

審査の結果の要旨

氏名 劉偉晨

本論文は *Liquefaction characteristics of dense sand specimens with pre-shear histories in torsional shear tests* (せん断履歴のある密な砂供試体のねじりせん断試験における液状化特性) と題した英文の論文である。

2011年の東北地方太平洋沖地震で被災した市街地の液状化対策を検討する際に、年代効果を経験的に考慮した液状化強度の評価が行われた。しかし、地震履歴等による土粒子構造の変化と経時的なセメンテーションの発現に起因すると考えられている年代効果の詳細は、未解明な点が多い。

特に、発電所等の重要な社会基盤施設は、セメンテーションのない密な砂地盤上に建設されることがあるが、「地震履歴に起因する年代効果」が十分に解明されていないために、液状化に関わる現状の耐震設計結果が過度に安全側となっている可能性がある。

以上の背景のもとで、本研究では、多様な地震履歴に相当するさまざまなせん断履歴を密な飽和砂供試体に与えたうえで、巨大地震動が作用した場合を想定した非排水繰返しねじりせん断試験を系統的に実施している。また、せん断履歴時の応力とひずみの関係と、各時点における有効平均応力で正規化した応力比とひずみの関係から算定される2通りの消散エネルギーに着目し、せん断履歴の影響を定量的に評価できる指標として詳細に分析するとともに、その活用方法について検討している。

第一章では、研究の背景と既往の関連研究を整理したうえで本研究の目的を設定し、論文全体の構成について説明している。

第二章では、試験に用いた材料と2種類の装置について記述している。

第三章では、試験方法と試験条件に関して記述している。中型または小型の単一供試体を複数回液状化させて大きなひずみ履歴を毎回与える、それぞれA,Bシリーズと称する試験に加えて、排水条件または非排水条件で小さなひずみ履歴を多数与える、それぞれC,Dシリーズと称する試験を実施している。

第四章では、各シリーズの試験結果を報告し、せん断履歴時の体積変化特性や、履歴後の密な砂の液状化強度特性を比較している。その結果、完全には液

状化しないが、例えば過剰間隙水圧比が 0.5 程度まで上昇するようなせん断履歴を複数回与えることで、繰返しせん断応力比が 1.0 を超える極めて高いレベルまで液状化強度が増大することを明らかにしている。また、液状化しない範囲内での履歴の影響は徐々に蓄積する一方で、一旦液状化してしまうと最後の液状化履歴の影響が支配的となることも見出している。

第五章では、前述した 2 通りの消散エネルギーの算定・分析結果について記述している。密な砂が液状化する過程では、その初期段階から、体積変化傾向が収縮から膨張に変化する境界を示す「変相線」が明確に表れる。そこで、A,B シリーズの各液状化試験における 1 サイクルの非排水繰返し载荷中の消散エネルギー増分を、この変相線到達前と後の成分に分けて算定している。さらに、それぞれの総和を「正のインパクト」および「負のインパクト」と称して評価することで、次の段階で計測した液状化特性との相関を分析している。C シリーズで正のインパクトのみを与えた場合の結果と比較することで、負のインパクトの影響は、相対密度が 80%を超える密な砂では無視できる一方で、相対密度が 60%程度の中密な砂の場合には無視できないことを明らかにしている。また、密度に応じて異なる大きさをとる係数を導入した定式化を行うことで、負のインパクトの影響を合理的に考慮できることを見出している。

第六章では、正負のインパクトの影響を考慮しながら、1 本の液状化試験から液状化強度曲線を描く手法について検討した結果を記述している。この手法では、液状化試験の途中の段階に着目し、それまでの载荷をせん断履歴として、それ以降の挙動がその応力状態からの液状化特性として、それぞれ見なす点が特徴的である。正のインパクトに比例する係数を導入して繰返し回数の簡易的な補正を行うことで、複数本の試験を実施して求めた液状化強度曲線と同様な曲線を描くことができることを明らかにしている。一方で、繰返し回数が比較的大きい領域での密な砂の液状化強度が過大評価される点が、今後の課題であることを示している。

第七章では、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。

以上をまとめると、本研究では、ねじりせん断試験を系統的に実施することによって密な砂の液状化特性に及ぼすせん断履歴の影響を明らかにするとともに、その影響を定量的に評価できる指標を見出し、さらに、この指標を活用することで 1 つの試験結果から液状化強度曲線を描ける可能性があることを示している。このことは地盤工学の進歩への重要な貢献である。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。