

繰り返し圧密試験と地下水の冬期揚水による広域地盤沈下の数値解析

環境防災研究室 菅原 あいり

指導教員 大塚 悟

1章 はじめに

地盤が沈下する要因の一つには、地下水位が変動することにより地盤に作用する繰り返し荷重がある。新潟県では冬期の消雪に地下水を利用する消雪パイプが普及しており、消雪に利用するため地下水位の年間変動は極めて大きく、継続的な地盤沈下を引き起こしている。上越地域にて起きた地盤沈下問題は、昭和59年から61年の豪雪年において消雪用地下水利用の増加により、全国上位の地盤沈下が生じたことで、従来の上水道や工業用の規制から消雪用を重点とした各種の地盤沈下対策を展開することとなった。冬期の道路の確保は市民生活や経済活動にとって必要不可欠である。地下水を過剰に汲み上げれば、地盤沈下が生じることは自明のことであり、行政も市民も地下水に依存しない除雪体制を作らないことには、根本的な地盤沈下防止対策とはいえない。地下水の利用が毎年同じ規模で安定的に実施されれば地盤沈下は収束すると推測されるが、現実には地下水の変動に対して沈下が収束する期間を推測した事例は過去にない上、地盤が過圧密状態になっても地下水位変化の繰り返しに対する沈下の発生も危惧されている。

本研究では、地下水位の変動を圧密荷重の載荷・除荷の応力サイクルで考慮する1次元圧密試験によって、現地地盤の圧密特性を明らかにし、圧密試験から得られた結果から解析パラメータを決定し、地盤沈下の完全連成解析を実施することにより、地下水の繰り返し変化に対する軟弱地盤層の沈下挙動について数値解析により検討する。

2章 繰り返し圧密試験

2-1. 試料の物理特性

新潟県内の4地点(紫雲寺潟, 豊栄, 黒崎, 白根)における繰り返し圧密試験を比較, 考察する。図.1は旧紫雲寺潟の柱状図と物理特性を示すが, 主にシルト分と粘土分で構成され, 砂分・シルト分・粘土分の構成比はほぼ同じ値となっているにも関わらず,

物性値には大きな差異がある。これは陸成, 海成などの土の堆積条件や, 有機物含有量の大小による影響が大きいと推測されている。

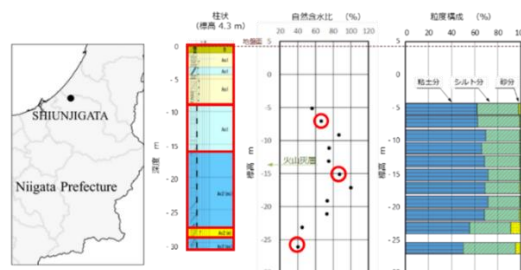


図.1 旧紫雲寺潟の地盤特性¹⁾

2-2. 繰り返し圧密について

地下水位の変動を圧密荷重の載荷・除荷の応力サイクルで考慮する1次元圧密試験を実施した。従前, 繰り返し荷重に対する粘性土の変形挙動は交通荷重を念頭にしたせん断応力の繰り返し載荷が実施されてきたが, 本研究では1次元圧密のためにせん断応力の繰り返し載荷は考慮しない。過去に実施例の少ない試験であり, 試験データは参考文献に見当たらない。本研究では軟弱地盤が厚く堆積する旧紫雲寺潟から不攪乱試料を採取して繰り返し圧密試験を実施する。また, 指導教員が連携して実施した北陸農政局・信濃川水系土地改良調査管理事務所による他地点の試験結果²⁾と比較し, 圧縮沈下を生じやすい土の特徴を明らかにする。

2-3. 圧密試験結果

骨格構造の有無が繰り返し載荷に伴う土の圧密挙動にどのような影響を与えるかを把握するため, 旧紫雲寺潟から作成した自然堆積土と再構成土において繰り返し圧密試験を実施した。図.2, 3に試験結果を示す。繰り返し荷重は450(kPa)~200(kPa), 繰り返し回数15回である。図.4に繰り返し1回あたりに発生するひずみ量と過圧密比幅の関係性を把握するために, 正規圧密状態から過圧密比OCR=1.25, 1.75, 2.5, 5まで除荷した後に再載荷したものを示す。図.5に各繰り返し載荷により発生したひずみ量と繰り返し

し荷重を載荷する過圧密比の関係を示す。図より、繰り返し荷重を載荷する過圧密比幅が大きくなるほど、大きなひずみが発生していることが確認できる。したがって、繰り返し載荷により発生するひずみ量は繰り返し荷重の大きさに相当する過圧密比の大きさに比例することが分かる。

