様々な条件におけるベントナイトの力学特性に関する実験

福島工業高等専門学校　学生会員　○柳井　正樹
福島工業高等専門学校　正会員　金澤　伸一
福島工業高等専門学校　学生会員　鈴木　梨恵
西松建設(株)技術研究所　正会員　石山　宏二

１．はじめに

核燃料サイクルの過程で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．地層処分において，廃棄物と岩盤との間を充填する緩衝材の主原料には著しい吸水膨潤性と難透水性を有するベントナイトが使用される．また，施工性や経済性の観点から，第二次取りまとめ [1]によるとベントナイトと珪砂を混合することが選定されている．詳細な仕様の決定に向けて，これまで様々な力学試験が実施されているが，試験事例は限られた条件にとどまっている．また，ガラス固化された廃棄体の発熱によって緩衝材が長期にわたり高温に晒されることが示唆される．そこで本研究では，ベントナイトと珪砂の混合試料で作製した供試体に温度変化を与え一軸圧縮試験を行った．既往の研究成果 [2] と本研究の成果を比較検討することにより，温度変化の影響によるベントナイト珪砂混合供試体の力学特性を明らかにすることを目的とした．ここで本研究での温度変化については，既往の研究で行っていた水槽養生による温度変化に加え，供試体に温度を継続的に与えながら一軸圧縮試験を行った．

２．試験方法

試験試料は，ベントナイト（クニゲル V1）と東北珪砂 5 号を 7:3 で混合したものを用いた．供試体は作製時の飽和度が 30%になるように霧吹きを用いて含水比調整を施した．この時，含水比の測定には電子レンジ法（500W）を用い，加熱時間は 15 分間とした．所定の含水比に達した時点で金属製のモールドに試料を投入し，油圧ジャッキで 40MPa を載荷し圧縮成形した．なお供試体は，乾燥密度が 1.6Mg/m^3，直径は 35mm，高さは 80mm とした．**表 1** に初期条件を示す．温度変化については，以下の二つの方法を用いた．なお，試験の様子を**写真 1** に示す．

表 1　初期条件

供試体直径・高さ(mm)		35・80
乾燥密度(Mg/m^3)		1.6
温度(℃)		30,50,70,90
飽和度(%)		30
モンモリロナイト含有率(%)		51
土粒子密度 (Mg/m^3))	クニゲル V1	2.61
	珪砂 5 号	2.62

①供試体の温度養生

②様々な温度環境下での一軸圧縮試

写真 1　実験の様子

① 水槽養生による温度変化

供試体と水が接触するのを避けるため，供試体に遮水シートを取り付け，温度を一定に保つことのできる水槽（30℃，50℃，70℃，90℃）内で 24 時間養生することで供試体に温度変化を与えた．養生後，供試体から遮水シートを外し，再び体積を測定してから圧縮補助器具を取り付け，一軸圧縮試験を行った．

② 様々な温度環境下での一軸圧縮試験

作製した供試体と水が接触するのを防ぐため，供試体にゴムスリーブを取り付けた．次に，一軸圧縮試験機本体に，温度を一定に保つことができる水槽容器を設置し，圧縮補助器具を付けた供試体を設定した温度(30℃，50℃，70℃，90℃)に達するように，25 分間水槽容器に設置する．その後，継続的に熱を与えながら一軸圧縮試験を行う．ここで，養生時間については事前に設定温度に達することを確認している．

なお一軸圧縮試験については載荷速度荷 0.4mm/min で行い，試験後の供試体の含水比を炉乾燥法により測定した．

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
連絡先：〒970-8034　福島県いわき市平上荒川字長尾 30　福島工業高等専門学校　TEL0246-46-8027

© Japan Society of Civil Engineers

3． 試験結果および考察

図 1 に，水槽養生後に温度変化を与えた一軸圧縮試験の結果を示す．図 2 に，様々な温度環境下での一軸圧縮試験の結果を示す．図 1，図 2 より，温度の与え方を変化させた一軸圧縮試験において，最大圧縮強度は水槽養生では線形的に減少していく傾向が確認できた．温度環境下での一軸圧縮試験では，ある閾値から温度の上昇に伴い，急激に圧縮強度が減少する傾向が確認できた．これらの要因として，供試体体積の膨張が考えられる．供試体の体積膨張については，ベントナイトの低透水・透気性により，熱によって膨張した間隙水・間隙空気が外に排出されにくかったことが可能性として挙げられる．さらに，供試体表面の乾燥収縮によって生じたクラックの影響も考えられる．図 3 に，水槽養生による試験前と試験後の含水比分布を示す．さらに図 4 に，温度環境下で行った試験の含水比分布について示す．ともに温度の上昇に伴い試験後の含水比が減少していく傾向が確認できた．供試体に与える温度が高くなることにつれ，供試体表面また内部からの蒸発量が増えることにより，乾燥収縮によるクラックが発生したことで強度特性を低下させた可能性が考えられる．今回，供試体内部のクラックを確認することはできなかったが，表面では養生後の試験において乾燥収縮によるひび割れが確認できた．

