

構造を有する粘土の繰返しせん断履歴による体積圧縮挙動

北海道大学大学院 学生会員 ○畑中佑太
 北海道大学大学院 学生会員 西間友洸
 北海道大学大学院 正会員 磯部公一

1. はじめに

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震後に観測された柏崎市中心地における粘性土地盤の沈下は、地震から8年が経過した現在ようやく沈下が収まりつつある¹⁾。この地盤沈下は地下水位の低下に起因した沈下とは異なり、地下水位の変動とは相関性がないことが観測により明らかになっている。このような地震を起因とした軟弱粘土地盤の沈下現象は「土の構造の低位下」による圧縮軟化現象である可能性が高いことが過去の多数の事例から示されている²⁾。

そこで本研究では、地震後も継続する粘性土地盤の長期圧密沈下挙動のメカニズムを解明し、今後の沈下量を予測するために、構造を有する飽和粘性土の繰返しせん断挙動を非排水繰返し三軸試験により把握した。実験試料には、構造が発達した不攪乱の自然堆積粘土を模擬するために、カオリン粘土に微量のセメントを混合し養生した人工粘土を用い、構造の程度(セメント添加、養生時間)が地震後の再圧密挙動に与える影響を検証した。

2. 実験概要

本研究では、構造を有する飽和粘性土地盤を市販のカオリン粘土(液性限界43.5%、塑性限界28.1%、塑性指数15.4、土粒子密度 2.632 g/cm^3)に普通ポルトランドセメントを添加して試料を作製した。セメント添加量を乾燥質量比0.5%とし、養生時間3日間、10日間として構造を発達させた試料および28日以上養生した後に練り返して構造を喪失させた試料の3種類を用意した。本実験では、a) 圧密圧力100 kPaに対して構造の無いもの(練り返した試料)より大きな間隙比を示すこと、b) 100~500 kPaの間で正規圧密曲線に漸近すること、c) 圧縮指数比が1.5以上となることを目標とした。なお、本研究での養生時間は、非排水繰返し三軸試験では試料作製開始から三軸試験機でせん断を行うまでの時間を指す。

3. 実験結果

本実験では事前に圧密特性を把握する目的で標準圧密試験を行った。図-1にカオリン粘土の圧密曲線を示す。同図より、練り返した試料と養生時間3日、および10日添加試料を比較すると、a), b), c)の全ての条件を満足している。よって、当初の目的どおり、構造を有する粘性土の特性を人工的に再現できていることがわかる。

セメント無添加カオリン粘土供試体に対して、振動数0.005Hz、3種類のせん断応力比SR(0.2, 0.15, 0.12)でDA=5%となるまで繰返し三軸試験を行い、カオリン粘土の繰返しせん断挙動を把握した。本試験で求められた液状化強度曲線より、セメント無添加カオリン粘土の液状化強度 R_{L20} は0.15となった。

図-2にせん断応力比SR=0.15の条件下における3種類の供試体の繰返しせん断中の有効応力経路を示す。DA=5%に達するまでの繰返し回数は、セメント添加量0.5% (養生時間10日)、練返し、セメント添加量0.5% (養生時間3日)の供試体の順で大きくなった。