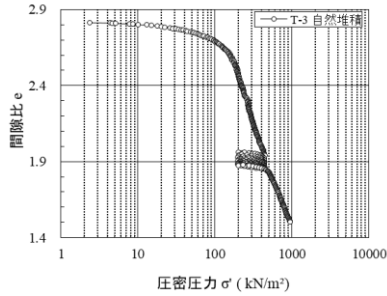


図. 2 自然堆積粘土

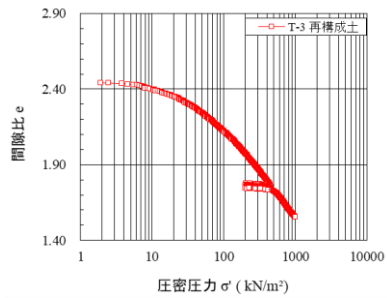


図. 3 再構成土

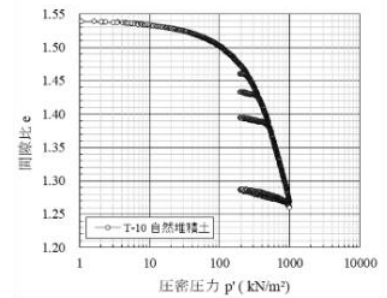


図. 4 OCR 後再載荷した結果

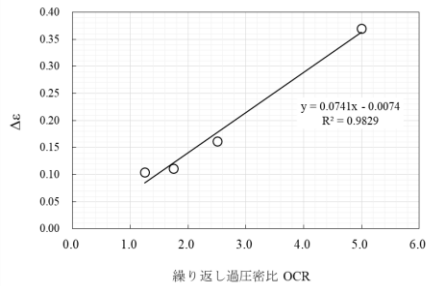


図. 5 ひずみ量と OCR

2-4. 土の物理特性と繰り返し圧縮特性

図. 6, 7 に繰り返し荷重による $\Delta\varepsilon$ と液性限界, 自然含水比の関係をそれぞれ示す。図より $\Delta\varepsilon$ とこれらの指標の相関係数は 0.95 以上であり, 特に液性限界 w_L とは強い相関があることがわかった。液性限界, 自然含水比の値が大きな地盤では地下水位変動による地盤沈下が発生しやすいことが分かった。

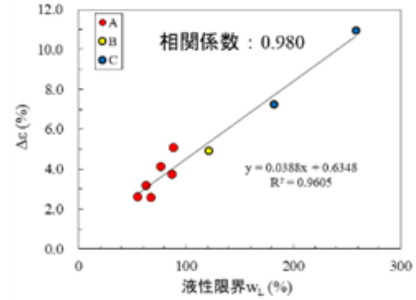


図. 6 $\Delta\varepsilon$ と液性限界

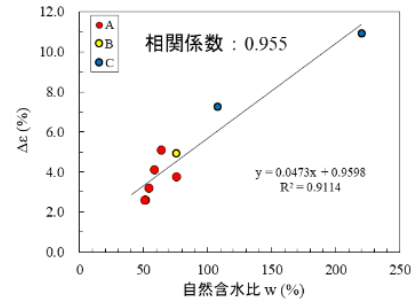


図. 7 $\Delta\varepsilon$ と自然含水比

3 章 地下水の冬期揚水による地盤沈下の数値解析

解析的検討では, 現地調査の行われた地盤をモデル地盤として地下水の揚水を模擬した地下水位の繰り返し変化による地盤の変形解析を実施した。解析には Subloading tij model, および修正カムクレイモデルを用いり, 冬期に揚水を実施し, 春期から秋期まで地下水を涵養する期間を模擬した地下水位の変動モデルを用いた解析を行った (図. 8)。修正カムクレイモデルは過圧密領域における塑性変形を記述できないが, Subloading tij model は塑性変形を表現可能である。図. 9 の両モデルによる数値解析の比較より, 地下水位の繰り返し変化が定常的で地盤応力が過圧密領域に留まっても, 地盤沈下が継続することが示唆された。地下水の利用による消雪は地盤

沈下を引き起こす原因となるため、冬期における地下水位の急激な低下を生じさせないような地下水位の変動と折り合いをつけられる持続可能な消雪システムを新たに構築する必要がある。

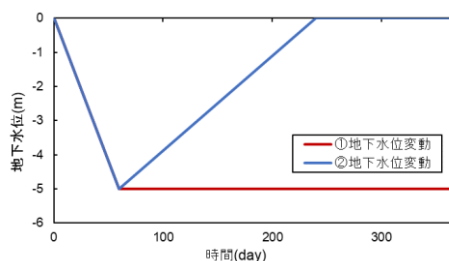


図.8 地下水位の変動モデル

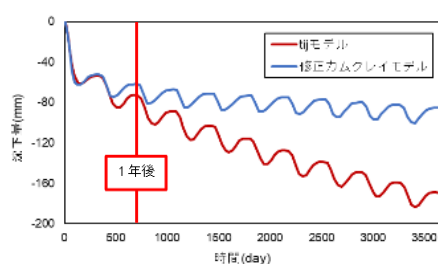


図.9 ②時間～沈下の関係

4章 結論

本研究により得られた成果を箇条書きにする。

- 1) 自然堆積粘土，再構成土ともに繰り返し載荷に伴う間隙比の減少が確認できた。既存の地盤工学では過圧密状態で塑性変形が生じないことを仮定するが，繰り返し載荷によって非可逆な沈下量が生じた。
- 2) 発生するひずみ量は繰り返し荷重に相当する過圧密比の大きさに比例する。
- 3) 繰り返し荷重に伴い発生するひずみ量は粘性土の塑性指数・自然含水比・液性限界と強い相関関係を示し，これらの指標が大きいほど発生量が増加する結果を示した。
- 4) 両モデルによる数値解析の比較より，地下水位の繰り返し変化が定常的で地盤応力が過圧密領域に留まっても，地盤沈下が継続する結果が得られた。

<参考文献>

- 1)応用地質株式会社：令和1年 新潟市不撓乱試験料採取他調査 報告書
- 2)北陸農政局・信濃川水系土地改良調査管理事務所：H29年度新潟地盤沈下対策調査報告書，2018.