

粘土粒子内に存在する層間水と物理量 — 炉乾燥温度による物理量（土粒子の密度・含水比・間隙比）の変化 —

（株）竹中土木 正会員 ○白武 寿和，田村 博邦
（株）竹中工務店 正会員 下河内 隆文
核燃料サイクル開発機構 正会員 平井 卓

1. はじめに

ベントナイトには通常の地盤材料中に存在する自由水，吸着水の他，その主成分であるモンモリロナイトが持つ層間水が存在する。通常の地盤工学においては自由水の挙動変化により力学挙動を評価するが，高レベル放射性廃棄物処分事業¹⁾においては，その環境が長期・高圧下条件となるため自由水の排水後遅れて層間水の排水が生じるという様な現象も予想される。よって，高レベル放射性廃棄物処分で緩衝材に用いられる圧縮ベントナイトの長期力学挙動を評価する場合は，自由水の他に層間水の挙動も考慮する必要がある。また層間水を含めた土粒子の間隙を把握する必要があると考える。通常間隙を求める時に用いる土粒子の密度の算定において，地盤工学会基準の試験法²⁾では炉乾燥温度 110℃としているが，図-1 に示す粘土鉱物の示差熱分析曲線よりモンモリロナイトに含まれる層間水あるいは吸着水が十分逸脱していない温度であり，土粒子の密度に層間水あるいは吸着水を含んだ測定をしていると考えられる。本報告では 110℃で残留している可能性のある吸着水あるいは層間水量に関して炉乾燥温度を上げた測定を行い，その残留量を把握すると共に物理量（土粒子の密度，含水比，間隙比）の変化について検討を行った。

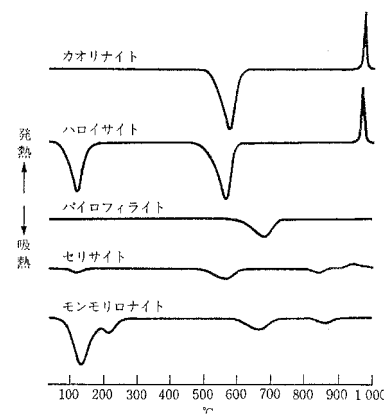


図-1 粘土鉱物の示差熱分析曲線³⁾

2. 試験方法

「土粒子の密度試験」及び「土の含水比試験」において炉乾燥温度を 110℃，130℃，150℃と変化させて検討を行った。用いた試料は，市販品の山形県月布産の「クニゲル V1」（クニミネ工業（株）），米国ワイオミング州産の「スーパークレー」（（株）ホーダージュン），群馬県富岡産の「赤城」（（株）ホーダージュン）と「赤城」の原鉱（以下「赤城原鉱」と記す）の 4 種類を用いた。赤城原鉱を用いたのは緩衝材の長期力学特性評価手法としてベントナイト原鉱のナチュラルアナログ的な評価も有効な手段の一つと考えられ，そのためには原鉱の物理量の検討が必要となるためである。試験方法については，含水比試験に関しては地盤工学会基準²⁾に準拠している。土粒子の密度試験は，基本的には地盤工学会基準²⁾に準拠しているが，小峯の提案手法⁴⁾を取り入れている。ただし，脱気方法については学会基準同様に煮沸で行った。脱気時間は 3.5 時間程度としている。また，赤城原鉱を密度試験に用いるために乾湿作用を加えることにより細粒化を生じさせ，試料を細かくして試験に使用した。試験に用いた試料の質量は小峯の提案に従い 5.0g 程度としている。

3. 試験結果

図-2 に赤城原鉱を用いて実施した含水比試験の結果及び乾燥密度を示す。赤城原鉱では，試料の不均質性により結果にばらつきが生じる可能性も考えられたため，鉱床より採取した試料を 3 つに区分し試験を行った。試験はまず炉乾燥温度 110℃で 96 時間放置し，含水量の変動が安定した状態になったのを確認した上で所定の温度（130℃，150℃）で 24 時間炉乾燥を行った。結果を見ると，炉乾燥温度を 130℃，150℃と上昇させることにより含水比は増加し，これに応じて乾燥密度は減少している。これは図-1 に示す様に炉乾燥温度を上昇させたために，ベントナイトの主成分であるモンモリロナイトに含まれる層間水あるいは吸着水の逸脱が生じたためと考えられる。すなわちモンモリロナイトを含有するベントナイトにおいては，通常の 110℃乾燥

キーワード：ベントナイト，吸熱反応，吸着水，層間水

連絡先：〒104-8234 東京都中央区銀座 8-21-1 TEL:03-3542-6321 E-mail:shiratake-t@takenaka-doboku.co.jp

の試験方法で求めた値は水分を含む値となることが明らかになった。

図-2 の結果を基に、150℃でベントナイト中の水分が完全に逸脱していると仮定した場合のベントナイト中の含水量の割合を求めたところ、炉乾燥温度 110℃においてはベントナイトに含まれる水分の約 97%が逸脱しており、逆に言い換えると 110℃では約 3.0%程度の水分が未だベントナイト中に層間水あるいは吸着水として残留する結果となった。ただし図-1 より 100℃近くで吸熱反応が生じていることより、炉乾燥温度 110℃でも自由水に加え少なからず層間水あるいは吸着水も逸脱しているものと考えられる。

