

日本大学理工学部 正会員○中山 晴 幸

日本大学大学院 学生員 和田 成 史

1. はじめに

土の応力・変形・強度特性は、その土を構成する土粒子の持つ固有の性質や、環境、応力履歴など多くの因子によって左右されるが、最終的にはせん断時のせん断面付近における土粒子の相対的な移動の結果として発揮されるものと考えられる。本研究は、市販のカオリン粘土を用いた粘土のせん断特性に関する一連の実験的研究の一部で、ある一方向に配列する peds の頻度が多い試料を一次元圧密により作成し、せん断面を明確に規定可能な一面せん断試験により配向方向を変化させてせん断し、そのせん断特性を求めようとするものである。また、走査型電子顕微鏡（以下 SEM と呼ぶ）および光学顕微鏡（OM）によりせん断面の観察を行い、土粒子の集まりである peds の配向方向によって発揮される巨視的な応答であるせん断特性とせん断面付近で生じている微視的な挙動とを対応づけようとするものである。

2. 粘土試料について

試料として用いたのは、市販のカオリン粘土（ASP-100）である。試料を液性限界の約二倍の含水比でスラリー状にし、大型圧密装置により 8kgf/cm^2 まで段階的に圧密して、peds を圧密時の最大主応力面方向に配向するようにした。その際、液相条件として NaCl, KCl をそれぞれ 1% モル濃度の溶液に設定したもので作成したものを、それぞれ Na 粘土、K 粘土と呼び、なにも添加しない試料を水粘土と呼ぶことにする。一次元圧密の後、一面せん断用の試料を図-1 に示すように切り出し、一面せん断のせん断箱にせん断時のせん断方向と配向方向が図の δ に対応するようにセットした。なお、一面せん断は定体積条件で行い、せん断速度は 0.25mm/min である。

3. 巨視的な応答について

図-2 には、一面せん断強度を $\delta = 60^\circ$ を基準にして強度比として表わした。なお、図中白抜きは三軸圧縮試験（CU 条件）の結果を参考としてプロットしたが、 $\delta = 60^\circ$ はこの試料の三軸圧縮時のせん断方向に近いために $\delta = 60^\circ$ を基準とした。液相条件別にこの結果を見ると、 δ の影響があまり無い Na 粘土とかなり影響を受ける水粘土、およびその中間的なものが K 粘土であると言える。とくに水粘土は、その変動幅が大きく、せん断面と配向面とが一致する $\delta = 0^\circ$ で強度が最も低い。その強度は同一条件の最高値である $\delta = -60^\circ$ の半分にも満たない。これに対して Na 粘土は、 $\delta = 90^\circ$ が多少高い値を示しているほかは、ほとんど強度変化が無く、ほぼ一定である。K 粘土については、 δ の影響を多少受けるようであるが、 δ が負になるに従い強度が低下するのは、他の条件では δ が正より負のときが高い強度を示すのに比べて異なる点であろう。また、K 粘土は他の条件に比較して約 1.3 から 1.5 倍の強度を持っている。このような違いは、試料をスラリー状にしたときの液相条件によるものであるが、その時すでに綿毛化が進んでいると考えられる Na 粘土は、その後の圧密荷重による定方向への再配列が生じにくかったため配向方向がばらついていたためと考えられる。一方水粘土は、定方向に再配列する peds が多いと考えることができよう。

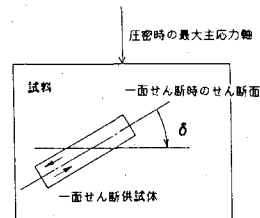
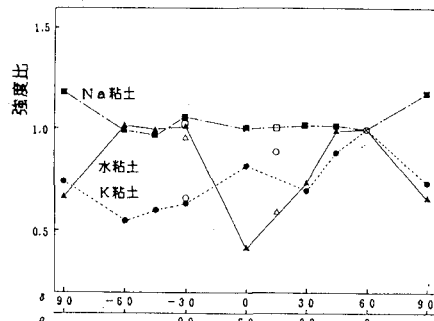
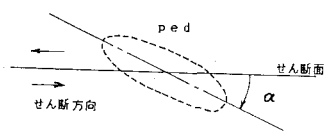


図-1 供試体の切り出し方

図-2 強度比 ~ δ 図-3 せん断面と ped のなす角 α

4. 微視的な挙動について

このような巨視的な応答であるせん断特性と微視的な挙動との対応を見るために、SEM および OM を用いて peds の配向およびせん断面における peds の再配列を観察した。peds の配列方向は、図-3 に示すようにせん断面から時計回りを正として α とした。 α と δ との関係は、 δ を初期配向方向とすれば、 α はせん断による peds の変化を示すことになる。観察した試料のうち、図-4 に示す水粘土 $\delta = +45^\circ$ 、Na 粘土 $\delta = +45^\circ$ 、K 粘土 $\delta = -45^\circ$ について注目した。

