

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 志賀 正崇

従来の液状化判定法において、原位置液状化強度は一般的に標準貫入試験の N 値から求められることが多い。しかし、2011 年の東北地方太平洋沖地震を対象とした従来の液状化判定法の検証では、実際の液状化強度が過小に評価されていたケースが多数存在した。この原因の一つとして、標準貫入試験の N 値のみでは、自然地盤が有する土粒子構造(土粒子のかみ合わせ)や年代効果(セメンテーション)等の評価が困難である点が挙げられている。また、原位置で採取される不攪乱試料を用いて室内試験を行い、液状化強度を実験結果から推定する方法も存在するが、現在の技術では液状化の検討対象となる緩い砂質土の高品質なサンプリングは非常に困難であり、それを用いた実験結果の信頼性は必ずしも高くない。

以上を背景として、本論文は液状化判定法の高精度化を目的とし、原位置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、せん断波速度 V_s (微小せん断剛性率 G_d) の計測を併用した圧密並びに応力振幅一定の非排水繰り返し載荷試験を実施し、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。

本論文の主な内容と成果を以下に示す。

第 1 章では研究背景、既往研究、研究目的、研究手法、実験結果、考察、結論に関する概要を示している。

第 2 章では研究背景と既往研究のレビューを行い、研究目的を示している。具体的には液状化のメカニズムと過去の主要な地震における液状化の発生状況について詳細に取りまとめると共に、現行の液状化判定法、土粒子のかみ合わせ効果とセメンテーション効果が地震時の液状化特性に及ぼす影響、および微小せん断剛性率と液状化特性の関係について既往研究の整理を行い、最後に本研究の目的を示している。

第 3 章ではまず原位置調査によって得られた 4 試料と珪砂 7 号の土粒子密度と粒度分布について結果を示している。ひずみ制御式三軸試験装置を用いた非排水繰り返し三軸試験方法と試験に用いた各計測装置 (ロードセル、変位計、圧力計、差圧計) のキャリブレーション結果を示している。最後にせん断波速度の計測方法について、加速度計の設置方法や計測箇所の違いについて計測結果や既往研究を交えながら記述を行っている。

第 4 章ではまず現行の液状化判定法で FL 値が 1 を下回るものの、過去の地震において液状化が発生しなかった 4 地点を抽出し、標準貫入試験や PS 検層等の原位置地盤調査結果を検討している。また 4 地点で採取した砂質土を原位置と同等の拘束圧において同程度の密度となるよう調整し、せん断波速度の計測と応力振幅一定の非排水繰り返し三軸試験を実

施している。なお川崎市浮島町と北海道美幌町の試料については、供試体に過圧密履歴を与えて土粒子構造を変化させている。実験結果より、過圧密を加えた 2 つの試料ではいずれも液状化強度とせん断波速度は上昇し、同一の密度であってもかみ合わせ効果の変化は液状化特性に影響をもたらすことが確認された。また既往研究との比較において、正規圧密供試体の値で正規化されたせん断波速度(V_s/V_s^*)と正規化された液状化強度(CRR/CRR^*)の値は整合的であり、 V_s/V_s^* と CRR/CRR^* の関係は多様な地盤に対しても一意的であることが示された。また両者の回帰式を用いて、室内試験結果と PS 検層による原位置せん断波速度から原位置の液状化強度を推定したところ、4 地点ではいずれも FL 値が上昇し、内 3 地点においては FL 値が 1 を上回り液状化しない判定となった。この一連の結果ならびに考察によって、室内試験結果と原位置試験結果を統合的に用いることで、より高精度な液状化判定が可能となることが示された。

第 5 章では珪砂 7 号に早強ポルトランドセメントを混合した試料について、作製方法やセメント添加率を変化させた供試体を作製し、同一密度における液状化特性に関する考察を行っている。具体的には等方圧密時における平均有効主応力と微小せん断剛性率 G_d の変化について検討を行い、セメント添加率の上昇に伴い G_d の応力依存性は低下することを示した。また上述の原位置試料のせん断波速度 V_s と液状化強度 CRR の関係と比較した場合、セメンテーション効果が増加すると V_s が顕著に増加するものの、 CRR の増加割合は小さい結果が示された。また、かみ合わせ効果とセメンテーション効果が V_s/V_s^* と CRR/CRR^* の関係にもたらす影響は後者が顕著であり、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が変化し、液状化特性を大きく変化する。これら一連の実験結果を踏まえ、かみ合わせ効果とセメンテーション効果の両者を有する試料の液状化強度評価手法のアイデアを示した。

第 6 章では第 4 章に記述した試験結果に対し、正規化累積損失エネルギー E_2^N を用いて、過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_c$ と両振幅軸ひずみ DA の関係に関する考察を行っている。具体的には、まず川崎市浮島町で採取された原位置試料やセメント添加を行った珪砂について CSR の $E_2^N - \Delta u/\sigma'_c$ 関係に及ぼす影響を検討している。同一供試体条件でも、繰り返し応力比 CSR を変化させた場合は、異なる $E_2^N - \Delta u/\sigma'_c$ 関係が得られた。また、 $E_2^N - DA$ 関係に対しては、 CSR が大きいほど同一 E_2^N において DA が増えやすい傾向が見られた。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見られたが、セメンテーション効果を有する珪砂試料についてはばらつきが大きくなる結果が得られた。

第 7 章では本研究で得られた結論をまとめ、今後の課題を整理している。

以上のように、本研究は系統的な室内土質試験を実施し、液状化強度に及ぼす地盤のかみ合わせ効果とセメンテーション効果をせん断波速度や微小せん断剛性率を用いて評価する道筋を示したと言える。この工学的意義は大きく、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。