

正規圧密飽和ベントナイトの力学挙動に関する研究

名古屋工業大学 学生会員 ○浦田琉平
 名古屋工業大学 非会員 高木啓伍
 名古屋工業大学 正会員 張鋒

1. 研究背景

放射性廃棄物の処分方法として地層処分を用いることが一般的であり、その緩衝材としてベントナイトが利用されている。ベントナイトは、放射性廃棄物のガラス固化体の崩壊熱により、高温状態に晒されており、地下300m以上の環境下で利用されるため、温度・圧力の影響を大きく受けている。また、ガラス固化体を入れるオーバーパックと貯蔵ピットとの間に、隙間を持つ乾燥のベントナイトをブロックで充填し、浸水した場合その膨張性で水の更なる浸透を防ぐ。長い年月が経つと最終的に静岩圧を受けるようになる。そのため、既往の研究は膨潤圧に注目したケースがほとんどであったが、実際の地層処分時の状態を考えると不十分と言わざるを得ない。そこで、本研究では正規圧密飽和ベントナイトに関する研究が少ないことに着目し、静的二次元縮固めにより正規圧密飽和供試体の作成を試みた。また、その供試体を用いて三軸圧縮試験を行い、ベントナイトの力学特性の把握を行う。本実験では、温度が80°C下における拘束圧比較1.0MPa、2.0MPa、3.0MPa、5.0MPaによって行った。

2. 実験概要

2.1 実験試料概要

本実験で使用したベントナイトはクニゲルV1で、以下の表1に示す物性値を有する。

表1 クニゲルV1の物性値

土粒子密度 (g/cm ³)	自然状態含水比 (%)	液性限界(%)	塑性限界(%)	塑性指数
2.800	5.64	455.0	35.3	419.7

2.2 二次元圧縮試験(供試体作成概要)

供試体はモールドで高さ13cm、直径5cmになるように突き固める。霧吹きを用いた加水法により、所定の配合比で混ぜ合わせ、モールドに10層に分けて入れ、1層ずつランマーによって縮固めを行う。配合比の算出は、小林らの研究から得られた以下の式(1)を用いる。また、それぞれの目標縮固め応力に応じた、目標乾燥密度は表2に示す。

$$\rho_d/\rho_w = 0.156 \ln \sigma_v + 1.45 \quad (1)$$

表2 二次元圧縮試験条件

ケース名	目標縮固め応力(MPa)	目標乾燥密度(g/m ³)	荷重方法
Case1	0.5	1.34	ひずみ制御
Case2	1.0	1.45	
Case3	2.0	1.56	ひずみ速度 0.025%/min
Case4	5.0	1.70	

この試料を二次元圧縮試験によって、静的縮固めを行う。写真2に示す三軸圧縮試験機を用い、高さ10cmを目標にひずみ制御(荷重速度0.025%/min)で24時間縮固めを行い、飽和供試体を作成する。



写真1 モールド



写真2 三軸圧縮試験機

2.3 三軸圧縮試験(CU試験)

2.2で作成した供試体を三軸圧縮試験機に設置し、水温を80°Cにし背圧(0.2MPa)と等方圧密応力をかけてひずみ制御で(荷重速度0.015%/min)圧密を72時間行う。その後、せん断試験を24時間行い、試験後に供試体を取り出し、1cm³に切断した試料を炉乾燥に入れ、含水比を測定する。

表3 三軸圧縮試験条件

ケース名	等方圧密応力(MPa)	温度(°C)	背圧(MPa)	荷重方法
Case1	1.0	80	0.2	ひずみ制御
Case2	2.0			ひずみ速度
Case3	3.0			0.015%/min
Case4	5.0			

3. 実験結果と考察

3.1 二次元圧縮試験

表4 二次元圧縮試験結果

ケース名	含水比 w (%)	間隙比 e	飽和度 Sr (%)
Case1-1	38.89	1.213	89.78
Case1-2	38.13	1.150	92.85
Case1-3	38.65	1.158	93.48
Case2-1	33.00	1.066	86.71
Case2-2	33.09	0.999	92.74
Case3-1	28.37	0.905	87.79
Case3-2	28.31	0.876	90.48
Case4-1	22.91	0.745	86.11
Case4-2	22.82	0.728	87.69
Case4-3	23.09	0.741	87.27

表4に一次元圧縮試験での各ケースにおける含水比, 間隙比, 飽和度の結果を, 図1に各ケースにおける結果を示す。表4に示すとおり, 飽和度が一部90%を越えておらず, 速度設定機器の不良によるせん断ひずみ速度の設定値が達していないのが原因である。また, 図1に示す締固め応力が, 目標応力を越えてしまったため, 三軸圧縮試験では正規圧密状態を保つために, 初期等方圧密応力を1.0MPa, 2.0MPa, 3.0MPa, 5.0MPaで行った。