これら3試料のうちK粘土についてのみ初期配向方向が異なるのは、K粘土の 45° 供試体が他のものと比較して極端に強度が高いため、強度もほぼ同様でそれぞれ 45° に初期配向している -45° に注目した。また、図-4 は各液相条件による典型的なせん断特性を反映している。例えば、水粘土とK粘土は立ちあがり早く、明確なピークの後急激な軟化を示すのに対して、Na粘土は緩やかなカーブを描いている。

図-5～10までは、各条件の試料に対して、それぞれ初期配向の α の頻度分布およびせん断後の α の頻度分布を示した。水、K粘土共に設定した配向方向の頻度が高く、一次元圧密によって主応力面に peds が沿いやすいことを示している。これに対して、Na粘土はほぼフラットな分布で、前述の圧密前の綿毛化を裏付けている。図-5、6の水粘土は、他の供試体と異なりせん断時の水平変位を通常の約半分である4.0cm変位時のものである。したがって、8.0cm変位させているK粘土、Na粘土と異なり、peds は未だせん断面に対して平行に再配列中であることを示している。

K粘土、Na粘土ともに最終変位時にはせん断面に沿うように再配列しているようであるが、特に注目したいのが、図-9、10のNa粘土である。NaClを添加することにより生じた初期構造は、その後加えられた圧密圧力 (8.0kgf/cm^2) にも影響されずにその構造を保持していたにもかかわらず、せん断によりせん断面方向にかなりの頻度で配列していることは、せん断中の土粒子配列メカニズムを探るうえで重要であろう。

せん断初期の急激な立ち上がりりとピーク後の急激な軟化は、初期配向の頻度が高くその面とせん断面のなす角 δ (α) が 0° または 90° より最も隔たった角、すなわち、 45° のときに生じるであろう。これは、筆者らが三軸圧縮試験より求めた粒子再配列モデルと同じ結論である。

参考文献：中山；構造異方性粘土の強度特性，第15回土質工学会

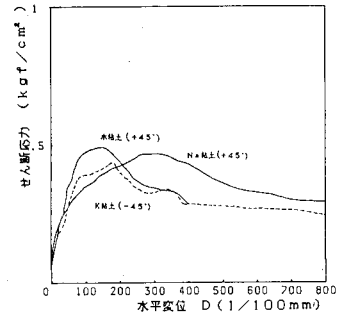


図-4 水平変位 ~ せん断応力

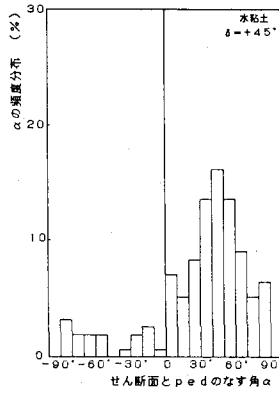


図-5 初期配向時の α の頻度分布

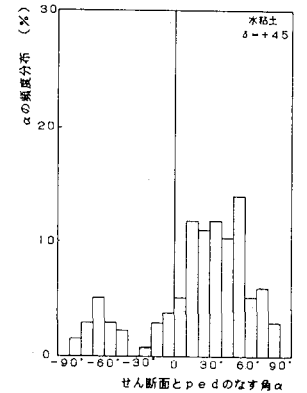


図-6 せん断後の α の頻度分布

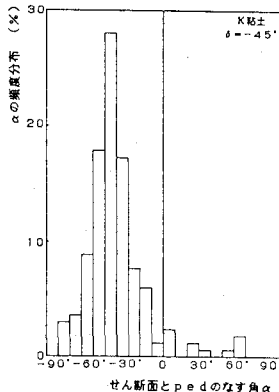


図-7 初期配向時の α の頻度分布

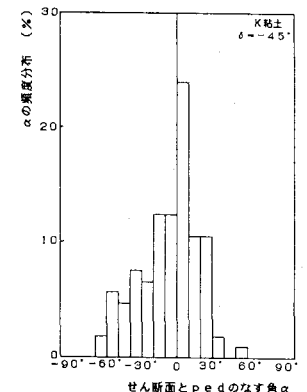


図-8 せん断後の α の頻度分布

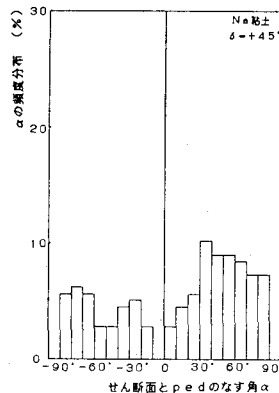


図-9 初期配向時の α の頻度分布

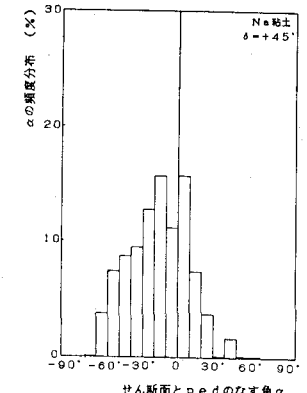


図-10 せん断後の α の頻度分布