

論文の内容の要旨

論文題目 砂質土の液状化特性に及ぼす土粒子構造と
セメンテーション効果の影響

Effects of soil fabric and cementation on
liquefaction characteristics of sandy soil

氏 名 志賀 正崇

本論文は、現行の液状化判定法の高精度化を目的として、原位置攪乱試料を用いた再構成供試体と人工的にセメンテーションを付加した供試体に対し、圧密並びに応力振幅一定の非排水繰返し载荷を与え、土粒子のかみ合わせ効果とセメンテーション効果が砂質土の液状化特性に与える影響を検討したものである。

研究背景と目的を以下に示す。1964年新潟地震や2011年の東北地方太平洋沖地震において、都市部の湾岸地域や内陸部の旧河道において深刻な液状化被害が発生した。この被害に対し適切な対応策を事前に講じるべく、1980年代より標準貫入試験のN値を用いた液状化簡易判定法が制定、改定されてきた。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震において土木研究所が行った調査によると、199地点の内76地点でFL値が1を下回っているものの液状化が発生しなかった(以下、空振りと呼ぶ)。この一方で、FL値が1を上回っているものの液状化が発生した地点は存在しなかった。これは原位置の液状化特性がN値では評価が難しい要因により支配されており、現行の液状化判定法が原位置液状化強度を過小評価しているためと考えられる。

より高精度に原位置液状化強度を求めるためには、室内液状化試験が必須である。しかしながら、高位な土粒子構造を持つ原位置試料を、乱さない状態で試験装置にセッティングするのは困難を極める。このため原位置攪乱試料を用いて、原位置の液状化強度を再現する手法が模索されてきた。

Tokimatsu and Hosaka(1986)では、比較的乱れが少ないとされる凍結サンプリング試料と、微小せん断剛性率を原位置の値と揃えた再構成供試体の二つを比較し、原位置の液状化特性を再現した。これは供試体に生じた乱れを上記の2つの効果の劣化と同一視することで、微小せん断剛性率やせん断波速度によって原位置の液状化特性を再現できることを示唆している。

Seed and Idris(1979)では液状化に影響を与える諸要因として、土質区分、密度、土粒子構造、応力履歴、年代効果、応力状態が挙げられている。Kiyota et al. (2017) は、攪乱試料を用いた再構成供試体でこれらの要因を再現する場合、土粒子構造、応力履歴、

年代効果の3つの効果をかみ合わせ効果とセメンテーション効果の2つに集約できるとし、これらの効果をせん断波速度で代表できるのではないかと考えた。Wu (2018) はこれらの考えを利用し、豊浦砂を用いたせん断波速度計測と液状化強度の関係を調べ、細粒分の含まない試料であればせん断波速度と液状化強度に一定の関係が成立することを示した。

本研究では、まず原位置試料において、かみ合わせ効果がせん断波速度と液状化特性の両者に与える影響を議論するべく、2011年東北地方太平洋沖地震において空振りであった4地点の攪乱試料を用いて再構成供試体を作製し、せん断波速度計測と応力振幅一定の非排水繰返し三軸試験を実施した。次にかみ合わせ効果とセメンテーション効果がせん断波速度と液状化特性の両者に与える影響を議論するべく、人工的にセメンテーションを付加した供試体を作製し、せん断波速度計測と応力振幅一定の非排水繰返し三軸試験を実施した。

本論文の構成と研究内容を以下に示す。

第1章では、研究背景、研究目的を設定し、論文構成を示した。

第2章では、関連する既往の研究を整理し、本研究で取り組むべき課題を抽出した。

第3章では、試験計画と試験方法を整理し、本研究で取り組むべき課題へのアプローチの方法を示した。

第4章では、現場で実施したボーリング並びに標準貫入試験の結果を整理し、試験対象層を決定した。また対象層の攪乱試料に対し、せん断波速度の計測と応力振幅一定の非排水繰返し三軸試験を実施し、かみ合わせ効果が液状化特性に与える影響を議論した。

第5章では、早強ポルトランドセメントと珪砂を混合養生した改良供試体を、複数の供試体作成方法で準備し、かみ合わせ効果とセメンテーション効果の両方を変化させた供試体を準備した。この供試体に対し、せん断波速度の計測と応力振幅一定の非排水繰返し三軸試験を実施し、両効果が液状化特性に与える影響を議論した。

第6章では、前2章の試験結果を損失エネルギーの観点から整理を行い、既往研究との比較を実施した。

第7章では、本研究の結論と今後の課題を示した。

本研究により得られた主な結論の概略を示す。

1. 神奈川県川崎市浮島町で採取された細粒分砂質土と北海道網走郡美幌町で採取された火山性粗粒土について、いずれも過圧密によりかみ合わせ効果が強化されせん断波速度の上昇が見られた。また同時に液状化強度も上昇し、正規化せん断波速度と正規化液状化強度の関係は、既往研究と整合した。以上の結果から、同一密度における正規化せん断波速度と正規化液状化強度の回帰式は、多様な土質において適用可能である

と言える。

2. 上記2試料について、原位置PS検層の結果から推定される原位置せん断波速度を用いて原位置液状化強度並びにFL値を計算したところ、いずれもFL値は1を上回った。東京都葛飾区東金町と千葉県千葉市若葉区で採取された砂質土についても、既往のFL値よりも高い値が得られた。以上の結果から、セメンテーション効果のない原位置試料において、室内試験と原位置試験を組み合わせた簡易液状化判定法は、現地の液状化の有無をある程度再現していると言える。

3. セメンテーションを加えた供試体のせん断波速度は大幅に増加したが、同様のセメント添加率の場合でも、異なる作製法によって供試体は異なるせん断波速度、液状化強度を持った。これは微小なセメンテーション効果であっても供試体の土粒子構造を変化させ、せん断波速度での定量的が可能であることを示唆する一方で、複数の効果の完全な分離は難しいと言える。

4. せん断波速度と正規化損失エネルギーの関係は、過圧密された川崎市浮島町の試料では強い相関がみられたが、セメント添加を行った珪砂においてはばらつきが大きく、セメント添加率や供試体作製方法による影響を見出すことはできなかった。これらの結果から、少なくともセメンテーションを持たない試料については、せん断波速度から地盤のエネルギー容量を補正することが可能であると言える。