

遠心模型実験を用いた高位構造粘土地盤の地震後圧密沈下挙動の解明

北海道大学大学院 ○西間友洸(学), 畑中佑太(学), 磯部公一(正)

1. はじめに

新潟県中越沖地震および東日本大震災などの地震後に軟弱粘性土地盤の長期に渡る沈下現象が報告され不同沈下などが問題となっている¹⁾. 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事例からも報告されている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するために、遠心模型実験においてプロトタイプスケールで深度10 mの様な自重圧密地盤に対し加振および再圧密実験を行い、地震後の再圧密沈下挙動を把握した. 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、構造の程度が地震後の再圧密挙動に与える影響を検証した.

2. 遠心模型実験の概要

遠心模型実験では、1/50に縮小して作製した構造を有する模型地盤に対し、50Gの遠心加速度環境において自重圧密を行った後、地盤底部より加振を行い、過剰間隙水圧の上昇とその後の沈下挙動を観察した. 作製した地盤の概略図と計測機器の設置箇所を図-1に示す. 模型地盤は、厚さ0.3 mmのメンブレンを側壁に設置したせん断土槽内(1層40 mm×6段)に、プロトタイプスケールで1層あたり2.5 m、全4層で合計10 mを作製した. 試料は、非排水繰返し三軸試験³⁾と同様に、構造の程度による影響を把握するため、カオリン粘土に乾燥質量比0.5%のセメントを添加し、3日間養生したカオリン粘土と、セメント無添加のカオリン粘土を用いた. 粘性土地盤の上下端には、珪砂7号を用いて排水砂層を設けた. 図中のP, A, Dはそれぞれ水圧計, 加速度計, 鉛直変位計ターゲット位置を示す. 各種計測機器の設置箇所は、壁面の影響を最小限に抑えるために、図のように中心近くに配置した. なお、加振時および加振後の再圧密過程では側面および底面は非排水条件とした.

実験手順は、まずスラリー状態で準備した模型地盤に対し50Gの遠心加速度を与え、各層の沈下量、

水圧が落ち着くまで自重圧密した後、50Gの条件で入力加速度の大きさを段階的に変えるステップ加振

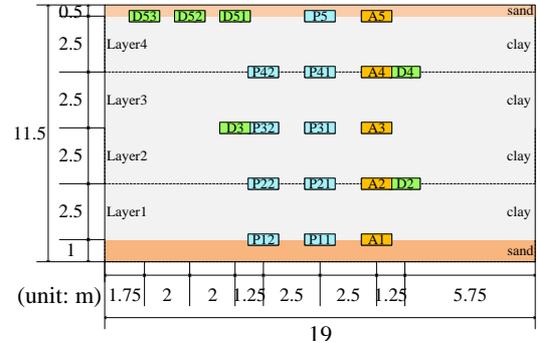


図-1 実験地盤外略図

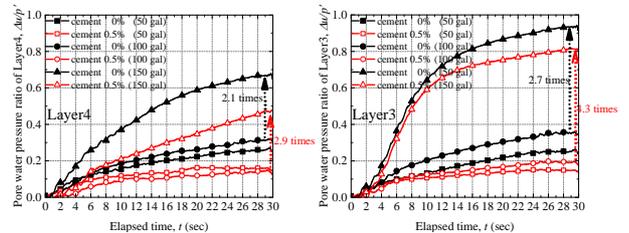


図-2 加振中の過剰間隙水圧比の時刻歴

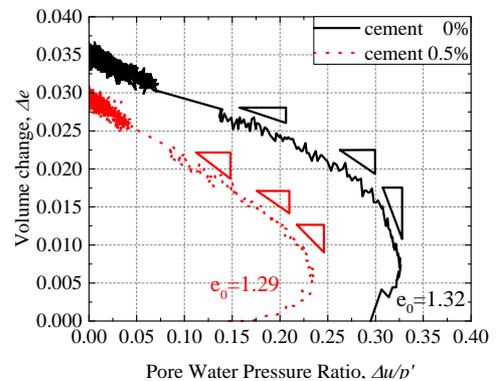


図-3 間隙比変化量-過剰間隙水圧比曲線

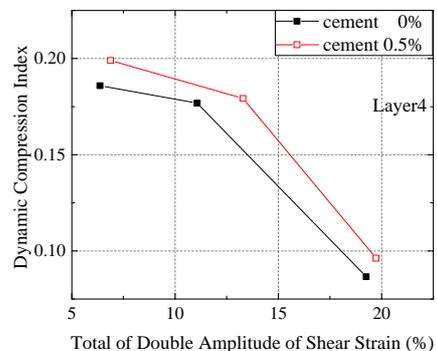


図-4 動的圧縮指数～累積せん断ひずみの関係

キーワード 粘土の構造, 地震後圧密, 遠心模型実験

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 地盤環境解析学研究室

を行った。本実験で用いた入力波はすべてサイン波であり、合計30波のうち前後5波ずつにテーパーを設けている。各ステップにおける目標加速度振幅は50, 100, 150 galであり、各加振後しばらく圧密沈下挙動を観測し、過剰間隙水圧の消散を確認した後、次のステップに進むこととした。

