

pH が異なる粘性土の非排水せん断挙動

山口大学大学院 学生会員 ○松下英次
山口大学工学部 正会員 鈴木素之 山本哲朗
山口大学工学部 学生会員 得丸景子

1. はじめに 土粒子の堆積環境の化学的条件や含有する粘土鉱物の種類によって、土粒子表面の界面化学的作用が異なり、土粒子間にはそれに応じて異なる大きさの引力と斥力が生じる。これらの引力および斥力の大小関係により、土はランダム構造、綿毛構造、分散構造、配向構造のいずれかの形態で存在している^{1)~3)}。特に、界面化学的作用が強くなる粘土の強度と変形を考える際には、このような物理・化学現象を無視することはできず、これらが土粒子骨格の形成に及ぼす影響を明らかにすることは重要である。本研究は、間隙水の化学的状態を表す pH に着目し、硫酸および水酸化ナトリウムによって土の pH を人工的に変化した場合の粘性土の非排水せん断特性について実験的に検討したものである。

2. 土試料の物理・化学的性質 土試料はカオリン粘土(岡山県吉永町産)および山陽粘性土(山口県山陽町産)の 2 種類である。表-1 にこれら試料の物理的および化学的性質を示す。カオリン粘土は CH、山陽粘性土は CL に分類される。また、表中の記号のうち、 F_{clay} は粘土含有量であり、 $(pH)_i$ は試料調整前の初期の pH である。カオリン粘土は $(pH)_i=6.8$ でほぼ中性、山陽粘性土は $(pH)_i=4.8$ で酸性である。不定方位試料を用いた粉末 X 線回折試験結果より、カオリン粘土および山陽粘性土の主要粘土鉱物はともにカオリナイトであり、その他の鉱物として石英を含んでいることを確認している。

表-1 土試料の物理的および化学的性質

	カオリン粘土	山陽粘性土
$\rho_s(g/cm^3)$	2.618	2.671
$D_{30}(mm)$	0.007	0.036
$D_{max}(mm)$	0.200	2.000
$w_L(\%)$	62.0	49.7
$w_p(\%)$	40.2	27.9
I_p	21.8	21.9
$F_{clay}(\%)$	96.8	33.8
$F_c(\%)$	97.7	56.3
$(pH)_i$	6.8	4.8

3. 実験概要 間隙水の pH を $(pH)_i$ より酸性側に变化させる場合には硫酸を、アルカリ性側に变化させる場合には水酸化ナトリウムを用いる。これらの薬品を用いて pH を調整したスラリー試料を大型圧密装置に詰めて一次的に圧密した。試料の pH は $pH=3.5\sim 8.6$ の範囲で 3 通りに变化させている。鉛直圧密応力 p は $p=9.8\rightarrow 19.6\rightarrow 49.0\rightarrow 98kPa$ のように段階載荷し、第 1~3 段階では 1 日間、第 4 段階では 7 日間圧密した。圧密打切りの目安は 3t 法により決定した。このようにして作製した予圧密試料から三軸圧縮試験に用いる供試体(直径約 5cm、高さ約 10cm)を切り出した。負荷した供試体を等方応力によって正規圧密状態にした後、直ちに軸ひずみ速度 0.1%/min で非排水条件の下で軸ひずみ 15%までせん断した。非排水せん断前の初期有効拘束圧は $\sigma'_{30}=49kPa$ 、 $98kPa$ および $196kPa$ の 3 通りに設定した。なお、試験の前後で pH の値がほとんど変化しないことを確認している。

4. pH が異なる土の非排水せん断特性

(1) 等方圧密過程における間隙比の変化と pH の関係 図-1(a) および (b) にそれぞれ pH が異なるカオリン粘土および山陽粘性土の等方圧密過程における間隙比の変化を示す。図中の e_i は前述したように予圧密試料から三軸供試体を作製する時、すなわち等方圧密前の間隙比 e_{49} 、 e_{98} および e_{196} は

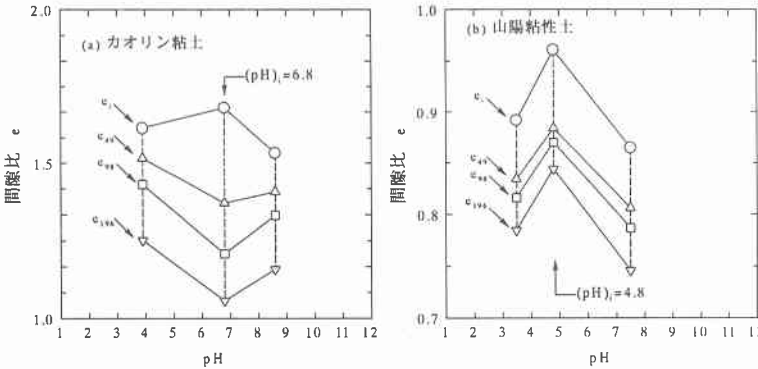


図-1 等方圧密過程での間隙比の変化

等方圧密後の間隙比を示しており、下付きの数字 49, 98 および 196 はそれぞれ等方圧密応力 σ_3 の大きさを示す。カオリン粘土の場合、間隙比は等方圧密前では $(pH)_i$ の場合で最大となるが、等方圧密後では等方圧密応力の値によらず $(pH)_i$ の場合で最小となっている。山陽粘性土の場合、間隙比は等方圧密の前後によらず $(pH)_i$ の場合で最大となっている。このことは等方圧密後の土粒子の構造も試料調整時における pH の値、すなわち間隙水の化学的状態によって大きく異なることを示唆する。