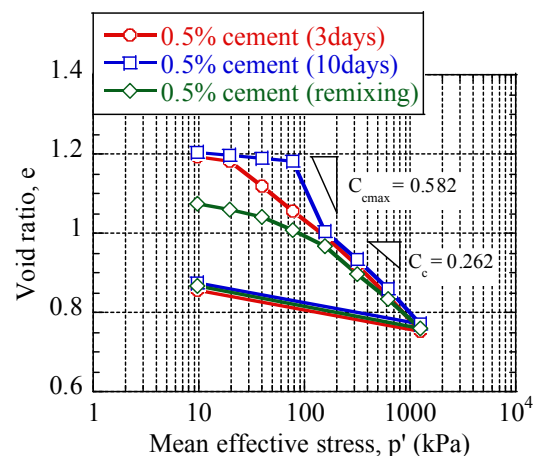


図-1 圧密曲線

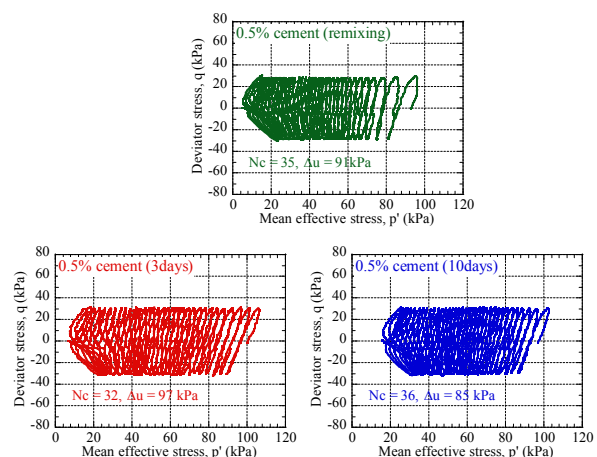


図-2 有効応力経路

次に、各供試体のせん断応力比SR=0.15における偏差応力と軸ひずみの関係を図-3に示す。両振幅軸ひずみDA=5%に達した時点の最終的な軸ひずみはどちらも伸長側が卓越しており、セメント添加による伸長側、圧縮側のひずみの発生割合に大きな差異は見られず、両振幅軸ひずみDAが5%に達した

キーワード 粘土の構造 地震 長期圧密 沈下 繰返し三軸試験

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究院

後に偏差応力をゼロに戻した際の残留ひずみは、繰返し試料、セメント添加量 0.5% (養生時間 3 日)、セメント添加量 0.5% (養生時間 10 日) の順で大きくなり、構造なしの供試体の方が大きな残留ひずみを示した。

図-4 に繰返しせん断後の再圧密過程における間隙比の変化量を示す。構造が発達した供試体の方が、体積収縮が多く生じており、構造の程度が大きい養生時間 10 日の方がその傾向が顕著である。これは、構造の程度が大きいほど、構造の低位化による負のダイレイタンスが大きくなるためと考えられる。また、3t 法に基づき圧密の終了判定を行うと、3t の時間は繰返して構造を喪失させた供試体の方が早く、セメントを添加し人工的に構造を持たせることで圧密終了時間は遅くなっている。これは、構造を有する供試体は、排水の過程で構造が劣化することにより過剰間隙水圧が発生し、その発生分が消散することでさらに圧密が進むという圧縮軟化現象が原因だと考えられる。

