

X線CT測定を用いたベントナイト緩衝材の温度変化による強度特性に関する解釈

新潟大学大学院 学生会員 ○ 鈴木梨恵 新潟大学 正会員 金澤伸一
新潟大学大学院 学生会員 飯田輝良 西松建設(株) 正会員 吉野 修

1. 目的

原子力発電により発生した使用済み核燃料の再処理に伴い発生する高レベル放射性廃棄物の処分方法として、地下300m以深への地層処分が選定されている¹⁾。地層処分とは、ガラス固化体、炭素鋼製オーバーパック、ベントナイト緩衝材からなる人工バリアと、地下深くの安定した岩盤からなる天然バリアを組み合わせた多重バリアシステムによって超長期にわたって放射性物質を人間環境から隔離し、閉じ込める処分方法である。しかしながら、核種崩壊熱による温度環境を考慮した緩衝材(ベントナイト+珪砂)の力学特性や膨潤特性に関する詳細は十分に把握されていない。そこで本研究では、ベントナイト緩衝材に対して温度を変化させた条件で一軸圧縮試験を行い、その強度特性を把握した。さらに、X線CT測定によって温度環境下での供試体のCT値による密度変化を把握した。

2. 試験方法

2.1 一軸圧縮試験

試験機には、高圧载荷、温度変化に対応できる機構を備えた容量10kNの電動スクリージャッキ方式のものを採用した。载荷速度は0.4mm/min一定とした。試料はベントナイト(クニゲルV1, クニミネ工業)と珪砂5号を使用した。表-1に試験条件を示す。

以下に、試験手順を示す。

①ベントナイトと珪砂5号を7:3の比率で混合した。電子レンジ法(500W, 15分間加熱)を用いて含水比測定し、霧吹きと電動攪拌機を用いて飽和度30%となるように調整を行った。②乾燥密度が1.6Mg/m³になる質量を求め、計量した試料を5回に分けて鋼製モールドに投入し、突き固め棒で締固めた。モールド上部に蓋をし、油圧ジャッキを用いた静的締固めにより、直径35mm、高さ80mmの円柱供試体を作製した。③供試体をヒーター付き水槽に入れ、温水によって供試体に熱を与えた。その際、水との接触を避けるため、供試体に圧縮試験用装置(圧縮補助器具, ゴムスリーブ, 耐熱性輪ゴム)を取り付けた。養生時間は20分とした。④供試体を水槽に入れたまま、载荷速度0.4mm/minで一軸圧縮試験を行った。

表-1 試験条件

試料	クニゲルV1, 珪砂5号
供試体寸法(mm)	φ35×H80
珪砂混合率(%)	30
乾燥密度(Mg/m ³)	1.6
飽和度(%)	30
試験温度(°C)	30,40,50,60,70,80,90
養生時間(分)	20

2.2 X線CT測定

X線CT測定には医療用X線CTスキャナである東芝メディカルシステムズ株式会社製東芝スキャナ Alexion/2.0Mを用いた。X線CT測定により得られるCT値は、物体のX線吸収の程度を示す数値である。測定条件は、管電圧120kV, 管電流20mA, スライス厚1.0mmとした。再構成関数はFC81(骨用の高精細関数)とした。図-1に供試体の概要図を示す。一軸圧縮試験と同様の手順で供試体を作製し、圧縮試験用装置を取り付け、X線CT測定を行った。ヒーター付き水槽に投入し、90°Cで20分間熱を与えた後、水槽から取り出して再度測定した。

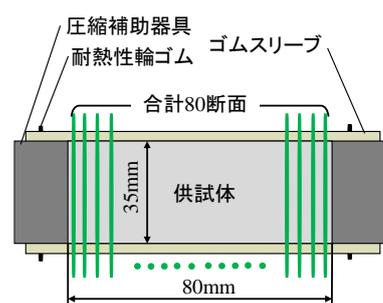


図-1 供試体の概要図

3. 試験結果および考察

図-2 に温度と最大圧縮強度のグラフを示す。温度が上昇すると最大圧縮応力が減少していることがみてとれる。温度上昇による圧縮強度低下の原因として、供試体の熱膨張によって生じるクラックの影響が考えられる。一般的にベントナイトは透気性が非常に低いとされている。熱の影響により生じる内部の間隙空気や間隙水の蒸発によって、表面あるいは内部にマイクロクラックが発生している可能性がある。マイクロクラックが入ることによって、剛性が低下するため、圧縮強度が低下したと考えられる。温度が高いほどこの影響は大きくなるため、温度の上昇に伴い圧縮強度が低下したと考えられる。

