

庄原粘土の繰返しせん断強度特性に与える水素イオン濃度指数の影響

山口大学工学部 正会員 山本 哲朗
三井不動産建設(株) 畑岡 直樹
山口大学大学院 学生会員 ○松下 英次

1. まえがき 近年、酸性雨によって地盤の酸性化の進行している事実が指摘されている。また、間隙水の水素イオン濃度指数(以下、pH という)の違いによって、粘性土の静的な強度・変形特性が異なるという結果が報告されており¹⁾、pH は粘性土の土質工学的特性を評価する際の重要な要素の一つであることを示唆している。著者らは前報²⁾で宇部岬粘性土の繰返しせん断強度に及ぼす pH の影響を繰返し三軸試験によって明らかにした。本報告では庄原粘土について同様な実験を行って得られた結果を述べる。

2. 土および pH 調整試薬 今回の実験には、広島県庄原産の庄原粘土を用いた。その物理定数を表-1に示す。この粘土の主要な鉱物はハロイサイト、イライトおよび滑石であり、その他に石英を含む。粘土分は50%である。間隙水の pH 値を調整するために硫酸および水酸化ナトリウムを用いた。

表-1 庄原粘土の物理定数

Gs	2.681
D ₅₀ (mm)	0.005
D _{max} (mm)	0.075
wL (%)	50.8
wP (%)	30.9
I _p	19.8
F _{clay} (%)	50.0
FC (%)	100.0
pH	4.3
土質分類	CH

3. 実験方法 庄原粘土に液性限界の約 1.7 倍程度の含水比になるように蒸留水を加え、練返してスラリー状にした後、タンク圧密を行うことによって再構成試料を作製した。圧密圧力 p は 9.8, 19.6, 49.0, 98.0kPa の 4 段階とし、圧密日数は 3 段階目までは 1 日、最終段階を 1 週間とした。この時の間隙水は pH=4.3 を示し、この試料は以後、弱酸性試料という。強酸性試料はそれに硫酸を加え、pH=3.1 に調整した。中性試料およびアルカリ性試料は、ともに水酸化ナトリウムを加えてそれぞれ pH=7.7 および 9.3 に調整した。圧密終了後、整形した供試体を用いて繰返し三軸試験を行った。試験は、有効拘束圧 $\sigma'_{30}=98\text{kPa}$ のもとで 1 日間圧密を行った後、周期 10 秒の振幅一定の繰返し軸差応力 σ_a を供試体に破壊が発生するまで作用させた。本研究での破壊は、両振幅軸ひずみ $DA=10\%$ に達した時と定義した。

4. 結果および考察 図-1 に、タンク圧密時の試料の間隙比 e と圧密圧力 p の関係を pH ごとに示す。この図から、p=9.8kPa での圧密終了時の間隙比は pH 値によって大きく変化することがわかる。また、圧密圧力の増加とともに、中性試料の間隙比の減少量は p=19.6kPa 以降やや大きくなり、最終段階における間隙比は、アルカリ性、中性、強酸性、弱酸性試料の順に小さくなっている。

標準圧密試験から得られた各供試体の間隙比と透水係数を用い、コゼニー・カルマンの透水係数 ($k_0 S^2 = e^3 / (k(1+e))$)³⁾ により、土粒子構造の定量的な判定を行った。その結果を図-2に示す。 $k_0 S^2$ とは、その値が大きくなると土粒子構造は配向性を示し、小さくなると綿毛性を示すと言われている。pH=3.1~7.7 では、pH による供試体の $k_0 S^2$ 値の増加は僅かであるが、pH=7.7 以上では $k_0 S^2$ 値は急増している。このことから、タンク圧密された庄原粘土の土粒子構造は、酸性試料は綿毛性構造、アルカリ性試料は配向性構造を有しているものと考えられる。

図-3 には、繰返しせん断応力比 $\sigma_d/2\sigma'_{30}$ と破壊までの繰返し回数 n_L の関係を示す。この図から、繰返しせん断応力比はアルカリ性供試体の場合で最も大きく、次いで弱酸性、強酸性、中性供試体の順に小さくなっている。特に、アルカリ性供試体の繰返しせん断応力比は、他の供試体に比べて約 3 倍程度大きいことがわかる。この原因は、タ

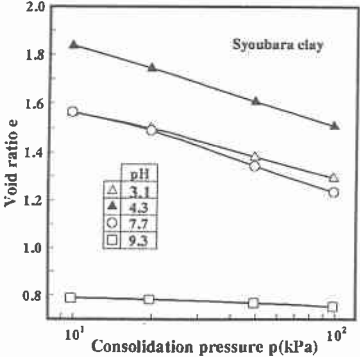


図-1 タンク圧密試験における e~logp 関係

ンク圧密に生じた粘性の高い凝集物の圧密により、間隙比が小さくなったためと考えられる。この凝集物とは、水酸化ナトリウムを添加して間隙水中に多量の陽イオン(Na^+)が解け出した結果、その陽イオンが土粒子表面全体に吸着して拡散電気二重層の厚さが減少するため、逆に土粒子の分散が妨げられて凝集したものと推測される^{4), 5)}。

