

審査の結果の要旨

氏名 キアロ ガブリエル

本論文は Deformation properties of sand with initial static shear in undrained cyclic torsional shear tests and their modeling (初期せん断を受けた砂の非排水繰返しねじりせん断試験時の変形挙動とそのモデル化) と題した英文の論文である。

地震時に砂地盤が液状化すると数メートルにも及ぶ残留変位が生じる場合があることが、既往の被災事例において報告されている。これを平均的なせん断ひずみに換算すると 100%を超える極めて大きな値にもなる。このように大きな変位・変形が生じる原因の一つとして、地盤の表面が若干傾斜していることにより地中に作用している初期せん断の影響が考えられている。

砂質土の液状化特性に及ぼす初期せん断の影響を調べる室内土質試験はこれまでも各所で行われてきているが、試験装置や試験技術上の制約により、計測可能なひずみレベルは 20%程度までにとどまっていた。また、得られた結果に関しても、初期せん断の増加に伴って液状化に対する抵抗が減少する場合と逆に増加する場合、あるいはこれらの挙動が混在して現れる場合が報告されており、そのメカニズムについては未解明の点が多く残されている。

以上の背景のもとで、本研究では相対密度 45%程度のゆる詰め状態で飽和させた豊浦砂を対象として、繰返しせん断中の両振幅ひずみが 100%程度となるまでの試験が可能な特殊な中空ねじりせん断試験装置を用いて系統的な試験を実施することにより、液状化特性に及ぼす初期せん断の影響を詳細に評価した。さらに、微小ひずみ領域での弾性的変形挙動を考慮したうえで、塑性的な変形挙動についても単調載荷時の応力ひずみ関係や繰返し載荷時の履歴則および体積変化特性を適切にモデル化することにより、初期せん断がある条件下での液状化挙動を高精度に再現することを試みた。

第一章では、既往の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、中空円筒供試体を用いたねじりせん断試験での計測結果から応力とひずみを算定する方法について記述している。

第三章では、試験材料と試験装置および試験方法を記述している。等方圧密後の飽和供試体に排水状態で初期せん断応力を作用させ、さらに、大変形領域では無視できない大きさとなるメンブレン張力の影響を補正しながら一定振幅での繰返しせん断を非排水状態で実施している点が特徴的である。非排水繰返しせん断は、擬似単純せん断変形状態とするために供試体の軸変位を拘束して実施している。

第四章では、試験結果をまとめて記述している。観察した破壊形態を、徐々に有効応力が減少して液状化に至る破壊と、非排水ピーク強度を超えるせん断応力が作用して急激な液状化が生じる破壊、および、液状化が生じないまま残留ひずみが累積していく破壊の3通りに分類し、与えた初期せん断と繰返しせん断の程度の違いに応じて異なる破壊形態が発現し、その結果として液状化に対する抵抗が減少する場合と増加する場合があることを見出している。また、片振幅せん断ひずみが 23-28%程度になると供試体内のひずみ分布が局所化することも見出し、これとともにひずみ軟化挙動も生じていると考えられることを応力ひずみ関係の分析から明らかにしている。

第五章では、排水条件下でも非排水条件下でも同じ骨格曲線を用いて塑性的せん断変形特性をモデル化し、さらに、従来より考慮されてきた過圧密履歴の影響に加えて初期せん断の影響も新たに考慮した繰返し載荷時の体積変化特性のモデル化を行うことにより、第四章で観察した異なる破壊形態を数値計算で定性的に再現できることを示し、その発現メカニズムを明らかにしている。また、片振幅せん断ひずみが 8%程度までの範囲では、ひずみの発生量も定量的に再現できることも示している。さらに、試験未実施の応力条件下での挙動予測を数値計算により行い、液状化も残留ひずみの累積も生じない場合があることを示している。

第六章では、第四章および既存の関連する室内試験結果と第五章の数値計算結果に基づいて、破壊形態の簡易予測手法を提案している。また、この手法を既往の被災事例に適用した結果を実挙動と比較している。

第七章では、本研究で得られた成果を結論としてまとめ、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、ゆるい飽和砂の液状化特性に及ぼす初期せん断の影響を大変形領域までの系統的な室内土質試験により明らかにするとともに、そのモデル化を行う一手法を提示して試験結果の再現に成功することにより、初期せん断と繰返しせん断の程度の違いに応じて異なる破壊形態が発現するメカニズムを明らかにしている。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。