

本論文は Comparison of sand behavior under repeated liquefaction in triaxial and shaking table tests (三軸試験と振動台実験における砂の複数回液状化挙動の比較) と題した英文の論文である。

我が国やニュージーランド等で発生したこれまでの地震では、同じ場所が何回も液状化したことが報告されている。また、液状化被害が発生した地域で今後の対策を検討するうえでは、過去に液状化履歴を受けた地盤の液状化特性を把握する必要がある。しかしながら、複数回の液状化が繰返し発生する条件下での砂地盤の特性の変化については、未解明な点が多い。

以上の背景のもとで、本研究では、珪砂 7 号を用いて空中落下法で作成した比較的均質な飽和水平砂地盤模型の水平加振実験を、同一の模型に対して複数回実施することで、液状化履歴後の砂地盤の特性変化を評価している。また、同じ珪砂 7 号を用いた非排水繰返し三軸試験を系統的に行うことで、液状化履歴の影響を要素レベルで詳細に評価するとともに、液状化までは至らない微小なひずみ履歴を与えた場合の特性変化も計測している。

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、模型実験と三軸試験に用いた装置の構成と実験・試験手順、および砂試料の特性について記述している。

第三章では、非排水繰返し三軸試験の結果について記述している。液状化履歴回数の増加に伴って液状化強度が増大し、直前の液状化履歴時の軸ひずみ両振幅の最大値が小さい場合のほうが、平均的な密度増加が生じにくいにも関わらず、液状化強度の増大が著しいことを示している。また、液状化までは至らない微小なひずみ履歴を最初に与えると、その際の軸ひずみ両振幅の最大値が 0.2%程度の場合に、次の繰返し載荷時の液状化強度が最も増大するが、それ以降の繰返し載荷時の再液状化挙動には、最初の微小ひずみ履歴の影響は見られないことを明らかにしている。

第四章では、飽和水平砂地盤模型の水平加振実験の詳細な条件と、鉛直方向に設定した測線上での複数の応答加速度計測記録から加振中のせん断ひずみとせん断応力を推定し、さらに間隙水圧の計測記録も用いて有効応力経路を描く手法について説明している。また、これらの手法を用いた計測値の一次的な整理結果について記述し、ある加振ステップで直前のステップよりもせん断ひずみ振幅が増加した場合には、次のステップで液状化が生じやすくなり、逆にせん断ひずみ振幅が減少した場合には、次のステップで液状化が生じにくくなることを明らかにしている。さらに、液状化の発生に伴って振幅が非正常に変化するせん断応力を、累積損傷度理論を用いて等価な一定振幅のせん断応力に関する手法についても説明している。

第五章では、繰返し載荷中の塑性変形に起因する消散エネルギーに着目した模型実験の分析結果を記述している。せん断応力とせん断ひずみの履歴ループの面積から消散エネルギーを算定するのではなく、液状化が生じて有効応力が低下した状態では、小さな消散エネルギーでも土粒子の構造がより著しく損傷すると考えて、各時点での有効応力でせん断応力を正規化してから履歴ループの面積を求める新しい手法を導入している。その結果、有効応力経路が変相線に到達して体積収縮挙動から体積膨張挙動に遷移すると、正規化後の消散エネルギーの累積傾向が急増することを示し、さらに、正規化エネルギーのうち変相線に到達する前に消散した成分については、これが大きいほど、変相線に到達した後に消散した成分については、逆にこれが小さいほど、次のステップにおける液状化強度が増大することを明らかにしている。

第六章では、模型実験結果と三軸試験結果の比較について記述している。模型実験で地盤中に作用したせん断応力振幅を、累積損傷度理論を適用して等価な一定振幅に換算したうえで、初回の液状化強度と、その後の再液状化強度の変化特性を比較し、全般的に模型実験のほうが大きな強度となることを明らかにしている。さらに、正規化消散エネルギーを用いた三軸試験の分析結果を、前章で分析した模型実験結果と比較し、定量的には液状化強度の違いの影響が表れているものの、定性的な傾向は一致することを見出している。

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、比較的均質な水平砂地盤の複数回液状化挙動を実験的に明らかにするとともに、一つ前の液状化過程での正規化消散エネルギーの二つの成分が再液状化強度に影響を及ぼすことを示している。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。