また、繰返しせん断応力比は、弱酸性、強酸性、中性供試体の順に小さくなっている。この原因は、上述したような土粒子の骨格構造の差異によるものと考えられる。弱酸性供試体は、間隙水による電気的な影響を受けておらず、分散構造を形成しているものと考えられる。配向性構造を形成している中性供試体では、土粒子が本来有している負の永久荷電と負に帯電した pH 依存荷電が反発し合って土粒子間の結合力が弱くなるため、繰返しせん断強度は低下したものと考えられる。綿毛性構造を形成している強酸性供試体では、負の永久荷電と正に帯電した pH 依存荷電が吸引し合って端・面結合を生じるが、この結合は繰返し応力を受けると容易に分離され、急激に土粒子の再配列を引き起こす⁶⁾。そのため、弱酸性供試体の分散構造に比べて大きなひずみを生じ、同じ応力下での繰返し回数が減少するので、相対的に繰返しせん断強度は低下したものと考えられる。

図-4 に、各供試体の繰返しせん断強度 R_{20} と一軸圧縮強度 q_u の関係を示す。 R_{20} とは、 $n_L=20$ 回での繰返しせん断応力比の値である。アルカリ性供試体は、先にも述べたように特異な凝集沈殿を生じて作られたものであるため、動・静的強度ともに非常に大きな値を示す。これに対し、強酸性供試体の q_u は、弱酸性供試体のそれよりも大きな値を示すものの、 R_{20} は弱酸性供試体のそれよりも小さな値となる。

このように、庄原粘土では、繰返しせん断強度と一軸圧縮強度に与える pH の影響は異なることが明らかにされた。この点をさらに吟味するには、今回用いた硫酸の代わりに塩酸を用いて作製した酸性供試体について、同様の実験を行ってみることが必要と考える。

5. まとめ 今回用いた庄原粘土では、繰返しせん断強度はアルカリ性供試体で最も大きく、続いて弱酸性、強酸性、中性供試体の順序で小さくなるという結果が得られた。また、後者の3つの供試体に注目すると、pH 値を変化させていない現状試料の繰返しせん断強度が最も大きく、土粒子の骨格構造が配向性構造および綿毛性構造になると、繰返しせん断強度が減少することが明らかにされた。また、繰返しせん断強度および静的強度に与える pH の影響は異なることが示された。

参考文献 1) 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。2) 山本哲朗・畑岡直樹・真鍋 浩：水素イオン濃度指数の宇部岬粘性土の繰返しせん断強度に及ぼす影響，第31回地盤工学研究発表会，pp.1323~1324，1996。3) 土質学会編：土質工学における化学の基礎と応用—土質基礎ライブラリーNo.15，1978。4) 須藤俊男：粘土鉱物学，岩波書房，pp.243~244，1974。5) 日本粘土学会編：粘土ハンドブック第二版，技報堂出版，1987。6) 土質物理研究会：土の物理学—土質力学の基礎，森北出版，pp.16~17，1979。

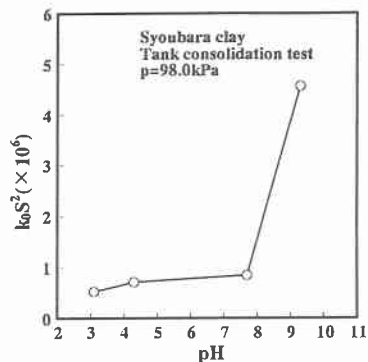


図-2 $k_0 \sigma'_v$ と pH 値の関係

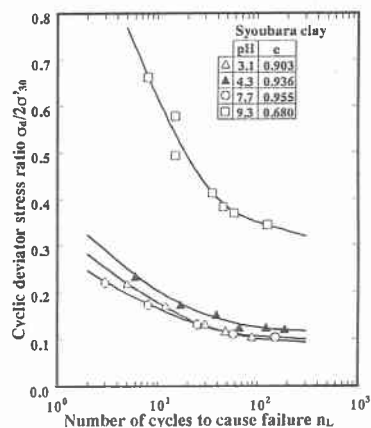


図-3 各供試体の $\sigma_d/2\sigma'_{30}$ と n_L の関係

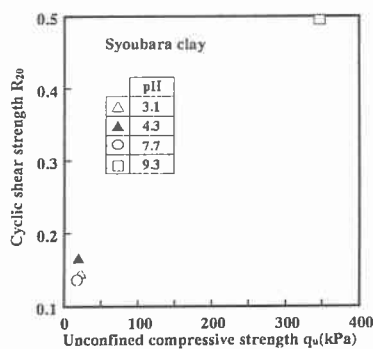


図-4 各供試体の R_{20} と q_u の関係