

Ca 置換された Na 型ベントナイト混合砂の力学特性

山口大学工学部	正 会 員	兵動正幸	村田秀一
山口大学工学部	正 会 員	中田幸男	吉本憲正
山口大学大学院	学生会員	○ 佐川 修	
住友金属鉱山（株）	正 会 員	水落洋一	
（財）原子力環境整備促進・資金管理センター		正 会 員	徳山清治

1.はじめに

近年，放射性廃棄物を処分する際の人工バリアの一つに，止水性に優れたベントナイト系材料を充填する概念が提案され，多くの機関で充填材の力学特性に関する研究¹⁾が行われている．放射性廃棄物を処分する場合，非常に長期間にわたって施設の安定性を確保する必要があるが，充填材に Na 型ベントナイトを使用した場合，ベントナイト中の Na イオンがコンクリートから溶出される Ca イオンに置換されることによって，充填材の力学特性が変化することが考えられる．本報告は，Na 型ベントナイト混合砂を人工的に Ca 置換させた供試体を用いて各種力学試験を行い，変質後のベントナイト混合砂の力学特性について検討を行うものである．

2.試料及び置換方法

試験に用いた供試体は，珪砂（粒径 0.1～2.0mm）とベントナイト（クニゲル V1）を乾燥重量比で 90：10（以下 Na10%）及び 80：20（以下 Na20%）となるよう混合し，最適含水比になるよう加水，練混ぜた後，供試体作成用モールド（三軸用：d=50mm，h=110mm，標準圧密用：d=60mm，h=25mm）内で所定の乾燥密度（ $0.95\rho_{dmax} \sim \rho_{dmax}$ ）となるようタンパーで突き固めて作成した．締固め試験より求めた供試体の最適含水比は $w_{opt}=12\%$ （Na10%）及び 11.2% （Na20%），最大乾燥密度はそれぞれ $\rho_{dmax}=1.82, 1.88\text{g/cm}^3$ であった．置換方法はカルシウムイオン水溶液を窒素ガスで加圧し通水することで行った．以下，Na10%供試体が Ca 置換されたものを Ca 置換 10%，Na20%供試体が Ca 置換されたものを Ca 置換 20%と称する．Ca 置換は平成 8 年度より開始し，Na10%及び標準圧密試験用供試体は概ね置換が完了している．ベントナイト含有量の多い Na20%供試体の置換率は現在約 50%である．当初，Ca 置換に用いた水溶液は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ であったが，体積の大きい三軸試験用供試体では Ca 置換の進行状況が標準圧密試験用供試体に比べ遅かったため，Ca イオン濃度の高い CaCl_2 水溶液に変更して Ca 置換を継続して行っている．また，標準圧密試験用供試体では溶液の違いによる劣化の影響を見るために，通水当初より CaCl_2 水溶液による Ca 置換供試体も作成した．

3.試験方法

Ca 置換後の供試体の力学特性の把握を行うために，標準圧密試験（JIS A 1217），緩速三軸せん断試験及び等方圧縮・除荷試験を行った．緩速三軸せん断試験は所定の拘束圧まで等方圧縮した後，側圧一定排水条件下でせん断試験を行った．ひずみ速度はベントナイト混合砂の低透水性を考慮し $0.005\%/\text{min}$ で行った．等方圧縮・除荷試験は，平均主応力 p を 19.6kPa から 294.3kPa まで段階的加圧し，その後 19.6kPa まで除荷した．

4.実験結果

図 1 は標準圧密試験より得られた Ca 置換 10%供試体の $e\text{-log } p$ 曲線である．また，図中には比較のために Ca 置換前の状態，すなわち Na10% 供試体の試験結果（○）も併せて表示してある．これより，間隙比が Ca 置換により増大していることが分かる．また，除荷過程における間隙比の復元量は Ca 置換供試体の方が Na10%に比べ小さく，間隙比がほとんど変化してないことが見てとれる．これは，Ca

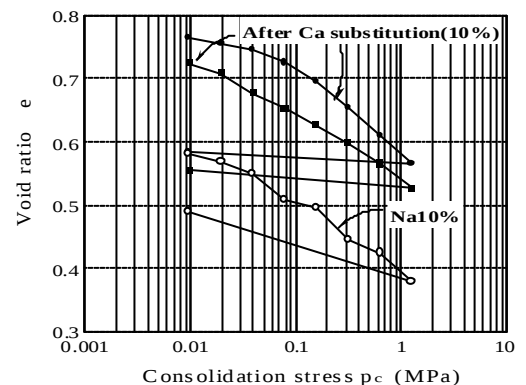


図 1 Ca 置換後の $e\text{-log } p$ 曲線

キーワード：Na 型ベントナイト混合砂，Ca 置換，圧縮特性，せん断特性，経年変化

連絡先：〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1，山口大学工学部，Fax:0836-85-9301/Tel:0836-85-9344

