

III-190 加熱した粘土の三軸排水せん断試験

東京大学 正 東畑郁生

東京大学大学院 学 大石幹太

不動産建設 正 ビット クンティリナ

1. はじめに

筆者らは加熱された粘土の力学的性質を調べるため、圧密試験と三軸せん断試験を行なって来た。ここではカオリン系粘土の三軸排水せん断試験を中心に報告する。

2. 実験方法

使用した粘土はMC粘土と呼ばれ、カオリナイトによく似た組成を持っている。その液性限界は70%、塑性限界は29%、粒子比重は2.751である。これと蒸留水とを混合して、三日間真空下で攪拌して気泡を除いた後、98 kPaで予圧密して供試体を作成した。供試体の直径は5 cm、高さは10 cmである。供試体を三軸試験装置にセットした後、背圧を196 kPa加え、所定の有効応力で圧密した。高温試験ではその後排水状態で温度を90°Cに上昇させた。三軸圧密せん断時の軸ひずみ速度は0.042%毎分である。なおせん断中は温度は一定に保たれている。

3. 三軸せん断試験結果

図1は三軸せん断試験の結果である。応力レベルによらず常に高温供試体の方が、変形係数と強度(15%ひずみ時の応力)の双方で大きな値を示した。特に強度について粘着力 c と内部摩擦角 ϕ を調べたところ、室温で $c=16$ kPa、 $\phi=14^\circ$ 、90°Cでは $c=17$ kPa、 $\phi=15^\circ$ であった。また体積変化に関しては、どの供試体も体積収縮を示すものの、加熱したものの方が収縮しにくかった。

図1から、加熱した粘土の方が材料としての性質がややすぐれていることがわかった。その原因として加熱そのものによる体積収縮があげられる。今回三つの供試体の体積収縮の程度は、含水比にして57%から55%へ、50%から48%へ、48%から46%へ、であり、図1の強度差を説明するに足るようである。

4. 加熱効果の原因に関する仮説

排水せん断時の挙動が加熱によって改善されることがわかったが、同様な現象は三軸非排水せん断においても観察された。また、圧密時間も加熱による水の粘性低下で説明し切れないほど短くなることがわかっている¹⁾。その原因について仮説を立ててみた。

一般に粘土粒子の表面は負に帯電しており、周辺に電気引力/斥力を及ぼす。水 H_2O の分子には平時から電気的な極性があり(図2)、正の電荷を帯びた水素イオンが粘土粒子表面に吸着される。

吸着水の挙動は文献2にも説明されているが、通常の液体としてよりは、むしろ固体のように振舞う。吸着水の層は粘土粒子同士の接触を妨げ、せん断強度も小さくなる。しかし吸着水にはクリープ変形する性質があり、長期間圧密しておく次第に間隙から除去されてゆく。この時粘土の体積は有効応力一定のままでゆっくりと収縮して(二次圧密)粒子接点的形成され、強度も増加する。

粘土を加熱すると水分子の熱運動の結果、吸着水の性質が固体から液体的になる。水分子は十分な運動エネルギーを得て、電気引力圏からた易く飛び出すことができる。この時他の粘土粒子が接近してくる(圧密)と、常温時とは異なり簡単に水を追い出して粒子同士が接触、強度を発現できる。つまり、常温では二次圧密過程という長い年月を経て起こる現象が、高温では迅速に完了するのである。固体であった吸着水層が液体に変わると間隙水の流路も大きくなり、透水係数も大きくなる。

以上の仮説の証左として、水の代わりにノーマル・オクタン C_8H_{18} を間隙流体とするベントナイトの圧密試験を行った。このオクタンは炭素原子が8個直列につながっており、平時には電気的な分極がない(図2)。従って水のような吸着現象ははるかに小さいことを期待した。

図3が実験結果である。常温、高温を問わず圧密は数秒で終了した。水を使った同種の実験では、この程度の間隙比で一昼夜を要するが¹⁾、間隙から固体(吸着水)が除かれた結果、液体が流れやすくなったことが、推察される。

5. まとめ

粘土のせん断強度と剛性が加熱によって増加することを、三軸せん断試験によって確認した。その理由として分子間電気力に基づく仮説を立て、裏づけとなる実験を行なった。

6. 参考文献

- 1) Pisit Kuntiwattanakul (1991) Effects of High Temperature on Mechanical Behavior of Clays, 東京大学博士論文。
- 2) B.V.Derjaguin et al. (1986) Thermal Expansion of Water in Fine Pores, J. Colloid and Interface Science, Vol.106, pp.586-587.

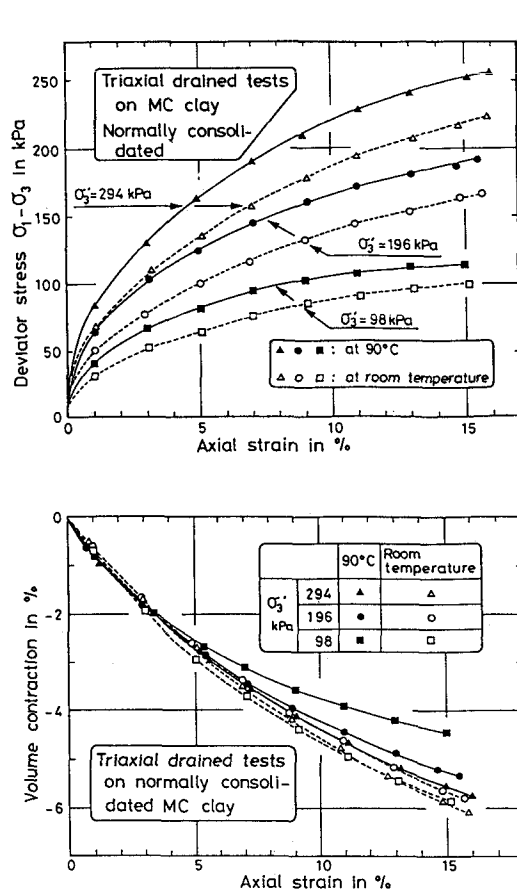


図1 三軸排水せん断試験結果

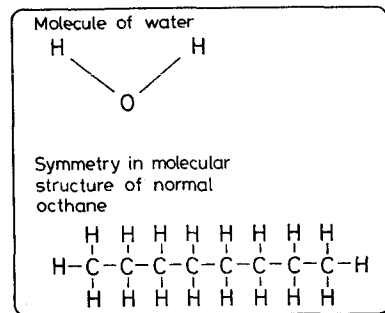


図2 水とノーマル・オクタンの分子構造

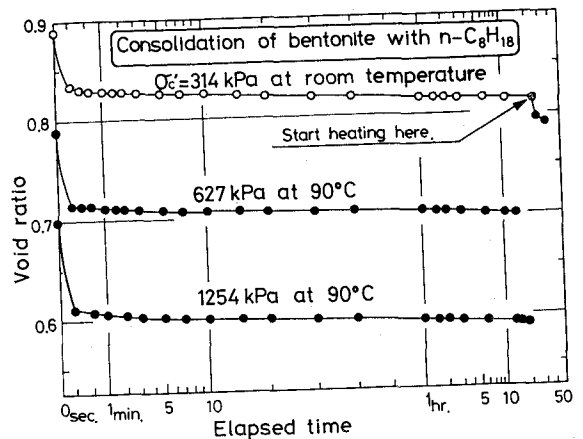


図3 ノーマル・オクタンを使ったベントナイトの圧密試験