(2) 軸差応力および過剰間隙水圧と軸ひずみの関係 図-2(a) および (b) はそれぞれ pH が異なるカオリン粘土および山陽粘性土の $\sigma'_{30}=98\text{kPa}$ の主応力差 $q(=\sigma'_1 - \sigma'_3) \sim$ 軸ひずみ ε 、過剰間隙水

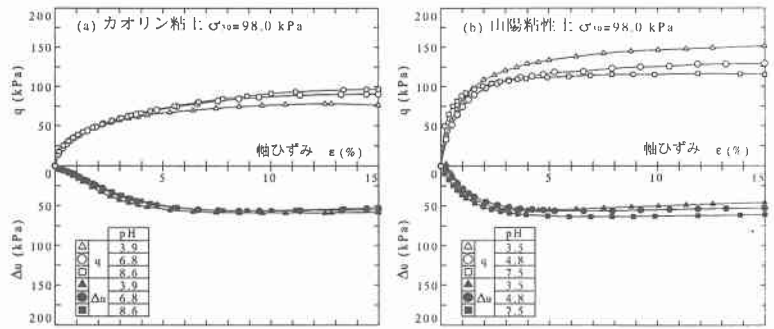


図-2 $\sigma'_{30}=98\text{kPa}$ の q および Δu と ε の関係

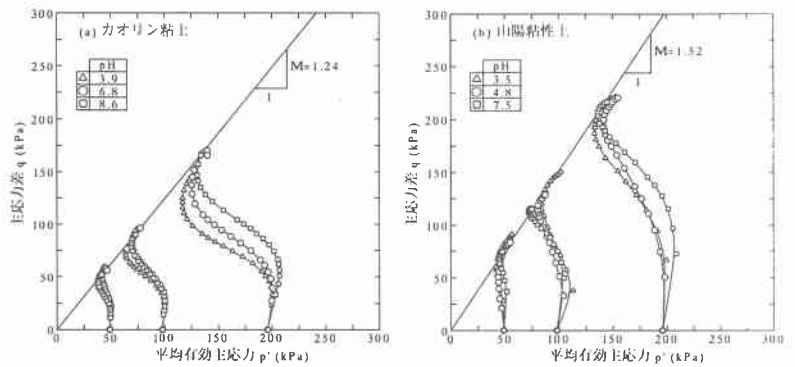


図-3 $p'-q$ 面の有効主応力経路

圧 $\Delta u \sim$ 軸ひずみ ε の関係を示す。カオリン粘土の場合、pH の値が大きいほど最大軸差応力は大きくなっており、 $q \sim \varepsilon$ 関係は pH の大きさの順に並んでいる。過剰間隙水圧と軸ひずみの関係には pH の値により大きな差異はみられない。山陽粘性土の場合には、カオリン粘土とは全く逆の傾向を示し、pH の値が大きいほど最大軸差応力は小さくなっている。過剰間隙水圧と軸ひずみの関係は pH の値により若干異なる。

(3) 有効応力経路と限界状態線 図-3(a) および (b) はそれぞれ pH が異なるカオリン粘土および山陽粘性土の $p'-q$ 面の有効応力経路を示している。なお、 p' は平均有効応力であり、 $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)/3$ で表される。カオリン粘土および山陽粘性土の有効応力経路はともに pH の値により異なる。このことは非排水せん断挙動が間隙水の化学的性質に起因する土粒子構造の影響を受けているものと考えられる。しかし、有効応力経路が最終的に同一の限界状態線に達していることは興味深い。限界状態線の傾き M はカオリン粘土の場合には $M=1.24$ 、山陽粘性土の場合には $M=1.52$ となり、有効応力に関する内部摩擦角 ϕ' はカオリン粘土の場合 $\phi'=30.9^\circ$ 、山陽粘性土の場合 $\phi'=37.3^\circ$ である。

以上の結果を総括すると、間隙水の pH の値によって粘性土の強度・変形特性は大きく変化し、その度合いは土の種類によって異なる。これらの原因の一つとして、pH の変化に伴う土粒子表面における物理化学現象が圧密過程で形成される土粒子の骨格構造を著しく変化させたものと推察できる。

4. 結論 本研究から得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 等方圧密による間隙比の変化はカオリン粘土および山陽粘性土ともに pH の値によって大きく異なる。
- 2) 最大軸差応力はカオリン粘土の場合は pH の増加に対して増加するが、山陽粘性土の場合は減少する。
- 3) $p'-q$ 面の有効応力経路は pH の値によって異なるものの、最終的に同じ限界状態線に達する。

参考文献 1) 土壌物理研究会編：土の物理学—土質工学の基礎—，森北出版，1979。2) 日本粘土学会編：粘土ハンドブック第二版，日本粘土学会，技報堂出版，1987。3) 岩田進午，喜田大三監修：土の環境圏，(株)フジ・テクノシステム，1997。