

## ベントナイト混合砂の圧縮特性に関する一考察

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

## 1.はじめに

放射性廃棄物処分に關する取り組みが、日本のみならず欧米各国で行われている。放射性廃棄物は放射能レベルによって低レベル、高レベル放射性廃棄物に分類されるが、いずれも地層に埋設処分することを前提とした技術開発が行われている<sup>1)</sup>。その際、放射性廃棄物は天然バリアと人工バリア材によって隔離される。現在、人工バリア材としてはベントナイトと砂を混合したベントナイト混合砂の適用が考えられているものの、これらバリア材としてのベントナイト混合砂に關する知見は少ないのが現状である。本研究では、定ひずみ速度圧密試験、等方圧縮試験を行い、ベントナイト混合砂の圧縮特性について言及するものである。

## 2.試験概要

## 2.1 試料

実験には粒度調整された珪砂とベントナイトを乾燥重量比で 9:1, 8:2, 7:3 となるよう混合し、 $w_{opt}$ ,  $0.9 \sim 0.95 p_{dmax}$  となるよう静的に締固めたものを使用した。用いたベントナイトは以下の 2 種類である。1 つはクニミネ工業製のベントナイト（クニゲル V1）であり、層間イオンは Na 型である。また、この Na 型ベントナイトをバッチ処理し、層間イオンを Ca 型へと変化させたベントナイトを用いた。さらに、Na 型ベントナイト混合砂に Ca 飽和水溶液を長期間浸透させることによって、モンモリロナイト結晶層間のイオンを Ca 型へと置換させた供試体を作製した（以降、Na 型供試体、バッチ Ca 型供試体、Ca 置換供試体と称す）。表-1 に試料の物理的性質、図-1 に粒度曲線を示す。

## 2.2 実験方法

ベントナイト混合砂の圧縮特性を把握するため、定ひずみ速度圧密試験および等方圧縮試験を実施した。定ひずみ速度圧密試験には Na 型供試体、バッチ処理 Ca 型供試体を用いた。いずれも供試体を試験機にセットした後、背圧によって飽和させ B 値=0.95 以上の供試体に対して実験を行った。等方圧縮試験には Na 型供試体、Ca 置換供試体をそれぞれ用いた。供試体の寸法は前者が  $h=2\text{cm}$ ,  $d=6\text{cm}$ , 後者が  $h=10 \sim 11\text{cm}$ ,  $d=5\text{cm}$  である。

## 3.結果と考察

図-2 は Na 型供試体の  $e-\log p'$  関係を配合率別に示したものである。ベントナイト配合率の増加に伴って圧密曲線は明確な折れ曲がりを示し、その応力域は配合率が多い供試体ほど高い。正規圧密領域における挙動として、配合率 10% では約 300kPa 付近から、配合率 20% では 700kPa 付近から下に凸な曲線へと変化しつつあることが認められる。ベントナイト配合率 30% の場合、10%, 20% 供試体のような下に凸な曲線は示しておらず、間隙比と圧密応力の関係は一義的である。図-3 はバッチ処理 Ca 型供試体の  $e-\log p'$  関係を示したものである。Na 型供試体と同様に、配合率の増加に伴い圧密曲線は明確な折れ曲がり

表-1 試料の物理的性質

| ベントナイト混合砂                          |           |           |          |       |
|------------------------------------|-----------|-----------|----------|-------|
| 配合率                                | 層間イオン     | 10%       | 20%      | 30%   |
| 比重                                 | Na 型      | 2.655     | 2.655    | 2.653 |
|                                    | バッチ Ca 型  | 2.653     | 2.653    | 2.656 |
| $p_{dmax}$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Na 型      | 1.82      | 1.88     | 1.86  |
|                                    | バッチ Ca 型  | 1.94      | 1.92     | 1.93  |
| $w_{opt}$<br>(%)                   | Na 型      | 11.9      | 11.2     | 12.3  |
|                                    | バッチ Ca 型  | 12.8      | 12.3     | 13.3  |
| 珪砂                                 |           |           |          |       |
| 比重                                 | $e_{max}$ | $e_{min}$ | $d_{50}$ | $U_c$ |
| 2.652                              | 0.858     | 0.532     | 0.72     | 3.91  |

