

コンクリートと接するベントナイト砂混合土の乾燥密度が電気泳動後の ベントナイトのカルシウム型化に及ぼす影響

群馬大学工学部 学生会員 ○渡辺 真樹
群馬大学大学院 学生会員 富澤 奈緒美
北海道大学大学院 正会員 杉山 隆文

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分において、人工バリアとしてコンクリートとともにベントナイト砂混合土を用いるにあたり、コンクリートから溶脱するカルシウムイオンによって、ナトリウム型ベントナイトがカルシウム型化することが懸念される。実際の施工で目標とされるベントナイト砂混合土の乾燥密度は、施工方法、透水係数等を考慮し、 $1.6 \sim 1.9 \text{ g/cm}^3$ とされており、本研究では異なる乾燥密度(1.6 g/cm^3 、 1.8 g/cm^3 、 1.9 g/cm^3)のベントナイト砂混合土を作製し、さらに実際の人工バリアを模擬した複合体で電気泳動試験を行った。各分析により、ベントナイト砂混合土の乾燥密度がベントナイトのカルシウム型化に及ぼす影響を評価した。

2. 実験概要

(1) ベントナイト砂混合土とコンクリートの複合体の作製

ベントナイトはクニゲル V1、砂は最大粒径 1.2mm に調整した陸砂、水は蒸留水を用いた。ベントナイトと砂は質量比を 7 対 3 で混合し、オムニミキサーで練混ぜを行い、練混ぜ後は PE 袋に入れて一晩静置した。翌日、再度練混ぜを行い、締固めを行った。締固め方法は、質量 2.5kg のランマーを高さ 30cm から落下させた。セルにセットした $\phi 100 \times 25 \text{ mm}$ の硬化コンクリートの上面にベントナイト砂混合土を 4 層で突固め、厚さ 65mm とした。その上にステンレススティールの電極を設置、さらにベントナイト砂混合土を 10mm になるように突き固めた。ベントナイト砂混合土の含水比と乾燥密度を表-1 に示す。目標とする乾燥密度が得られるように、含水比、1 層あたりの突固め回数を変化させて、ベントナイト砂混合土の締固め試験を行った。乾燥密度 1.9 g/cm^3 の供試体は、既往の研究¹⁾と同様の作製方法で、含水比は約 15%、突固め回数はコンクリート界面より 1 層目は 200 回、その後の 2~4 層は各 150 回とした。

表-1 ベントナイト砂混合土の含水比と乾燥密度

供試体名	含水比 %	乾燥密度 g/cm^3
Bt16	28.6	1.6
Bt18	22.6	1.8
Bt19	約15	1.9

コンクリートは W/C=55%、s/a=49%、材齢 28 日における圧縮強度は 32.2 N/mm^2 で、普通ポルトランドセメントを用いた。試験時のコンクリートの材齢は、Bt19 が 9 ヶ月半、Bt16 および Bt18 が 19 ヶ月である。

(2) 電気泳動試験概要

図-1 に示すセルを用いて、コンクリート中のカルシウムイオンをベントナイト砂混合土中に電気泳動させた。セルに直流電圧を 15V 印加し、経時的に電流を測定した。積算電気量は、異なる時期に行った Bt19 を用いた複合供試体での試験で得られた $13.0 \times 10^3 (\text{A} \cdot \text{sec})$ を目標とした。

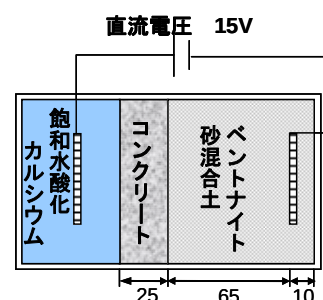


図-1 電気泳動試験装置図 単位 mm

3. 実験結果

(1) 電気泳動試験結果

電気泳動試験中の電流は経時的に減少し、収束した。各複合体における積算電気量、試験期間を表-2 に示す。Bt18 を用いた複合体で試験期間が増加しており、含水比が小さく電気抵抗が大きいと思われる。また、Bt16 および Bt18 を用いた複合体の場合、試験時のコンクリート

表-2 積算電気量

供試体名	積算電気量 $\text{A} \cdot \text{sec}$	試験期間 h
Bt16	13.1×10^3	249
Bt18	12.9×10^3	288
Bt19	13.4×10^3	220

材齢が Bt19 の複合体よりもおよそ 2 倍長いことが、同程度の積算電気量を得るための試験期間が増加した一因と思われる。電気泳動後、ベントナイト砂混合土を回収し、コンクリート界面から約 5mm、その後は、約 10mm ずつスライスし、各分析に供した。コンクリート界面側から 1 層目と称する。

(2) pH 測定結果

各複合体の各層における pH の測定結果を図-2 に示す。また、Bt19 の複合体と同様に作製し、電気泳動試験を行わずに pH 測定したベントナイト砂混合土の pH の平均値は 10.2 であった。すべての複合体で、コンクリート界面側の層より陰極側で pH が高くなる傾向がみられた。水の電気分解により、陰極に水酸基イオンが生成し、アルカリ化したためと考えられる。また、乾燥密度が小さいほどコンクリート界面側と陰極側の pH の差が大きいことがわかる。ベントナイト砂混合土の含水比の違いが影響していると考えられる。