図-3 には各温度で得られた土粒子密度を用いて算定した赤城原鉱の土粒子部と間隙部の体積率及び間隙比(e_0)を示す(値は平均値である)。これまで述べてきたように炉乾燥温度を上昇させることで層間水あるいは吸着水が逸脱するため、間隙部の体積率(v_v)は温度を上昇させるにつれ増加し、逆に土粒子部の体積率(v_s)は減少している。110℃と 150℃で結果を比較した場合、間隙部の体積率は 2.0%程度増大し、この変化量を間隙比で表した場合 8.0%程度(110℃で $e_0=0.764$ に対し 150℃では $e_0=0.830$) 増大する結果となった。

図-4 には今回用いた全試料(4 種類)で実施した土粒子の密度(ρ_s)試験結果を示す。炉乾燥温度を上昇させる事により、赤城原鉱は 2~3%, 今回用いた市販品では平均 1%弱程度密度が増加している。特に文献 1)の研究で主に使用されている「クニゲル V1」の密度は 2.706(110℃)~2.730(150℃) (文献 1 では $\rho_s=2.70$) であった。

4. おわりに

自由水や吸着水の他に層間水を持つベントナイトにおいては、通常の炉乾燥温度 110℃では完全に水分が逸脱しない結果となり、炉乾燥温度 150℃での結果を基に判断した場合、110℃においてベントナイトに残留する水分量は数%程度という知見を得た。ただし、赤城原鉱においてはモンモリロナイト以外の含有鉱物や不純物の影響も寄与しているものと考えられるため、鉱物分析等を含め検討する予定である。また、図-1 よりモンモリロナイトの吸熱反応は 100℃~200℃付近で生じるため、今回試験を行った最大炉乾燥温度 150℃でも未だ層間水あるいは吸着水が残留するものと予想され、ベントナイト中の粘土鉱物に含まれる層間水量あるいは吸着水量を完全に把握するためには高温条件下での検討が必要となるが、高温条件下では粘土鉱物の変質作用も生じると考えられるので今後この現象も考慮しながら検討を進めていく。

【参考文献】 1)核燃料サイクル開発機構:わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—総論レポート, JNC TN1400 99-020, 1999. 2)地盤工学会編集:土質試験の方法と解説, 地盤工学会, 2000. 3)白水春雄:粘土のはなし, 技報堂, pp. 76, 1995. 4)小峯他:塑性限界を導入した粘土の締固め特性の評価法の提案, 土木学会論文集, No. 436/III-16, pp. 103-110, 1991.

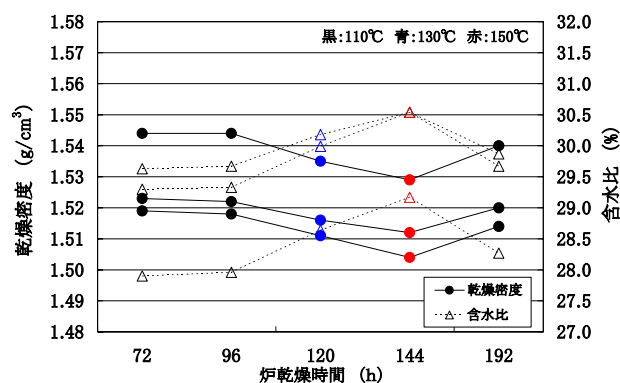


図-2 赤城原鉱の含水比と乾燥密度の変動

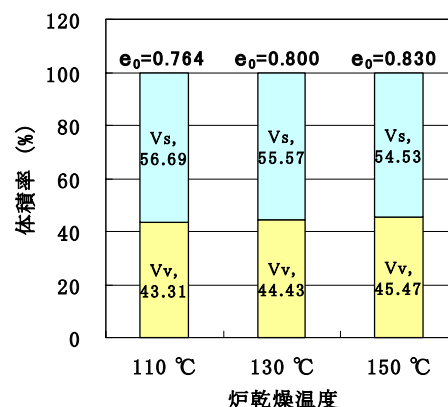


図-3 赤城原鉱の土粒子部と間隙部の体積率

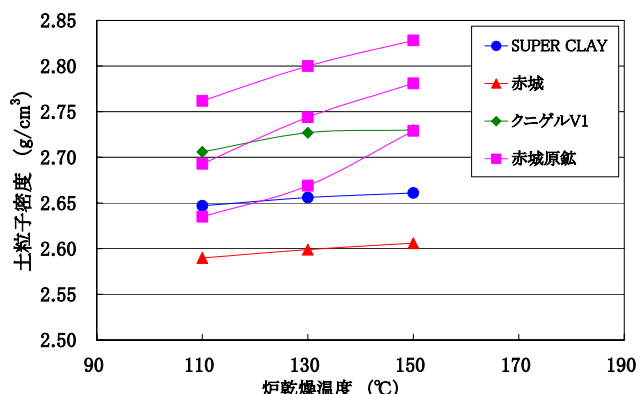


図-4 土粒子密度の変動