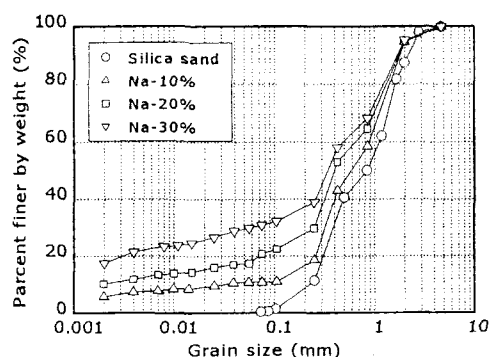
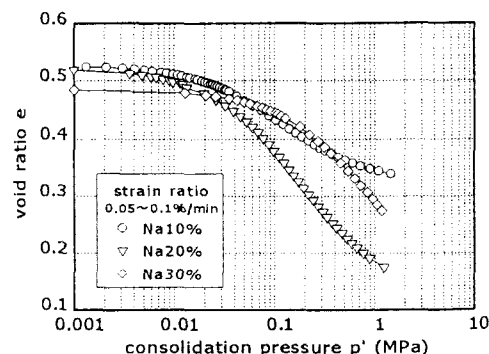


図-1 粒径加積曲線

図-2  $e-\log p'$  関係 (Na 型)

とがわかる。供試体の体積のうち、ベントナイト粒子の体積を間隙とみなし、次式によって砂骨格間隙比  $e_{ss}$  を算出する。

$$e_{ss} = \frac{V_w + V_{sb}}{V_{ss}} \quad (1)$$

ここで、 $V_w$ ：水の体積、 $V_{sb}$ ：ベントナイトの体積、 $V_{ss}$ ：砂粒

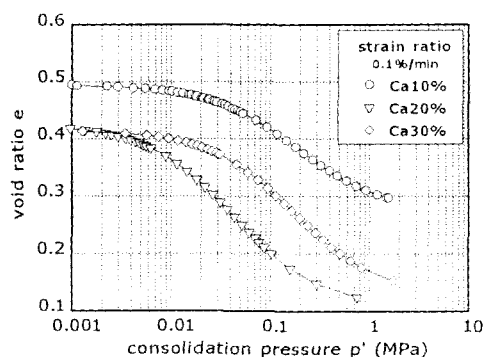


図-3  $e$ - $\log p'$ 関係 (バッチ処理 Ca 型)

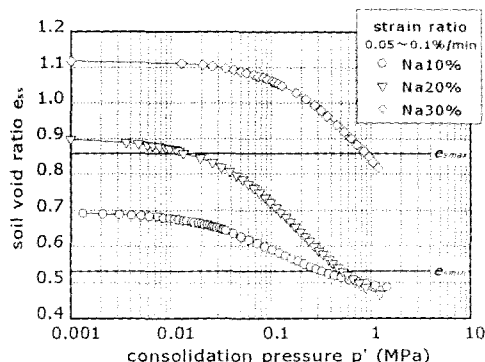


図-4  $e_{ss}$ - $\log p'$ 関係 (Na 型)

子の体積である。 $e_{ss}$ を用いて、図-2、図-3を整理したものが、図-4、図-5である。図中には本実験で用いた粒度調整された珪砂単体の  $e_{max}$ 、 $e_{min}$ を併せて表記している。図より、 $e_{ss}$ が  $e_{min}$ より小さい値となる領域以降で、圧縮曲線が下に凸な曲線へと変遷している様子が認められる。すなわち、ベントナイト混合砂としての圧縮特性は、砂粒子による骨格がより強く形成されるまで ( $e_{ss} > e_{min}$ ) は圧縮性に富んだ挙動を示すものの、砂粒子によって骨格が形成される領域 ( $e_{ss} < e_{min}$ ) では圧縮されにくくなるものと推察される。そのため、圧縮曲線としては下に凸な形状を示したと考えられる。次に、異なる乾燥密度、異なるベントナイト混合砂の圧縮特性を統一的に比較するため、次式により有効ベントナイト密度  $\rho_b$  を算出し、圧縮特性の評価を試みる。

