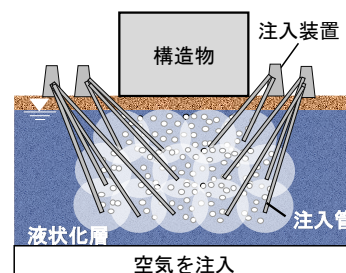


不飽和化工法における均質な不飽和地盤の構築に関する基礎的研究

東海旅客鉄道(株) 学生会員 ○牧野祥太
 (株)エーバイシー フェロー会員 本多顕治郎
 (株)エーバイシー 正会員 宮崎 航
 茨城大学大学院 正会員 小林 薫

1. はじめに

近年新たな液状化対策工法の一つとして、不飽和化工法による液状化対策が注目されている^{1),2),3)}。図1に不飽和化工法の概要図を示す。不飽和化工法とは、地盤内に空気を注入し、地盤の飽和度を低下させることで液状化強度を増加させる液状化対策工法である。既存工法と比較して、地盤環境を害さないこと、比較的容易かつ安価に施工できる等の特徴がある。地震発生時には土粒子間の間隙に滞留している空気が圧縮することにより、過剰間隙水圧の発生を抑制する。一方で、図1 不飽和化工法の概要図¹⁾地盤内に空気を注入することから、地盤内の飽和度分布にばらつきが生じやすく、既往研究においても均質な不飽和地盤を作製することが困難となっている¹⁾。そこで筆者らは、地盤の地下水位を低下させ、再度回復させると地盤の飽和度が低下する特性に着目した⁴⁾。不飽和化による改良を行う地盤において、地下水位を一時的に低下させ、再度回復させる方法を用いることで、空気注入による不飽和化工法と比較し、均質な不飽和地盤を構築できると考えた。本研究では、数値解析により飽和度が不均質な地盤における液状化抑制効果を明らかにした上で、地下水位の低下・回復に着目し、透水係数の異なる試料を用いて室内実験で均質な不飽和地盤の構築方法を明らかにすることを目的とした。



2. 液状化抑制効果に及ぼす不均質な不飽和地盤の影響

2.1 解析の概要および解析 CASE

地盤の飽和度が不均質な不飽和地盤において地震が発生した際、飽和地盤によって発生した液状化により不飽和地盤においても液状化が誘発される恐れが想定される。そこで、数値解析により飽和度が不均質な不飽和地盤における液状化抑制効果を検証した。数値解析手法には、LIQCA2D16⁵⁾を用いた。入力地震波はコンクリート標準示方書のレベル1地震動⁶⁾を使用した。不飽和地盤の再現方法には、間隙水の体積弾性係数を変えることで不飽和化による強度増加を再現した、岡らの文献を引用した⁷⁾。CASE1は均質な飽和地盤、CASE2は飽和度が90%の均質な不飽和地盤、CASE3は飽和地盤と不飽和地盤が互層になっている不均質な地盤である。

2.2 解析結果

図2に解析の標準モデルおよび解析結果を示す。本解析では、液状化発生可否を有効応力減少比(ESRR)で表す。ESRRは式(1)によって表され、ESRR≒1.0となる場合液状化が発生したと判断する。

$$\text{有効応力減少比 (ESRR)} = 1 - \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{m0}} \quad (1)$$

ここに、 σ'_m ：とある時刻の有効応力、 σ'_{m0} ：初期の有効応力である。CASE2において、飽和度が均質な不飽和地盤では多くの要素で不飽和化による液状化抑制効果を確認することができたが、CASE3において飽和度分布が不均質な不飽和地盤では直上の要素よりも有効応

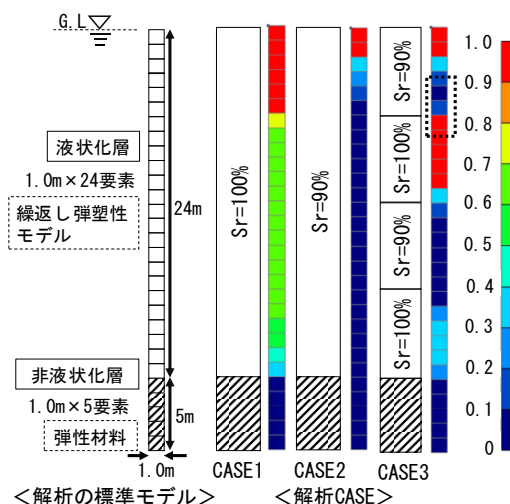


図2 解析の標準モデルおよび解析結果

キーワード 不飽和化工法 液状化 液状化対策 地盤改良

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 0294-38-5268

力減少比が上昇した。以上のことから、飽和度が不均質な不飽和地盤では、飽和地盤と不飽和地盤の境界部で液状化が誘発される恐れがあることが確認できた。

3. 地下水位の低下・回復に着目した均質な不飽和地盤の構築に関する確認実験

3.1 実験概要

透水係数の異なる3種の地盤材料を用いて、地下水位の低下・回復における飽和度分布を明らかにするために室内実験を実施した。試料には豊浦砂、珪砂5号、珪砂7号を用いた。表1に各試料の物理特性を、図3に実験装置の概要図をそれぞれ示す。本実験では内径20cm、高さ83.5cmの円筒を用いた。飽和度の計測にはEC-5 土壤水分センサー(METER社製)を用い、体積含水率から換算した⁸⁾。円筒底面に排水層として細礫を敷き詰めた後、不織布を被せ、相対密度が50%となるように乾燥した砂を空中落下法により液状化層を作製した。途中、所定の位置にEC-5 土壤水分センサーを挿入した。円筒下部の給水栓から水をゆっくりと入れることにより、円筒内部の供試体を飽和させた。給水栓を開放し、水位を自由排水で12時間以上低下させた後、水位を各試料の透水係数に対し1/1.5倍の速度で回復させた。水位の低下・回復は全ケースで5回繰り返した。