置換によって間隙比が増大し、その結果として弾性的な復元量が小さくなったためと思われる。図2は置換水溶液の違いがベントナイト混合砂の圧密特性に及ぼす影響を示したものである。Ca置換後の間隙比は相対的に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液で置換させた供試体の方が大きくなっていることが分かる。また、間隙比も緩やかに減少している傾向が見てとれる。 CaCl_2 水溶液を用いた供試体は圧密過程において間隙比が直線的に減少している。除荷過程における復元量は置換水の影響が見られず、同程度である。図3は緩速三軸排水せん断試験により得られた Ca 置換 10% 供試体の軸差応力 q - 軸ひずみ ε_a - 体積ひずみ ε_v の関係を示したものである。図中には過去に行った²⁾ Na10% 供試体の結果 (●及び■) も併せて表記してある。この図から、Ca 置換供試体のせん断初期の軸ひずみの増加量が、Na 供試体と比べて大きいこと、つまり Ca 置換供試体の方が低い剛性を有していることがわかる。ピーク強度は、拘束圧 98.1kPa のピーク強度は Na 供試体の方がやや高いものの、拘束圧 294.3kPa の Na 供試体のピーク強度は、196.2kPa の Ca 置換供試体のそれをやや上回る結果となっている。これは、Ca 置換供試体が Na 供試体に比べ低い粘着力と高い内部摩擦角を有していることを示唆している。さらに、ピーク時の軸ひずみ量は、Ca 置換供試体の方が大きくなっていることがわかる。体積ひずみに関しては、Na10% (■) では拘束圧 98.1kPa の結果では負から正のダイレイタンスを示すが、拘束圧 294.3 kPa の結果では負のダイレイタンスのみが生じている。一方、Ca 置換供試体では全ての供試体で負から正のダイレイタンス挙動を示している。図4は等方圧縮載荷・除荷試験における平均主応力 p と体積ひずみ ε_v の関係を示したものである。これより、Ca 置換供試体は Na10% 供試体と比較して、同一の平均主応力下においては体積ひずみが大きい結果となった。

5.まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

1. 標準圧密試験より、Ca 置換供試体は Na 型に比べ間隙比が大きくなり、除荷過程における体積復元量は小さくなる。
2. 緩速せん断試験より、Ca 置換供試体はせん断初期の剛性が低く、体積ひずみに関しては、いずれの拘束圧においても負から正のダイレイタンスを示した。
3. 等方圧縮載荷・除荷試験より、Ca 置換供試体は同一の平均応力下において Na 型よりも体積ひずみが大きい結果となった。

【参考文献】

- 1) 村田秀一：大深度を想定した人工的な地盤材料の力学的長期性能の評価に関する研究，平成7年度科学研究費補助金研究成果報告書(1996)
- 2) 黒谷和男：不飽和ベントナイト混合砂における力学特性と支持力特性，平成11年度山口大学修士論文(1999)

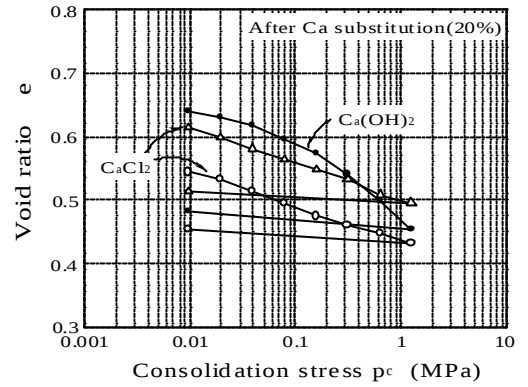


図2 e-logp 曲線 (Ca 置換 20%)

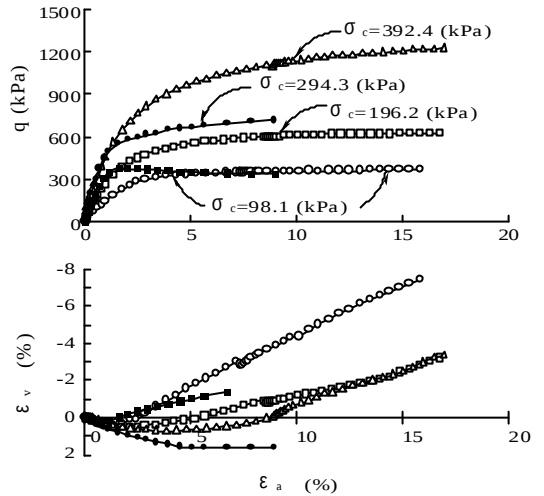


図3 Ca 置換 10% 供試体の $q - \varepsilon_a - \varepsilon_v$ 関係

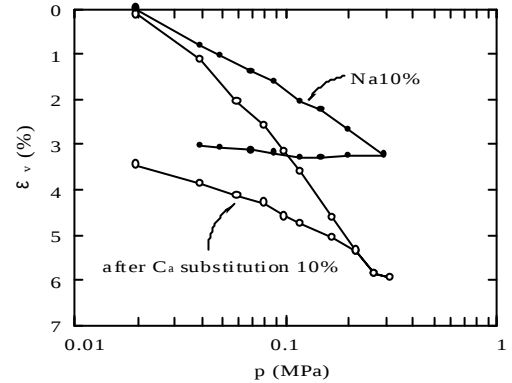


図4 平均主応力 p - 体積ひずみ ε_v の関係