$$\rho_b = \frac{M_b}{(V - V_s)} \quad (2)$$

ここで、 $M_b$ ：供試体中のベントナイトの質量、 $V$ ：供試体の体積、 $V_s$ ：砂の体積である。図-6は、有効ベントナイト密度と圧縮指数の最大値との関係を示したものである。有効ベントナイト密度の増加とともに  $C_{cmax}$  も増加傾向にあることがわかる。また、同配合率となるよう供試体を作製した場合、Na 型供試体の方が圧縮性に富んだ挙動を示すことがわかる。図-7は等方圧縮試験による平均有効主応力  $p'$  と体積ひずみ  $\varepsilon_v$  の関係を示したものである。定ひずみ圧密試験と同様、ベントナイト配合率が増加すると、同じ平均有効主応力に対する体積ひずみ量は小さくなっていることがわかる。また、Na 型供試体に Ca 水溶液を浸透させ Ca 置換させると、圧縮性が增大することがわかる<sup>2)</sup>。このように層間イオンを Ca 水溶液によってゆっくりと置換させると、ベントナイトの内部構造に変化が生じ、圧縮性の増大に寄与したものと推察される。

#### 4.まとめ

本研究で得られた知見を要約すると以下の様である。

- 1) ベントナイト配合率が増大すると圧縮性も高くなるが、砂骨格が形成される領域では圧縮性は抑制される。
- 2) Na 型ベントナイト混合砂に Ca 水溶液を層間イオンを置換させると、圧縮性は増大する。

#### 【参考文献】

- 1) 高橋ら (1998)：高レベル放射性廃棄物処分場の概念設計，土と基礎，Vol.46，No.10，pp.7-9
- 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)

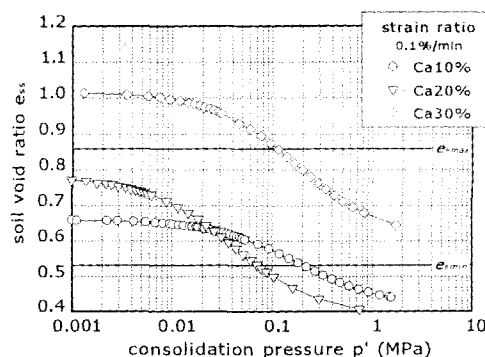


図-5  $e_{ss}$ - $\log p'$ 関係 (バッチ処理 Ca 型)

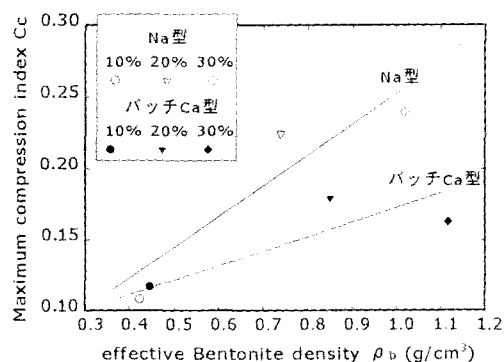


図-6  $\rho_b$  と  $C_{cmax}$  の関係

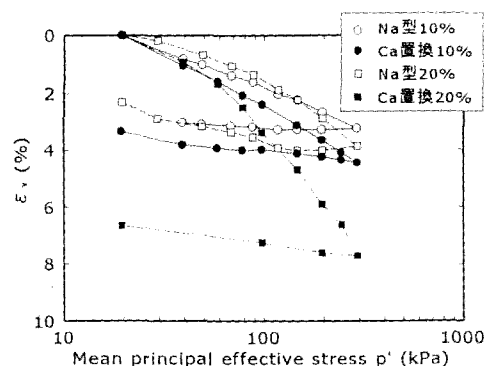


図-7  $p'$ - $\varepsilon_v$ 関係