

pH の異なるカオリン粘土の圧密特性

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 山本 哲朗, 鈴木 素之
(株) クリアス 中家 壮一郎

1. はじめに 我が国の地盤は、長年にわたる気候の変化や火山活動などの自然的要因や人間活動によって生み出される酸性雨などの人為的要因により少なからず酸性化している。土の物理的・工学的性質に及ぼす酸性化の影響については地盤環境工学の立場からいくつか研究がなされているが^{1)~3)}、それらの機構についてはほとんど解明されていない。本研究では、カオリン粘土の圧密特性に及ぼす pH の影響とその機構を検討した結果を述べる。

2. 試料および pH 調整薬品 今回の実験には岡山県吉永産のカオリン粘土を用いた。その物理的性質を表-1 に示す。表-1 に示すように、液性限界 w_L は 62.0 %、粘土分含有率 F_{clay} は 35.3 %である。土質は CH に分類される。主要粘土鉱物はカオリナイトであり、その他の鉱物として石英を含む。

pH の調整薬品には硫酸および水酸化ナトリウムを用いた。この pH 調整薬品によって pH を変化させた試料の物理的性質のほとんどは変化していないが、初期値 $(pH)_i=6.8$ より pH を増加および減少させた場合、液性限界、塑性限界および塑性指数はそれぞれ減少している。

表-1 pH の異なるカオリン粘土の物理的性質

Gs	2.618
D_{50} (mm)	0.007
D_{max} (mm)	0.200
w_L (%)	62.0
w_P (%)	40.2
I_P	21.8
F_{clay} (%)	35.3
F_c (%)	56.4
土質分類	CH
pH	6.8

3. 実験方法 試料に初期の液性限界の約 2.0 倍（含水比約 124.0%）となるように蒸留水あるいは pH 調整薬品を加えた水溶液を加え攪拌してスラリー状にする。pH 調整薬品を加えた水溶液とは pH を pH=6.8 より酸性側あるいはアルカリ性側に变化させるとき、それぞれ硫酸あるいは水酸化ナトリウムを蒸留水に加えたものである。その後 1 日放置し、スラリー状試料を圧密リングに空気が混入しないように十分留意して詰める。圧密試験は土質試験法に準じて行った⁴⁾。

表-2 実験条件とその時の初期含水比および初期間隙比

pH	3.1	5.4	6.8	8.4	10.7
w_0 (%)	121.6	124.6	124.2	124.5	124.8
e_0	3.118	3.023	3.071	3.175	3.268

圧密試験には表-2 に示す 5 種類の pH 供試体について実験を行った。表-2 には各供試体の初期含水比および初期間隙比を示す。

4. 結果および考察 図-1 に各 pH 供試体の間隙比 e と圧密圧力 p の関係を示す。 $p=9.8\text{kPa}$ の間隙比は pH=3.1 の供試体で最も大きく、pH=6.8、5.4、8.4、10.7 の供試体の順で小さくなっている。また、最終段階である $p=1254.4\text{kPa}$ では pH=3.1 と 6.8 の供試体でほぼ同じ間隙比になっている。さらに、pH=5.4 と 8.4 の供試体でもほぼ同じ間隙比になっている。pH=3.1 の供試体の間隙比は、先述したコンシステンシーの関係から推定される結果と異なっている。このことは、pH を変化させることによって正規圧密時の $e \sim \log p$ 曲線の傾きである圧縮指数 C_c が変化するというを意味している。

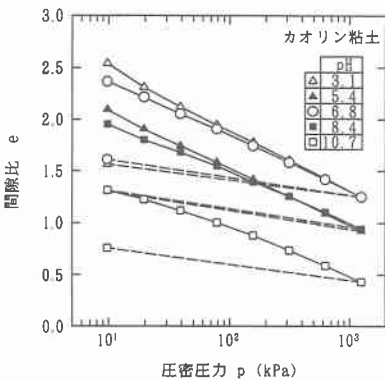


図-1 各 pH 供試体の $e \sim \log p$ 曲線

図-2 に圧縮指数と pH の関係を示す。pH の増加に伴い圧縮指数は減少している。

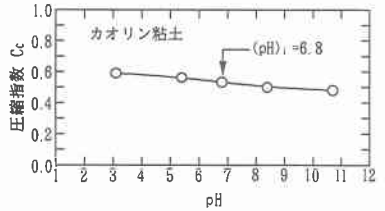


図-2 各 pH 供試体の C_c と pH の関係

図-3 に各 pH 供試体の圧密係数 c_v と平均圧密圧力 $\bar{p}$ の関係を示す。測定値に若干のばらつきがあるが、圧密係数は pH の増加に対して小さくなっている。このことは、pH の違いによって圧密に要する時間が変化

することを示している。

図-4に各 pH 供試体の透水係数 k と平均圧密圧力 $\bar{p}$ の関係を示す。透水係数は pH の増加に対してやや小さくなっているが、工学的に見ればその変化量は無視できるものである。