3. 実験結果

図-2に3層目および4層目の加振時に発生した過剰間隙水圧の経時変化を示す。すべてのステップにおいて構造なしの方に大きな過剰間隙水圧比が発生しているものの、2ステップ目(100 gal)の過剰間隙水圧比と3ステップ目(150 gal)の過剰間隙水圧比の上昇率を比較すると、構造なしでは全層で2.1倍から2.7倍の上昇率であったのに対し、構造ありでは2.9倍から4.3倍の上昇率を示した。これは加速度を上げるにしたがって急激に大きなせん断ひずみが発生し、脆性的な挙動を示したことが要因と考えられる。図-3に1ステップ目(50 gal)において沈下の大きかったLayer4の加振後の間隙比の変化量と過剰間隙水圧比の消散との関係を示す。なお、それぞれの地盤の初期間隙比は1.32および1.29である。単純に最終的な間隙比の変化量だけで比べると構造なしの地盤は0.035、構造ありの地盤は0.030と構造ありの地盤の方がより大きく沈下しているように見えるが、過剰間隙水圧比との関係を比較すると、構造なしの地盤は加振後過剰間隙水圧比が最大値に達したところから過剰間隙水圧比が消散する過程において、過剰間隙水圧比の減少量に対する間隙比の減少勾配(図中の三角形)が徐々に減少しているのに対し、構造ありでは大きな勾配の減少は認められない。これは、圧密沈下が進むにつれて回復する有効応力に対し、構造の低位化が引き起こされ、沈下の収束が遅れる「圧縮軟化現象」が生じている可能性がある。

図-4に、各試料の下に記す動的圧縮指数⁴⁾(式1)と各ステップ加振により地盤内に生じた累積せん断ひずみの関係を示す。先述の通り、間隙比の減少量のみ注目すると構造なしのものがより大きな沈下を引き起こしているが、図-4に示す動的圧縮指数は、構造ありの方がより大きな値を示すことがわかる。

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

図-5に、遠心模型実験から得られた動的圧縮指数と、加振前の間隙比との関係(繰返し三軸試験の結果も併記)を示す。同図より、動的圧縮指数は加振前の初期間隙比と相関性が高く、一部例外はあるも

のの全体的に構造を有する粘性土地盤において、大きな動的圧縮指数を有することがわかる。

4. まとめ

- ①構造を有する粘性土は、初期剛性が高いがある閾値以上の大きなせん断応力履歴が加わると、脆性的な挙動を示す。特に、その傾向は過剰間隙水圧の発生挙動において顕著であり、繰返しせん断による構造の低位化が主たる原因と考えられる。
- ②粘性土地盤は砂質地盤と比較して透水係数が小さいため、繰返しせん断後の再圧密過程では圧密排水が収束するまでに長時間を要するが、構造を有する粘性土では「土の構造の低位下」による圧縮軟化現象により、さらに長期化する可能性がある。
- ③構造を有する粘性土は、構造のない粘性土と比べて動的圧縮指数が大きい。また、動的圧縮指数は、構造の程度(加振前の初期間隙比の大きさ)や累積せん断ひずみ量と相関が高い。

以上の結果より、構造を有する粘性土地盤は構造の低位な粘性土地盤に比べて、地震後の沈下被害が深刻化するとともに、長期化する可能性が示された。また、構造の程度と動的圧縮指数および圧密係数との相関性から、簡便に地震後の長期圧密沈下量、沈下時間を予測できる可能性を示した。

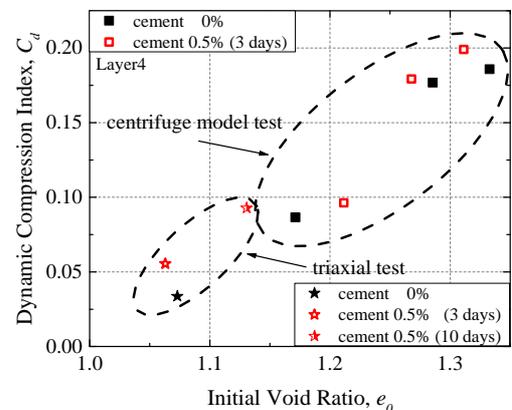


図-5 動的圧縮指数-初期間隙比関係

参考文献

- 1) 磯部ら：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，2014。
- 2) 中井ら：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) 畑中ら：繰返しせん断履歴を受けた構土を有する粘土の体積圧縮挙動の評価，第56回地盤工学会北海道支部技術報告集，2016。
- 4) 松田ら：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。