図-3 に供試体断面の CT 画像を示す。上段は養生前、下段は温度履歴(90°Cを 20 分間)である。温度を与えた供試体の CT 画像は、与える前と比べて、若干ではあるが黒色が濃くなっている。これは間隙が多いことを示しており温度の影響によって膨張していると考えられ、それが強度に影響を与えたと考えられる。

図-4 に CT 値と供試体高さのグラフを示す。CT 値は供試体断面に収まるように作成した正方形の内部で平均値をとっている。供試体底面が供試体高さ 0mm である。この結果、CT 値は供試体下部にかけて減少していることが確認できる。一般的に CT 値は密度と相関関係があるため、供試体下部は上部に比べて密度が低いことが読み取れる。この要因として、モールド上部から高圧で締固めを行っているため、表層部が圧縮されることで、下部の間隙空气が排出されにくい状態となり、上部と下部で密度勾配が発生したと考えられる。さらに、図-3 において供試体下部の色調はグレーや白色が多く、間隙が多いことから供試体内の密度勾配が確認された。

下部の CT 値は約 20~50、上部の CT 値は約 140 減少し、全体的に減少していることが確認できる。この要因として、一軸圧縮試験結果と同様に、熱の影響により生じる内部の間隙空気や間隙水の蒸発によって間隙比が増加し、飽和度が減少したため、密度が減少し、CT 値が減少した可能性が考えられる。また、供試体上部は密度が高く、間隙水の蒸発が顕著なため、上部の CT 値は大きく減少したと考えられる。

4. まとめ

本研究では、圧縮ベントナイトにおいて温度環境下で一軸圧縮試験と X 線 CT 測定を行った。温度上昇による圧縮強度低下の原因として、供試体の熱膨張によって生じるクラックの影響が考えられ、CT 値と密度の相関関係からも供試体内部の密度変化を確認することができた。今後は乾燥密度を変化させて X 線 CT 測定を行い、CT 値と湿潤密度の相関式を作成し、定量的な密度測定を行う。

5. 参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構(JAEA)：我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 IV-3 (1999).

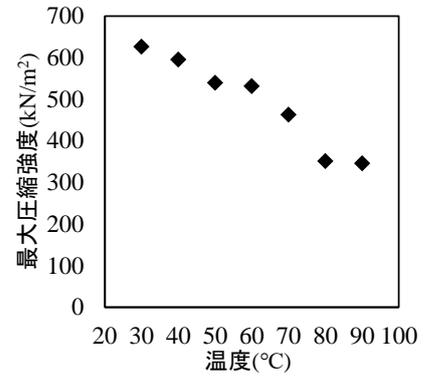


図-2 温度-最大圧縮強度の関係

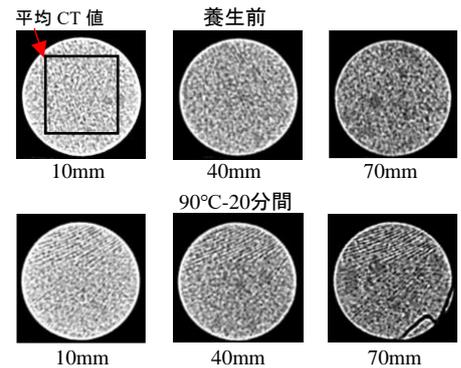


図-3 供試体断面の CT 画像

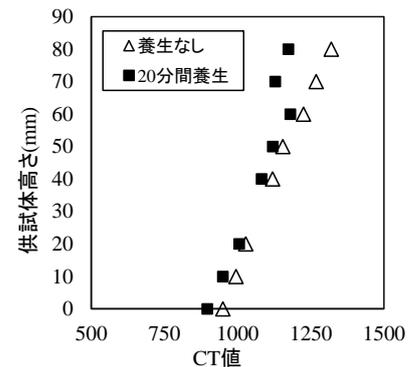


図-4 CT 値-供試体高さの関係