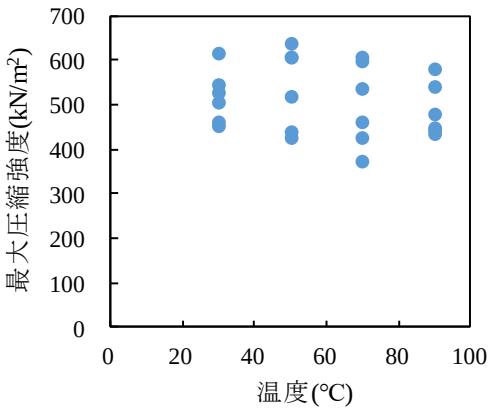

図 1 水槽養生による一軸圧縮試験

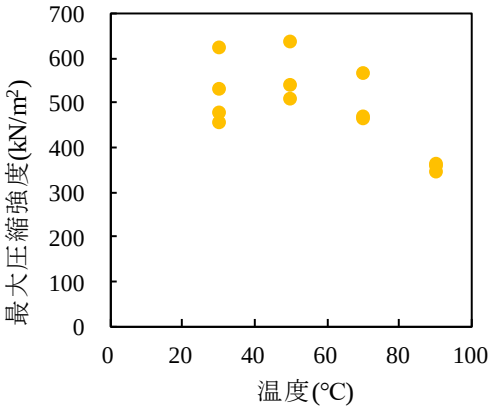

図 2 温度環境下での一軸圧縮試験

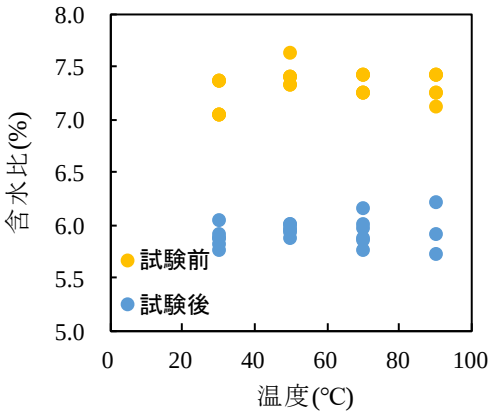

図 3 水槽養生による試験の含水比分布

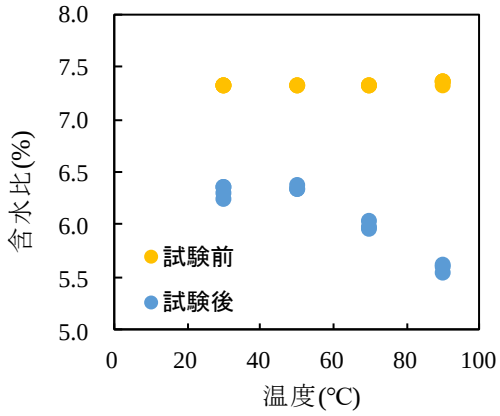

図 4 温度環境下での試験の含水比分布

4．まとめ

本試験では，温度変化の与え方を変化させたベントナイト珪砂混合供試体の力学特性を把握することを目的として一軸圧縮試験を実施した．本試験で得られた知見を以下に示す．

・温度の上昇に伴い，最大圧縮強度が線形的に減少していくことから，ベントナイト珪砂混合供試体には温度依存性があることが確認できた．

・試験後の供試体の含水比が低下することから，供試体表面及び内部にクラックが発生し強度の減少につながったことが考えられる．

今後の展望として，継続的に試験を行うことでデータの高精度化を図りたい．また，地層処分施設の施工後の再冠水を考慮した飽和度変化なども影響すると考えられる．今回は飽和度を 30%の条件のみで試験を行っているため，飽和度を変化させた試験を行っていき，飽和度の違いによる強度特性について試験を行っていく．

参考文献

1) 核燃料サイクル開発機構: 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 次とりまとめ，JNC TN1400 99-022, pp.IV-157- IV-194, 1999.

2) 柳井正樹・金澤伸一・市川希・武藤尚樹・小林千莉・石山宏二: 珪砂配合率と温度を変化させたベントナイト緩衝材の一軸圧縮試験,土木学会年次学術講演会講演概要集(CD-ROM)，2019.

© Japan Society of Civil Engineers