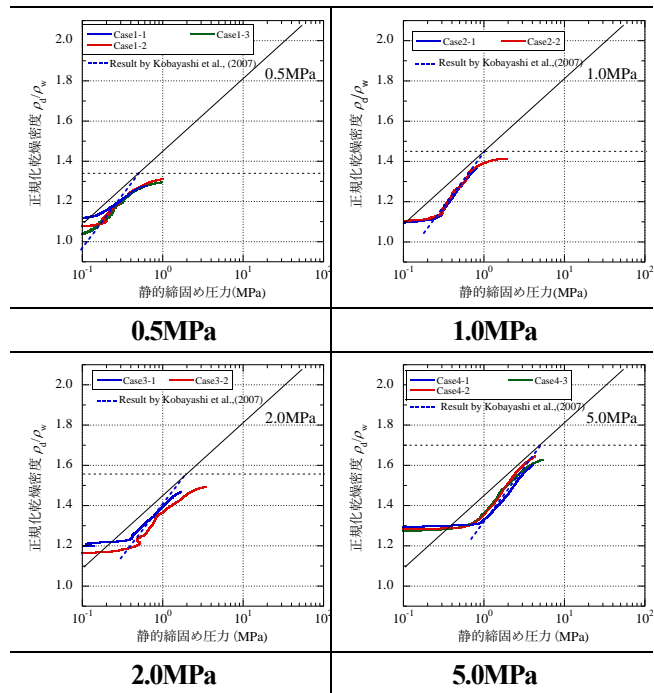


図1 一次元圧縮試験結果 ($\rho_d/\rho_w - \sigma$)

3.2 三軸圧縮試験(CU試験)結果

表5に三軸圧縮試験後の供試体の諸元値, 図2に三軸圧縮試験結果を示す。

三軸圧縮試験後の飽和度は, 1.0MPa, 2.0MPa, 3.0MPaのケースにおいて増加した。しかし, 5.0MPaのケースにおいては, 写真3のようにメンブレンがせん断過程において破れたため, 含水比を測定することができなかった。また, 図2において拘束圧比較を行った。図2(a)では, 拘束圧が増大するにつれて, 軸差応力が増大することが確認できた。また, 1.0MPaでは正規圧密粘土の典型的な特徴を示したのに対して, 2.0MPa, 3.0MPa, 5.0MPaでは軸ひずみが5%~10%にかけて軸差応力が減少し, 拘束圧が増大するにつれ, 軟化挙動も顕著に現れるようになった。

図2(b)では, 有効応力経路の挙動が, 1.0MPaでは, CU試験時の挙動を示したのに対し, 2.0MPaでは, ほぼ鉛直に上昇し, 3.0MPa, 5.0MPaではCD試験時の有効応力経路に近い挙動が確認できた。これは, 拘束圧が増大するにつれて, 水の非圧縮性が保たれなくなり, 本来生じるはずの間隙水圧がそれほど発生しなかったことが原因と考えられる。

表5 三軸圧縮試験結果

Case	含水比 w	間隙比 e	飽和度 Sr
1-2	36.74	1.067	96.41
2-2	31.03	0.907	95.80
3-2	26.42	0.799	92.59



写真3 5.0MPa時の三軸試験後の供試体

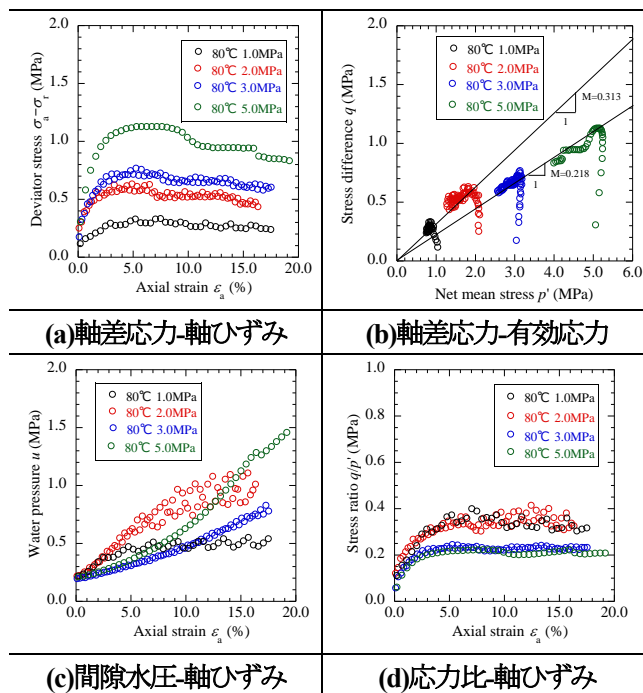


図2 三軸圧縮試験(CU試験)結果 (拘束圧比較)

4.まとめ

本実験で得られた結果を以下にまとめる。

- 0.5MPaのケースにおいてはほとんどの供試体の飽和度が90%を越えたため, 今回用いた飽和供試体の作成方法は有効であったと考えられる。しかし, 1.0~5.0MPaでは, 90%を越えないケースが多く見られ, 目標の載荷速度で行えなかったことが原因であったため, 追加試験を行い, 本試験方法の更なる有効性を示す必要がある。
- 拘束圧が増大するにつれて, 異なる有効応力経路を示していることから, 水の圧縮性が有効応力の経路に影響を大きく与えていると考えられる。

5.参考文献

- 小峯秀雄, 大橋良哉, 安原一哉, 村上哲, ベントナイトの膨潤圧・膨潤変形特性に及ぼす温度履歴の影響とその要因 土木学会論文集C Vol63 No3,731-741,2007.8
- 小林一三, 戸井田克, 笹倉剛, 太田秀樹, 等含水比線と等飽和度線を用いた締固めベントナイトの圧縮・膨潤挙動の解釈, 土木学会論文集C Vol.63 No4,1065-1078,2007,12