

高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるベントナイト緩衝材の膨潤特性に関する研究

芝浦工業大学 (正) 足立 格一郎 (学) 鈴木 絵理子(現 千葉県庁)
(学) 田邊 亮 黄 西朱

1. 研究背景と目的

現在、原子力発電を含む核燃料サイクルの各工程で発生する放射性廃棄物の処理・処分問題は、人類にとって早急に解決しなければならない大きな問題となっている。高レベル放射性廃棄物の処分方法として安定な地層中の深部地下数 100m に埋設するという地層処分方法が最良の方法と考えられ、種々の検討が進められている。

緩衝材には非常に高い止水性や膨潤性、高い熱伝導性をもつベントナイトの利用が有効であると考えられ、さらに経済性を考慮してベントナイトにケイ砂を混合したものを緩衝材とすることが実際の計画において想定されている。そこで本研究では、ベントナイト・ケイ砂混合試料の緩衝材特性を把握し、さらに、地下深部での緩衝材設置作業の効率化を図るために、ある含水比のもとで締固めをおこなったベントナイト・ケイ砂混合試料を炉乾燥させることを考え、この炉乾燥試料の緩衝材特性を比較・検討することを目的とする。また、実験より得られたデータをもとに膨潤評価式との対比・検討も行った。

2. 試料および各試験方法

試験には、クニミネ工業製 Na 型ベントナイト；クニゲル V1，愛知県産の人工ケイ砂；三河珪砂 6 号を用いた。ベントナイトとケイ砂の乾燥質量比が 7:3 となるように混合し、初期含水比 15%，初期乾燥密度 1.75Mg/m^3 となるように、ランマーの自由落下によって締固め、カッターリングで供試体サイズに成形を行った。さらにこの状態から 24 時間炉乾燥させたものを炉乾燥試料とし、湿潤試料と炉乾燥試料の 2 タイプの供試体を用いて実験を行った。混合湿潤試料の液性限界 $w_L = 283\%$ ，塑性限界 $w_P = 21\%$ ，塑性指数 $I_P = 262$ となっている。

a) 膨潤圧試験：膨潤圧試験では三軸圧縮試験機に改良を加えたものを試験機として用い、直径 35mm，厚さ 5mm または 10mm の供試体の外側に筒状のステンレス鋼をかぶせることによって側方の変形を拘束し、鉛直方向には荷重計の上部とセルの下部を固定した状態で圧縮装置を手動で調整して装置の変形を補正し極力試料の変形を許さない条件下で、供試体下部より蒸留水を供給し、鉛直方向の膨潤圧を測定した。

b) 膨潤変形試験：膨潤変形試験には圧密試験装置を用い、直径 60mm，厚さ 5mm の供試体に鉛直方向に荷重をかけて膨潤させ、ある鉛直応力下での鉛直方向の膨潤変形量を測定した。荷重は、湿潤試料の場合、353.2kPa，176.6kPa，9.81kPa の 3 段階でそれぞれ 3t 法により膨潤の終了を確認した後に次段階へ除荷している。炉乾燥試料では 353.2 kPa，78.5 kPa，9.81 kPa の 3 段階で試験を行った。

3. 試験結果と考察

図 2 に膨潤圧試験結果を示す。炉乾燥試料では通常の湿潤試料に比べさらに吸水に時間がかかるために、圧力の発現に長い時間を要し、さらにその最大膨潤圧も湿潤試料より高い値を示すことがこの図より明らかである。図 3 は膨潤変形試験結果を示したグラフである。同一の荷重下で測定された第 1 段階の膨潤量を比較すると、炉乾燥試料の膨潤率が湿潤試料に比べやや高い値を示し、さらに第 3 段階終了時での最終膨潤率は約 30% 高い値となってい

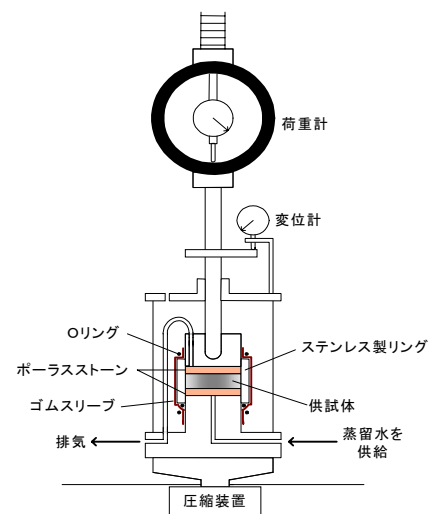


図 1 膨潤圧試験機

キーワード：高レベル放射性廃棄物，地層処分，ベントナイト，緩衝材，膨潤特性，膨潤評価式
連絡先：〒108-8548 東京都港区芝浦 3-9-14 芝浦工業大学土木工学科地盤工学研究室
TEL 03-5476-3048 FAX 03-5476-3166

る。炉乾燥試料がより高い膨潤圧や膨潤率を示した要因の一つには、試験開始時の初期含水比の差の影響が考えられるが、最大膨潤率 - 鉛直膨潤圧の関係で示した図4のグラフを見ると、湿潤試料との膨潤圧、膨潤率の差は許容誤差の範囲内であるといった判断が可能であり、炉内温度110℃、乾燥時間24時間程度の加熱ではベントナイト鉱物の性質は変化せず、炉乾燥試料の試験結果に温度履歴による影響は少ないものと判断される。

