

氏 名 藤井 直

授与した学位 博 士

専攻分野の名称 環境学

学位授与番号 博甲第4442号

学位授与の日付 平成23年 9月30日

学位授与の要件 環境学研究科 資源循環学専攻

(学位規則第5条第1項該当)

学位論文の題目 砂地盤の不飽和化による液状化対策に関する研究

論文審査委員 教授 西垣 誠 教授 河原 長美 准教授 鈴木 茂之

## 学位論文内容の要旨

一般民家、堤防やライフライン等の線形構造物の液状化対策は規模が大きく対策が遅れている。既設構造物直下に対する既往の液状化対策工法は一般的に高価であり、現在の経済状況では対策は困難である。このような現状から、安価な既設構造物の液状化対策が求められている。一方、ニューマチックケーソン工法にて施工された構造物基礎は、これまでに大きな液状化被害を受けていない。この要因の一つは、ニューマチックケーソン施工時の漏気現象と漏出空気的地盤内での残留が考えられる。不飽和な砂地盤の液状化強度が高いことは多くの研究事例があり、残留している空気により液状化の発生が抑制された可能性がある。このような背景から、地盤を積極的に不飽和化させる安価な液状化対策の実現性について検討した。従来の研究の整理から現状の技術と課題を考察した。本論文では、工法の実現性を評価するために、実地盤の飽和度評価方法と不飽和状態の持続性、持続性を有する地盤の不飽和化方法、液状化対象砂を用いた不飽和砂の液状化強度特性、について検討した。

最初に、実地盤の飽和度の測定方法について検討した。旧来の施工方法により漏気していた可能性の高い、施工から28年経過したニューマチックケーソン基礎の周辺地盤の飽和度を調査した。調査は不攪乱試料サンプリングと地下水試料サンプリングの2つの方法を用いた。飽和度評価にはサンプリング試料の原位置圧力への補正だけでなく、試料の引上げに伴う圧力解放による溶存空気に影響についても考慮した。この結果、何れのサンプリング方法においても、飽和度90%程度の不飽和地盤であることを示した。これにより、ケーソンから漏気した空気は地盤内で28年間持続しており、不飽和状態の長期的な持続性を確認した。

次に、砂地盤の不飽和化方法について検討した。まず、不圧地盤を想定し空気の注入と、空気溶存水の注水による方法の2種類の方法について実験的に比較した。結果、空気の注入は、持続性を有することを明らかにした。次に、被圧地盤と不圧地盤の地盤モデルに分けて、それぞれ空気の拡散メカニズムや持続性を室内実験により示した。

さらに、不飽和な砂地盤の動的特性について、繰返し三軸試験により液状化強度を調べた。試験に用いる供試体は、鳥取、愛知、東京の液状化対象となる自然堆積砂地盤からサンプリングした試料である。飽和度の調整は、微低圧の空気圧を作用させる加圧板法を用い、供試体の飽和度が均一になる条件とした。この結果、自然堆積砂においても飽和度が低下すると液状化強度が大きくなることを示した。また、重力場における振動台実験にてマスとしての液状化強度特性を検討し、飽和度を低下させると液状化の発生が抑制されることを示した。

最後に、得られた成果を統括すると共に、工法としての実現性を示した。また、実用化に向けての課題を整理した。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、古くから議論されてきた不飽和土の液状化強度が高いことに着目し、砂地盤の不飽和化による液状化対策工法の実現性を検討している。既存の工法はコスト高や既設構造物の変位が問題であり、一般民家やライフライン等の線形構造物の対策は遅れている。このような箇所への対策を可能とした工法の実現性が示されている点について価値がみられる。

まず、不飽和化された地盤の持続性を示すために、過去にニューマチックケーソン工法施工により不飽和化された地盤において、提案する2つのサンプリング手法による飽和度調査を実施し、28年間に及ぶ不飽和状態の長期持続性を明らかにしている。次に、地盤の不飽和化方法について、被圧地盤および不圧地盤に分け精度の高い室内試験により検討し、地盤の飽和度制御が可能であること示している。検討から、地盤の不飽和化には注入圧力の圧力勾配が重要であることと、不飽和状態の長期持続性が示されている。さらに、鳥取・愛知・東京の液状化対象砂試料の飽和度を精密に調整し、繰返し三軸試験により液状化強度が大きくなること、振動台実験によりマスとしても液状化が抑制されること、液状化発生の有無による飽和度変化の有無を明らかにし、工法としての有効性を示している。最後に、本研究結果だけでなく他の研究者の検討結果を総合的に評価し、液状化対策工法としての成立性・実現性を示している。

本論文の研究内容はどれも独創的であり、かつ新規性および有用性が認められます。また、提案する液状化対策工法は、これまでにない格段に安価な工法となる可能性が高く、これまで困難であった既設構造物直下の対策・減災の方法の一つとして新たに加えられる可能性が高いと思われる。しかも、使用する材料が薬液等と異なり空気であることから、既設構造物の変位だけでなく地下水環境に対しても非常に有効である。ここで得られた成果は、経済的および社会的な貢献度が高いと考える。

上記の理由より、本研究は環境学の学位を与えるに値すると判断した。