(3) 膨潤力、浸出陽イオン量分析結果

膨潤力比、浸出陽イオン量の関係を図-3 に示す。縦軸は、各層の膨潤力を 6 層目と 7 層目の膨潤力の平均値で除したものである。横軸は、対応する各層のカルシウムイオンとナトリウムイオンの浸出量の比を示す。すべての複合体の、陰極側である 4～7 層目では膨潤力比が 0.8～1.1、浸出陽イオン量比が 0.6～1.0 の範囲に集中して分布した。Bt16 と Bt18 の 1 層目の膨潤力比は 0.4 に減少し、浸出陽イオン量比はそれぞれ 4.6、5.6 と大きい。Bt19 の 1～3 層目の膨潤力比は 0.6～0.8 に減少し、浸出陽イオン量比は 2.4～3.7 となり、陰極側の層より大きくなった。コンクリート界面からカルシウムイオンがベントナイト砂混合土中に移動し、界面側の層で膨潤力が減少したことがわかる。Bt16、Bt18 は、Bt19 と比較して、界面側から 1、2 層について、浸出陽イオン量比が大きくなり、膨潤力も大きく減少する傾向であった。

(4) XRD 分析結果

Bt18 と Bt19 の XRD 分析の結果を図-4 に示す。既往の研究²⁾より、スメクタイト底面間隔からナトリウム型では $2\theta=7.0\sim 7.5^\circ$ 、カルシウム型では $2\theta=5.7\sim 6.0^\circ$ を基準に考察した。Bt19 では 1～3 層目でカルシウム型のピークが確認できた。Bt18 では 1～2 層目で明確なピークが認められないが、3～7 層目と異なりカルシウム型のピークへの移行が推測できる。Bt16 では Bt18 と同様の結果となった。図-3 と比較すると、浸出陽イオン量比が 2.4 以上となった層でカルシウム型のピーク、あるいはカルシウム型への移行がみられることがわかる。

4. まとめ

同程度の積算電気量では、乾燥密度が小さい Bt16 や Bt18 のベントナイト砂混合土を用いた複合体ほど、界面側の 1、2 層のベントナイト砂混合土において、Ca/Na 比がより大きくなり、膨潤力が大きく減少した。

参考文献：

- 1) 富澤奈緒美ほか：コンクリートから溶出するカルシウムイオンによるベントナイト砂混合土の膨潤力の低下に関する実験的研究、No.60、セメント・コンクリート論文集(2006)
- 2) 黒澤進ほか：日本原子力学会和文論文誌、vol.1、No.2、pp.138-142(2002)

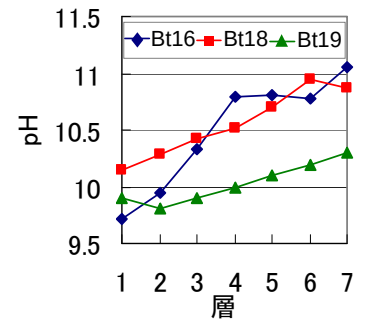


図-2 各層の pH

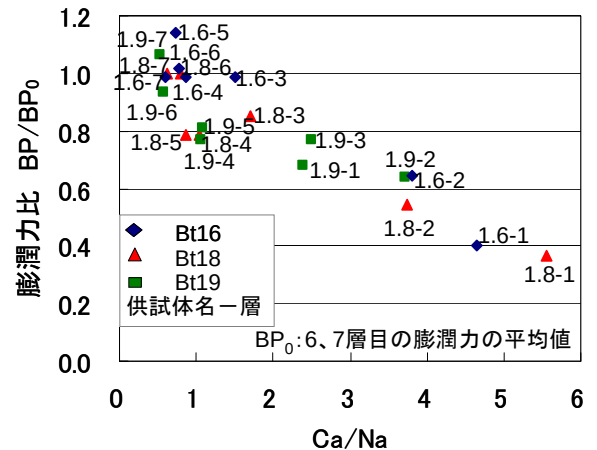


図-3 膨潤力と浸出陽イオンの関係

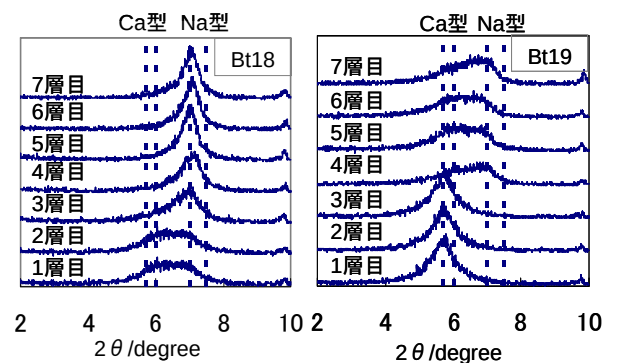


図-4 XRD 測定結果