

高温履歴を受けた粘性土の変形・強度特性

広島大学工学部	正会員	森脇武夫
広島大学工学部	学生会員	木下洋樹
(株) 高崎総合コンサルタント	正会員	○井上豊美

1. はじめに

これまでに、粘土を高温環境下に置くと、粘土の挙動および特性に影響を与えることが判明している。また近年、経済活動の進展に伴って、化学的な改良を施した地盤、高レベル放射性廃棄物の地中処分およびごみ埋立地盤など、地盤が高温環境に曝される機会が増加している。特に、高レベル放射性廃棄物の地中処分においては、ガラス固化された高レベル放射性廃棄物は、地下深部に掘削された坑道に粘土質の緩衝材を用いて埋設されるが、放射性廃棄物の熱崩壊によってこの粘性土および周辺地盤は高温環境に極めて長期間さらされる。そのため、熱履歴を受けた土および地盤の変形・強度特性を知ることの重要性が指摘されている。そこで、本研究では、高温高压型三軸試験装置を用いて 100℃までの高温条件下で圧密非排水三軸圧縮試験を行い、温度履歴を受けた粘性土の変形・強度特性、圧縮・圧密特性を調べた。

2. 試料の性質及び作成

試験においては、試料としてベントナイトおよびカオリンを用いた。ベントナイトは放射性廃棄物の地中処分において実際に緩衝材として利用が考えられている材料であり、イオン交換性、膨潤性、複合体形成能などの化学的活性が顕著である。一方、カオリンはベントナイトとは対照的に化学的に安定した粘土である。

配合は、重量比でカオリン：ベントナイト＝1：0（カオリン粘土）、3：1（混合粘土）の 2 種類で、所定の配合になるように混合した後、塩化カルシウム溶液によりカオリン粘土は液性限界の 1.8 倍、混合粘土は 2.0 倍のスラリー状にし、24 時間自重圧密を行った。その後、各段階での圧密時間を 24 時間とし、1.96→7.84→29.4→49.0→98.0→196.0 kPa の鉛直圧密応力で段階的に載荷した。最終段階の 196.0 kPa において、3 t 法によって圧密終了時間を決定した。

3. 試験装置及び方法

高温高压型三軸試験装置を用いて、高温圧密非排水三軸圧縮試験を行った。ここで使用する高温対応型三軸セルは高圧を負荷するとともに供試体内の水の蒸発を抑え、密閉状態にすることによって、室温～200℃の非常に高い温度条件下で三軸試験が行えるものである。（図-1）

試験では、カオリン粘土、混合粘土それぞれを、20℃、50℃、75℃、100℃の温度条件のもとで 500kPa まで等方圧密し、その後、非排水圧縮試験を行った。

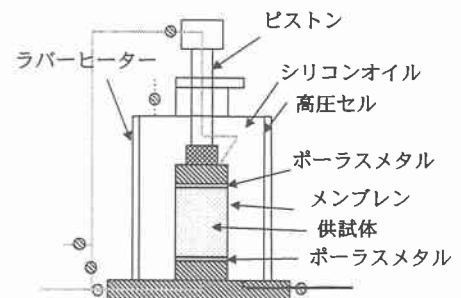


図-1 試験装置の概要

4. 試験結果及び考察

有効応力経路は、両試料とも温度が上昇するにつれ、全応力経路側にシフトし（図-2）、過圧密粘土の応力経路に類似したものとなった。つまり、両試料とも正規圧密粘土であるにも関わらず、高温履歴を与えることで疑似過圧密状態に近づいたと考えられる。