4. 膨潤評価式

ベントナイトの主成分であるモンモリロナイト粒子表面付近には何種類かの陽イオンが分布している。小峯らによって提案されている膨潤評価式とは、これらのイオンに起因する粘土結晶層間に作用する反発力と引力の理論を元に、モンモリロナイトの膨潤体積ひずみと平行2粒子間距離の1/2に相当するパラメータを介して、ベントナイト配合率や乾燥密度に応じて締固めベントナイトの発生する圧力と最大膨潤率の関係を求めるもので、式は以下ようになる。

$$p = \frac{1}{CEC} \sum_{\substack{i=Na^+, Ca^{2+} \\ K^+, Mg^{2+}}} [EXC_i \{ (f_r)_i - (f_a)_i \}]$$

p: 緩衝材の発生する圧力(kPa), (f_r)_i: 交換性陽イオン i に起因する反発力(kPa), (f_a)_i: 交換性陽イオン i に起因する引力(kPa), EXC_i: 交換性陽イオン i の交換容量(mequiv./g), CEC: 陽イオン交換容量(mequiv./g)

図4には膨潤圧試験、膨潤変形試験の結果を最大膨潤率 - 鉛直膨潤圧の関係に整理したものに、試験時の供試体初期状態(配合率70%, 乾燥密度1.75Mg/m³)を元に求めた膨潤評価式による理論曲線を重ねている。膨潤率0%付近、また炉乾燥試料の膨潤変形試験結果で実験値と理論曲線にやや差異が見られるが、全体的には実験結果の傾向を良好に表現している。膨潤率0~5%の範囲では、実験値で示されているように、現実にはより鋭角な曲線を示すものと推定され、この範囲では僅かな膨潤量の違いによって発揮される膨潤圧が大きく変化することが明らかとなった。

5. まとめ

炉乾燥を行うことでベントナイト・ケイ砂混合試料の膨潤に関する基本的な特性は大きく変化しないことが明らかとなり、今後は、強度特性など緩衝材に期待される他の特性についても検討を行うことで、製作方法の一つとして、炉乾燥ブロック型の緩衝材利用の可能性をさらに調査することが望まれる。さらに、緩衝材を設置する際には、緩衝材と周辺岩盤やオーバーパックとの隙間がそのまま膨潤許容量となるため、膨潤量に対応して発生する膨潤圧を考慮した詳細な設計と、施工が不可欠であるといえる。

【参考文献】小峯秀雄, 緒方信英: 高レベル放射性廃棄物のための緩衝材・埋戻し材の膨潤評価式の提案, 電力中央研究所報告, 研究報告 U99013, 1999.

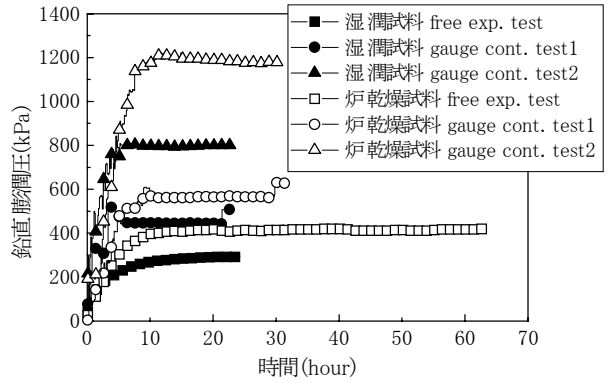


図2 膨潤圧試験結果

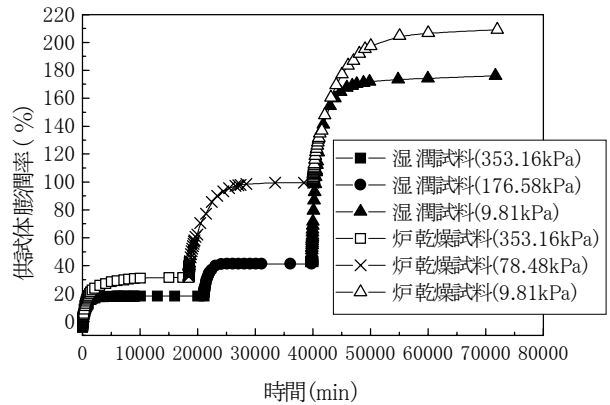


図3 膨潤変形試験結果

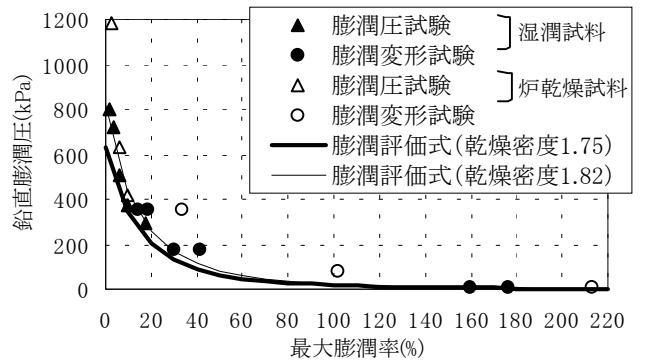


図4 最大膨潤率 - 鉛直膨潤圧