表1 各試料の物理特性

試料	豊浦砂	珪砂5号	珪砂7号
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.646	2.645	2.647
最大間隙比 e_{max}	0.956	0.788	0.978
最小間隙比 e_{min}	0.620	0.478	0.591
透水係数 k (m/s)	1.8×10^{-4}	4.0×10^{-4}	7.7×10^{-5}

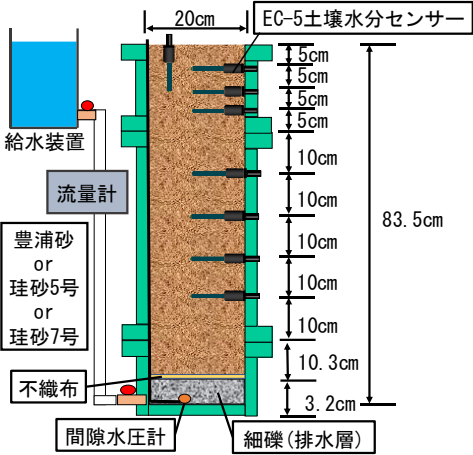


図3 実験装置の概要図

3.2 実験結果

本結果では、計測したセンサーのばらつきを考慮して、水位回復開始前との飽和度低下率で表記し、飽和状態を0%とする。図4に水位回復5回目における各試料の飽和度低下率を示す。計測したグラフ内の各プロットは、EC-5 土壤水分センサーの計測点を表している。透水係数の大きい珪砂5号が最も飽和度が低下した。粒径が大きいため、間隙も大きくなり、地盤の飽和度をより低下することができたと考えられる。最下部のプロットにおける飽和度低下率が小さいのは、毛管上昇により水が保水されていたためである。円筒高さ33.5cmから上のプロットにおいて水位回復5回目における飽和度低下率の差は、珪砂5号と豊浦砂において約6%以内の差が、珪砂7号において約4%以内の差が生じているものの、各試料とも飽和状態の地盤は全くなく、飽和地盤による液状化の誘発を防ぐことができると考えられる。以上の結果より、地盤材料に関わらず地下水位の低下・回復によって均質な不飽和地盤が構築できる可能性が高いことを確認できた。

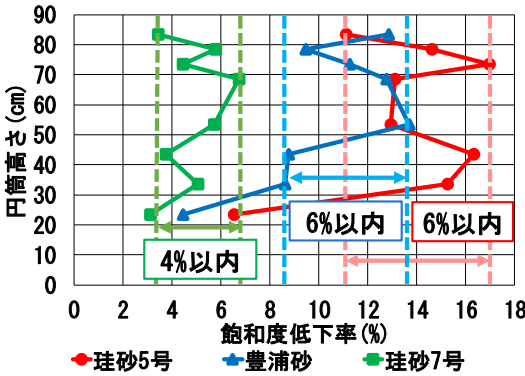


図4 水位回復5回目における飽和度低下率

4. まとめ

以下に本研究で得られた知見を示す。

- (1) 数値解析より、不均質な不飽和地盤において飽和地盤と不飽和地盤の境界部で液状化の誘発が生じる恐れがあることが確認できた。
- (2) 室内実験より、地下水位の低下・回復を行うことで数%の差はあるものの、飽和状態の地盤は全くなく、地盤材料に関わらず地下水位の低下・回復によって均質な不飽和地盤が構築できる可能性が高いことを確認できた。

参考文献

1) 岡村未対, 武林昌哉, 西田克司, 藤井 直, 神宮司元治, 今里武彦, 安原英明, 中川恵美子: 空気注入による地盤不飽和化の現場実験とそのモニタリング, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.3, pp.756-766, 2009. 2) MITSU OKAMURA, YASUMASA SOGA: EFFECTS OF PORE FLUID COMPRESSIBILITY ON LIQUEFACTION RESISTANCE OF PARTIALLY SATURATED SAND, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 46, No. 5, pp. 695-700, 2006. 3) 永尾浩一, 末政直晃, 片田敏行, 山田早恵香: マイクロバブル水注入による砂地盤の不飽和化とその液状化対策の検討, 土木学会論文集 C, Vol.71, No.4, pp.395-406, 2015. 4) 石川 明, 眞野英之, 関口 徹, 中井正一: 地下水位低下回復による液状化抑止工法の検討(その1) 遠心模型実験, 第50回地盤工学研究発表会, pp.1769-1770, 2015. 5) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所: LIQCA2D16・LIQCA3D16(2016 公開版)資料, 2016. 6) 土木学会: コンクリート標準示方書, pp. 6-9, 2002. 7) 岡 二三生, 木元小百合: 地盤の不飽和化による液状化抑制効果に関する研究, 一般財団法人防災研究協会研究報告, Vol. 36, pp.11-12, 2013. 8) アイネクス株式会社: EC-5 土壤水分センサー取扱説明書, pp1-18, 2015.