また、カオリン粘土では高温履歴を与えることで限界状態線の傾き（M）は小さくなったが、混合粘土では大きくなった（図-3）。両試料において、対照的な結果が得られた。

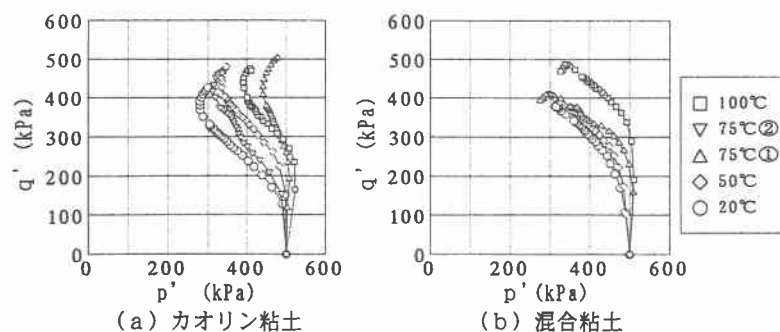


図-2 有効応力経路

図は省略するが、等方圧密後の非排水せん断時の主応力差と軸ひずみの関係において、両試料とも温度が高い方が大きな主応力差を示す傾向が見られた。これは、両試料とも高温履歴を与えるほど等方圧密時の排水量が増え、間隙比減少量が大きくなった(図-4)ことから、高温状態ほど圧密が促進され、土粒子構造が密実になったためだと考えられる。また、混合試料においては、温度が高いほどピークを過ぎた後の軟化傾向が大きくなっており、高温を与えた方が室温より骨格構造が発達していたのではないかと考えられる。

間隙比と圧縮強度の関係において、一般的に、間隙比が小さい試料ほど土粒子構造はより密実であり、圧縮強度は大きい。図-5は、限界状態の概念を用いたCam clayモデルによる圧縮強度と間隙比関係の理論値を直線で、実験による実測値を点で示している。これより、両試料とも50℃以外は間隙比減少に伴って見込まれる圧縮強度より、実測値は小さな圧縮強度となった。つまり、温度上昇に伴う間隙比の減少によって圧縮強度は増加したが、間隙比の減少量に対応した強度増加は得られておらず、見方によっては、温度が上昇したことによって強度が低下したと見ることもできる。

5. おわりに

本試験において、100℃の高温状態で飽和粘土の圧密非排水三軸圧縮試験が実施できた。100℃における圧縮・圧密特性および変形・強度特性は、100℃以下の温度効果のほぼ延長線上にあり、100℃程度では粘土の力学特性に大きな変化が現れないことが明らかとなった。

なお、本研究は文部省科学研究費補助金・基盤研究(C)(2)(課題番号11650508)の援助を受けて行なわれた。

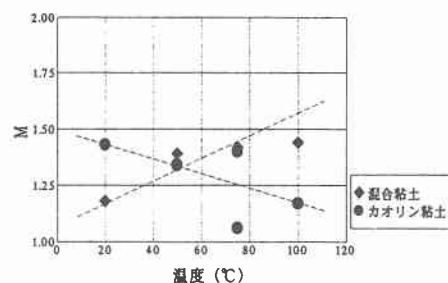


図-3 M-温度

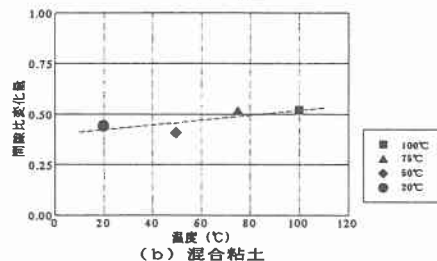
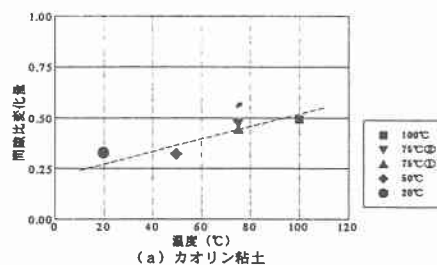


図-4 間隙比変化量-温度

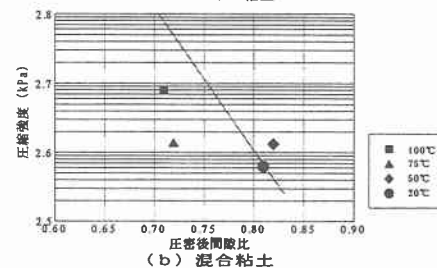
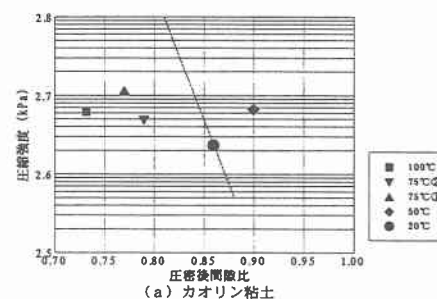


図-5 圧縮強度-間隙比