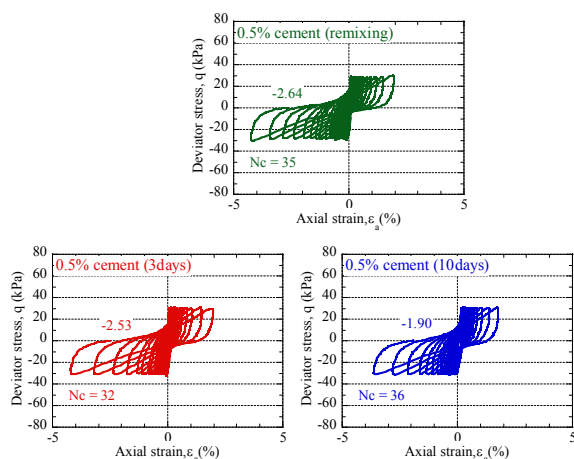


図-3 偏差応力-軸ひずみ関係

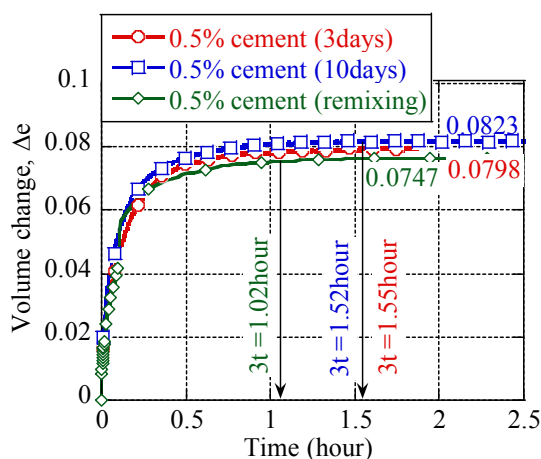


図-4 排水挙動

図-5 に間隙比の変化と過剰間隙水圧比の関係を示す。繰返して構造を喪失させた供試体に比べセメントを添加して構造を有する供試体の方が、過剰間隙水圧消散に対する体積収縮量が多いことがわかる。繰返しせん断前後と排水後の間隙比と有効応力の結果を基に、動的圧縮指数 C_d を算出すると、繰返した供試体では $C_d=0.0512$ となり、セメント添加量 0.5%

で養生時間 3 日と 10 日ではそれぞれ $C_d=0.0555$, $C_d=0.0928$ となる。ここで C_d とは次式で表される値である。なお Δu は過剰間隙水圧の発生量を、 p' は有効応力を示す。

$$C_d = \frac{\Delta e}{\log SRR}, \quad SRR = \frac{p'}{p' - \Delta u} = \frac{1}{1 - \Delta u/p'}$$

以上の結果より、セメントを添加して人工的に構造をもたせた粘土の方が、動的圧縮指数が大きいことから、地震時に圧密沈下量が大きくなる可能性が示された。

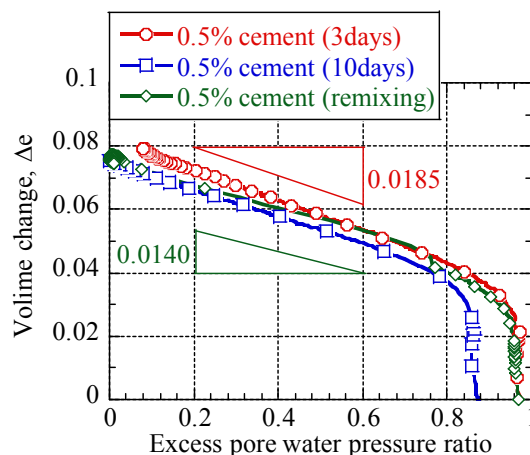


図-5 過剰間隙水圧比と Δe の関係

4. まとめと今後の課題

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ①セメント添加により人工的に構造を持たせた粘土は、繰返して構造を喪失させた粘土に比べ、液状化強度が大きい。
- ②繰返しせん断後の排水挙動では、構造の低位化に起因して構造を有する粘土の動的圧縮指数 C_d が、構造が発達していない粘土に比べて大きい。
- ③構造を有する粘土の方が過剰間隙水圧の消散に時間がかかり、圧密の長期化が観測された。これは、排水時に構造が劣化し、間隙水圧の上昇、上昇分がさらに排水されるという圧縮軟化現象の発生を示唆している。

今後は、種々の条件での実験結果を蓄積し、粘性土地盤の長期圧密沈下挙動のメカニズムを解明し、地震後に生じる長期圧密沈下量の予測手法の構築を検討する予定である。

<参考文献>

- 1) 磯部公一, 大塚悟, 高原利幸: 地震後も続く粘性土地盤の長期圧密沈下挙動の解明, 地盤工学会特別シンポジウム論文集 (CD-R), 2014.
- 2) 中井健太郎, 野田利弘, 中野正樹, 浅岡顕, 竹岡秀克: 地震時に乱された粘土の地震後圧密挙動, 第 19 回中部地盤工学会シンポジウム, 2007.
- 3) 松田博, 柳楽英希: 繰返しせん断によって生じる飽和粘土の有効応力減少と再圧密特性, 土木学会論文集, No.659/III-52, pp.63-75, 2000.