図-5に各 pH 供試体の体積圧縮係数 m_v と平均圧密圧力 $\bar{p}$ の関係を示す。この図から体積圧縮係数は pH の変化によってほとんど変化がみられない。

図-3～4の結果は平均圧密圧力の影響を受け、平均圧密圧力が 10kPa 程度でそれらの傾向は異なっている。これは、圧密係数、透水係数および体積圧縮係数は $c_v = k / (m_v \cdot \gamma_w)$ の式によって関係しており、10kPa 程度以下では体積圧縮係数が若干変化しているためと考えられる。

以上の結果から、pH の相違によって圧密特性が変化する原因として、以下に述べるように圧密過程で形成される土粒子の骨格構造に変化が生じたためと考えられる。

粘土粒子の表面には負に帯電した永久荷電、端面には pH の変化により電荷が変化する pH 依存荷電が存在する。pH 依存荷電は硫酸を加えて酸性にすると正に帯電し、水酸化ナトリウム水溶液を加えてアルカリ性にすると負に帯電する⁵⁾。酸性側では負の永久荷電と正に帯電した pH 依存荷電が結合し、綿毛構造を形成すると考えられる。一方、アルカリ性側では負の永久荷電と負に帯電した pH 依存荷電が互いに反発し合い、配向構造を形成すると考えられる。綿毛構造は圧縮性が高く、透水性が良いのに対して、配向構造は圧縮性が低く、透水性が悪いと言われている⁵⁾。このような pH の違いによって圧密過程で形成される土粒子の骨格構造が変化し、圧密圧力の変化に伴い土の圧密特性が変化したものと考えられる。

5. まとめ 今回用いた pH を 5 種類に変化させたカオリン粘土の圧密試験の結果は次のようにまとめられる。

- (1) 圧縮指数は pH の増加に対して減少する。
- (2) 圧密係数および透水係数は pH の増加に対して減少する。
- (3) 体積圧縮係数は pH の増加に対してほとんど変化しない。
- (4) 上記(2)および(3)の結果は平均圧密圧力が 10kPa 程度で傾向が異なる。

- (5) 上記の理由として pH の変化によって土粒子に作用している表面電荷が変化し、圧密過程において形成する土粒子の骨格構造が変化したものと考えられる。

参考文献 1) 松下英次, 山本哲朗, 岩井 勝: 安中ベントナイトの繰返しせん断強度に及ぼす pH の影響, 第 33 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.791-792, 1998. 2) 松下英次, 山本哲朗, 鈴木素之: 土のコンシステンシーに及ぼす pH の影響, 土木学会論文集, No.617/III-46, pp.283-297, 1999. 3) 亀井健史, 佐野博昭: ベントナイトの工学的特性に及ぼす水素イオン濃度指数の影響, 地すべり, 第 30 巻, 第 2 号, pp.30-40, 1993. 4) 土質工学会編: 土質試験の方法と解説, 土質工学会, pp.289-315, 1990. 5) 土質工学会: 粘土ハンドブック第二版, 技報堂出版, 1987.

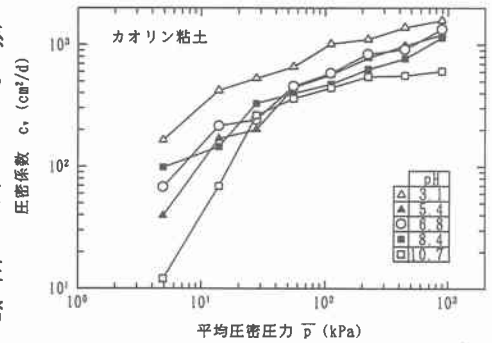


図-3 各 pH 供試体の c_v と $\bar{p}$ の関係

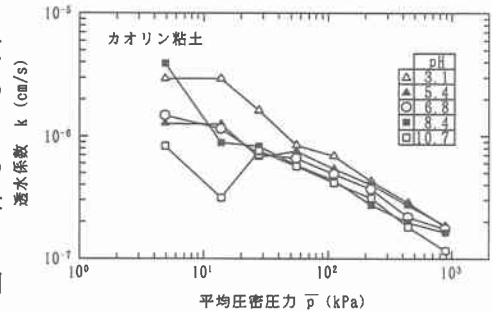


図-4 各 pH 供試体の k と $\bar{p}$ の関係

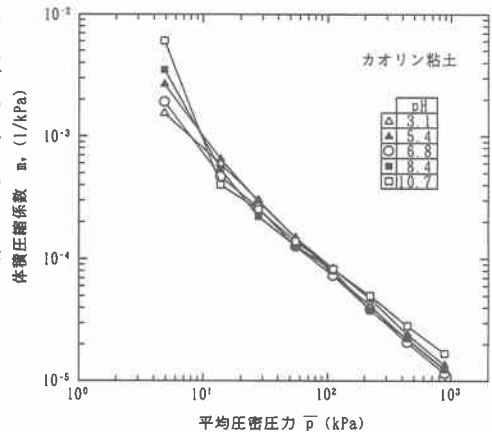


図-5 各 pH 供試体の m_v と $\bar{p}$ の関係