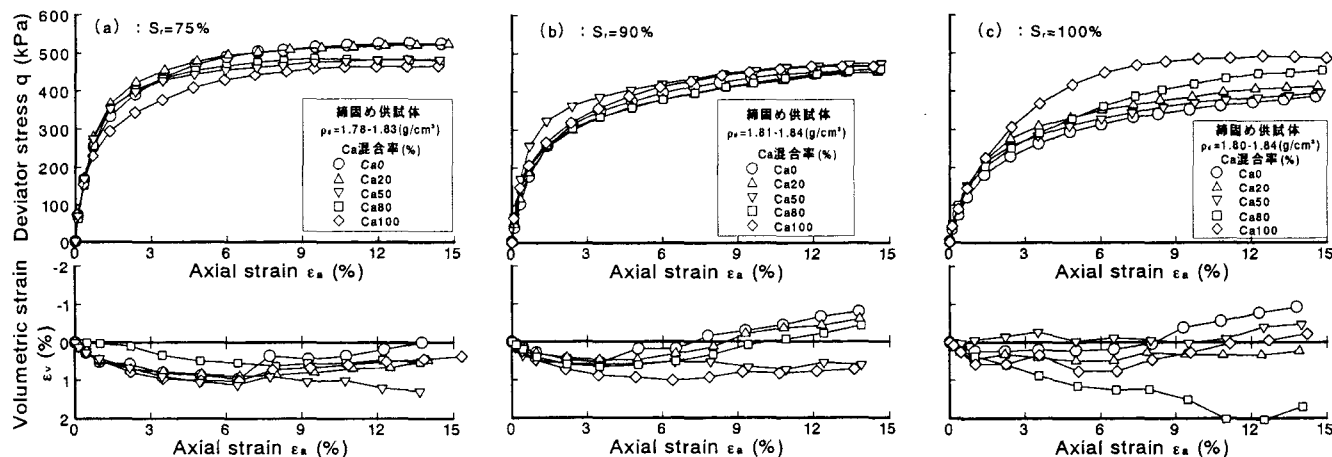


図-3 応力-ひずみ関係 (左から $S_r=75\%$, 90% , 100%)

ひずみ速度をベントナイトの低透水性を考慮して $0.005\%/min$ とし、側圧一定排水排気条件で行った。

5. 実験結果と考察

図-2 に、一面せん断試験より得られた通水供試体、締固め供試体の最大せん断応力と Ca 混合率の関係を示す。これより通水供試体、締固め供試体ともに Ca 混合率の増加に伴い、強度の増加といった右上がりの傾向が見られ、飽和方法によらず類似した強度特性を示していることが認められる。図-3 は、三軸圧縮試験より得られた応力-ひずみ関係を飽和度別に示したものである。 $S_r=75\%$ では、Ca 混合率の増加によって軸差応力が低下していることが分かる。体積変化に着目すると、どの Ca 混合率においても収縮挙動を示していることが分かる。 $S_r=90\%$ では、Ca 混合率に大小によらず軸差応力に大きな変化は見られない。体積変化に着目すると、Ca 混合率の増加に伴い収縮挙動が卓越している事が分かる。 $S_r=100\%$ を見みると、Ca 混合率が増加すると軸差応力が高くなっていることが分かる。体積変化に着目すると $S_r=90\%$ と同様に Ca 混合率の増加に伴い収縮挙動が卓越している事が分かる。

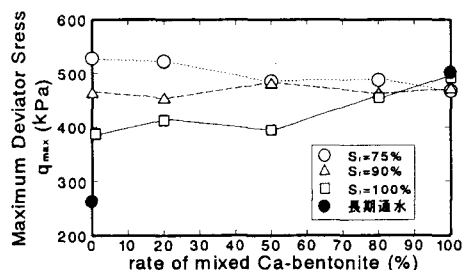


図-4 最大軸差応力-Ca 混合率の関係

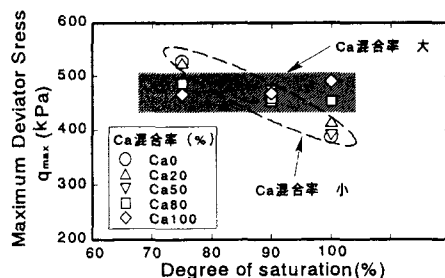


図-5 最大軸差応力-飽和度の関係

図-4 に最大軸差応力-Ca 混合率の関係を示す。図中には、佐川ら⁴⁾の研究結果(●)を併せて示している。これより、 $S_r=100\%$ で Ca 混合率が低い領域では、軸差応力に有意な差は見られないものの、Ca 混合率が 50%以上になると軸差応力が増加していることが分かる。また、既往の研究結果である長期浸透供試体と比較して、Ca 混合率 100%は同等の強度が得られた事が分かる。一方 $S_r=75\%$ は Ca 混合率の増加に伴い軸差応力の低下が分かる。 $S_r=90\%$ では Ca 混合率の違いによらず軸差応力の差は見られないことが分かる。また、図-5 は最大軸差応力-飽和度の関係を示す。これより Ca 混合率の高いものは、飽和度による強度変化は小さいものの、Ca 混合率が低い場合、飽和状態によって異なる強度特性を示す事が分かる。つまり飽和度の低いコンクリート躯体に近い場所では、施工後は一定の強度を保っているものの Ca 置換が飽和よりも先に進展すると、強度が低下する可能性がある。また飽和度の高い岩盤に近い場所は、施工後地下水の上昇に伴い一旦強度は下がるものの Ca 置換に伴い強度は増加すると考えられる。

6. まとめ

Ca 混合率が低いと飽和度の増加に伴いせん断強度は低くなる。しかし、Ca 混合率が高くなると飽和度に関係なく一定のせん断強度であることが分かった。

【参考文献】1)田中知：放射性廃棄物の処分,土と基礎,Vol.46 No.10,1998. 2)黒沢ら：高アルカリ性条件でのベントナイトの変質とコロイドろ過効果に及ぼす影響,日本原子力学会論文誌,2002. 3)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,1992. 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高演習, 2002.(On CD-ROM)